

柴油机两级增压米勒循环仿真分析

Simulation of diesel engine Miller cycle with two stage turbocharger

李鑫善, 吕晓惠, 高莹

(潍柴动力股份有限公司)

摘 要: 柴油机采用米勒循环, 配合两级增压技术, 能够降低 NO_x 排放并提升燃油经济性。本文采用 GT-Power 软件, 建立了热力学模型, 对柴油机米勒循环进行了仿真分析, 匹配了两级增压系统, 对配气相位、压缩比、增压压力进行了 DOE 优化。研究结果表明: 采用两级增压米勒循环, 外特性燃油消耗率降低 1.6~2.6%, 同时缸内温度降低, 从而降低 NO_x 排放。

关键词: 柴油机、两级增压、米勒循环、 NO_x 、燃油消耗率

Abstract: Diesel engine adopting Miller cycle and two stage turbocharger will decrease NO_x emission and improve fuel economy .Diesel engine Miller cycle is simulated and analyzed by GT-Power model. In this paper, two stage turbocharger was matched, valve timing, compression ratio and boost pressure was optimized by DOE. The result of research shows that Miller cycle with two stage turbocharger can decrease temperature in cylinder thereby decreasing NO_x emission, and the fuel consumption of full lord decreased by 1.6~2.6 percent.

Key words: diesel engine, two stage turbocharger, Miller cycle, NO_x , fuel consumption

1. 前言

米勒循环通过改变进气门关闭时刻, 使进气行程的实际压缩比小于几何压缩比。米勒循环降低了压缩终点温度, 能够降低 NO_x 排放, 随着排放法规的升级, 米勒循环成为一个降低 NO_x 排放的重要措施。由于进气门早关, 进气量减少, 配合两级增压技术, 可以弥补进气量的需求, 保证低速动力性和 PM 排放。同时合理的匹配燃烧系统, 也能够改善燃油经济性。

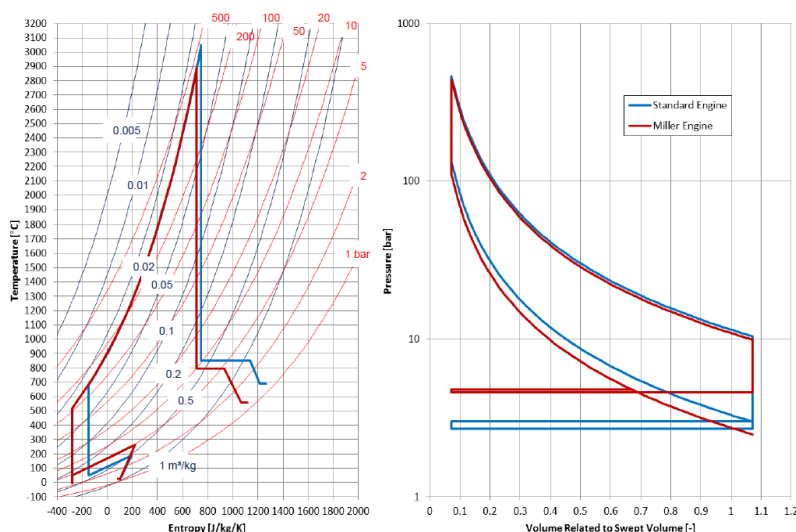


图 1 发动机标准循环和米勒循环

2. 计算模型

原机为一台单级增压柴油机，参照发动机三维模型建立 GT-Power 热力学计算模型，并根据试验数据标定模型。在此模型基础上，添加两级增压模型。

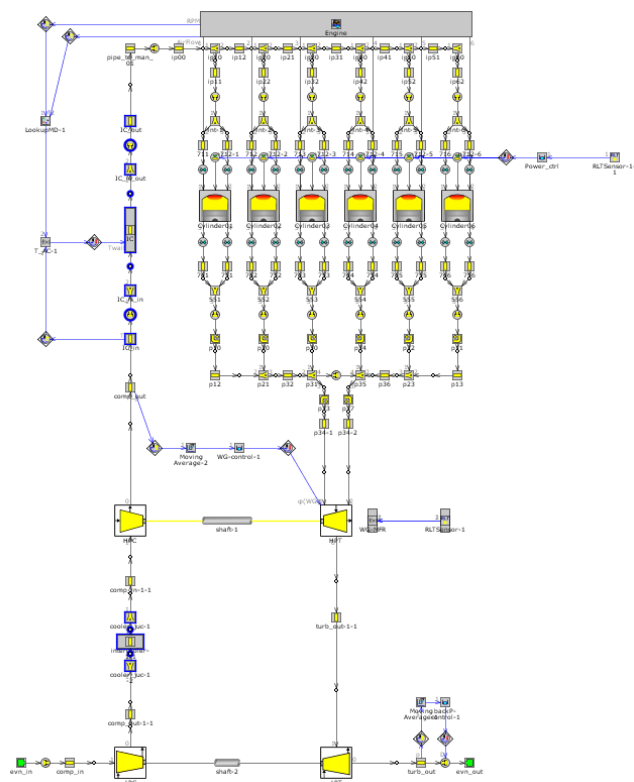


图 2 GT-Power 计算模型

3. 两级增压需求计算

基于单级增压米勒循环试验开发结果，初步确定压缩比为 19，进气门关闭角度 IVC 为 525° CA ，在此基础上进行两级增压器需求计算。

采用简单增压器模型，高压级采用电控放气阀，低压级不放气以及级间冷却，基于设计目标和控制边界，优化低压级和高压级涡轮尺寸及高压级放气阀开启压力。

根据表 1 计算结果，寻找合适的增压器方案。

表 1 增压器需求计算结果

参数	压比/膨胀比-		折合流量 kg/s	
工况	2100rpm	1000rpm	2100rpm	1000rpm
低压级 C	2.5	1.32	0.313	0.128
高压级 C	1.29	1.72	0.13	0.097
低压级 T	2.35	1.3	0.19	0.165
高压级 T	1.35	1.65	0.096	0.104

4. 两级增压米勒循环性能优化

4.1 DOE 设计

采用实际的增压器 MAP，对进气门关闭角度、压缩比、高压级放气阀开启压力进行 DOE 设计，优化整体性能，如图 3 所示。

DOE Type:

Full Factorial

 # of Experiments:

264

Factor	Unit	Min	Max	# of Levels
CR		18.0	20.0	3
IVC	Crank Ang...	505.0	540.0	8
WG_range		-0.5	0.5	11

图 3 DOE 设置

4.2 DOE 优化结果及分析

原机进气门关闭时刻 (IVC) 为 566° CA；原机压缩比 (CR) 为 18。DOE 优化结果显示，两级增压米勒循环 IVC 范围 515° ~ 525° CA，压缩比为 19~20，经济性有显著提升，如图 4 所示，联合运行线如图 5 所示。

米勒循环由于进气门早关，导致进气量大幅减少，采用两级增压提高增压压力进而提升进气量，以保证发动机低速动力性，同时能够降低燃油消耗。

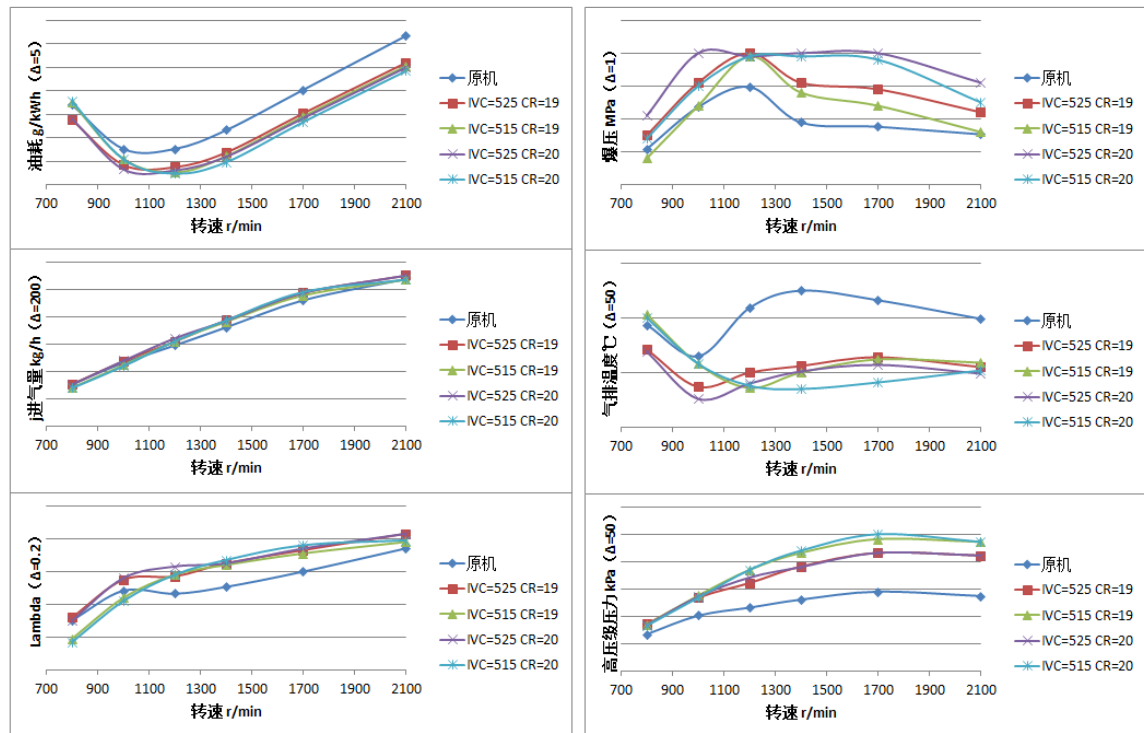


图 4 DOE 优化结果

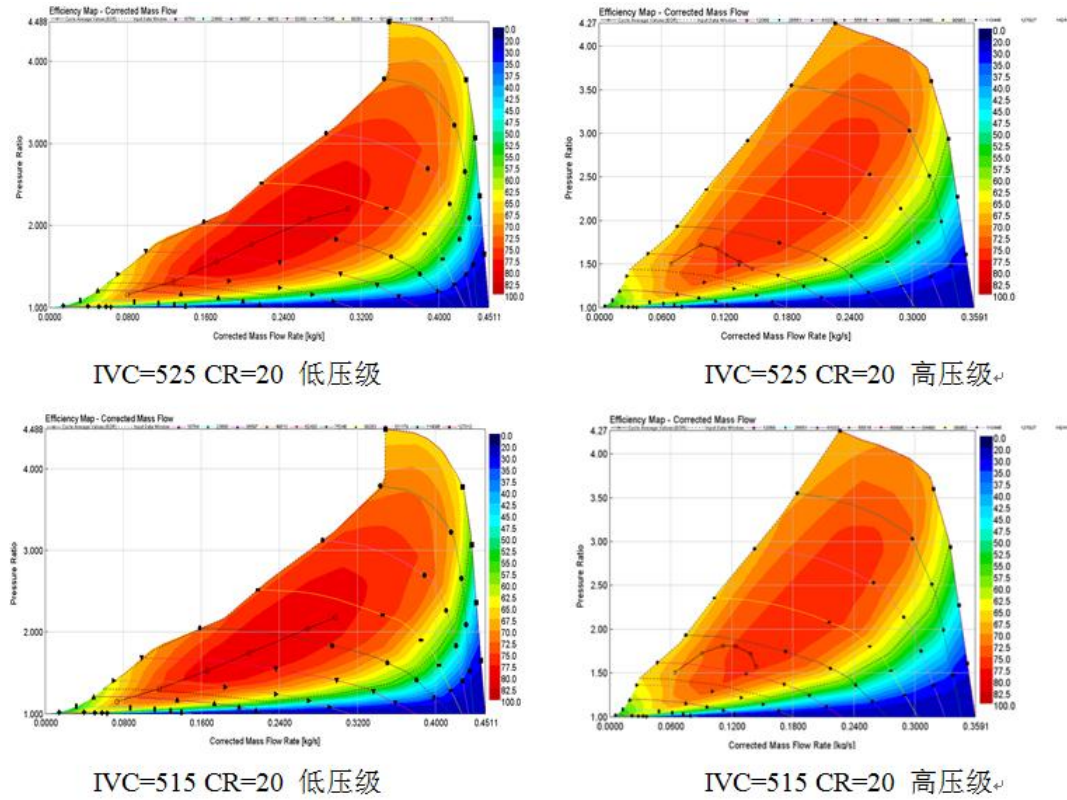


图 5 两级增压联合运行线

采用米勒循环配合两级增压，缸内传热和废气带走热量百分比低于原机；摩擦功数值上设置和原机相同；有功热效率高于原机，如图 6 所示。

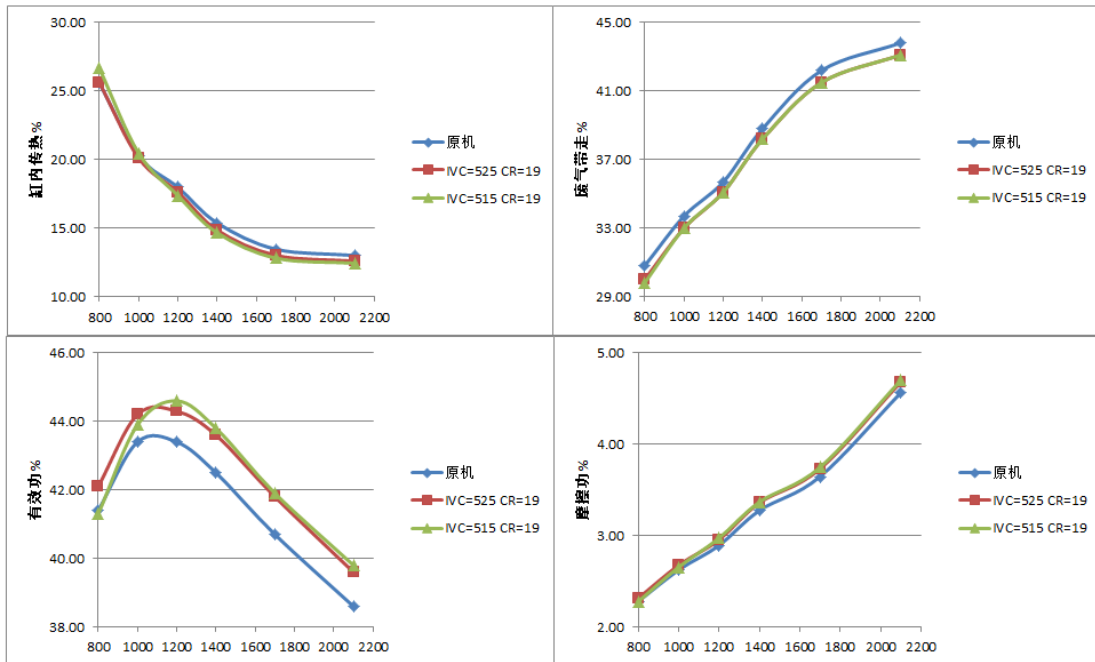


图 6 能量分布

由于采用米勒循环，缸内温度也有所降低，有利于降低 NO_x 排放，如图 7 所示。

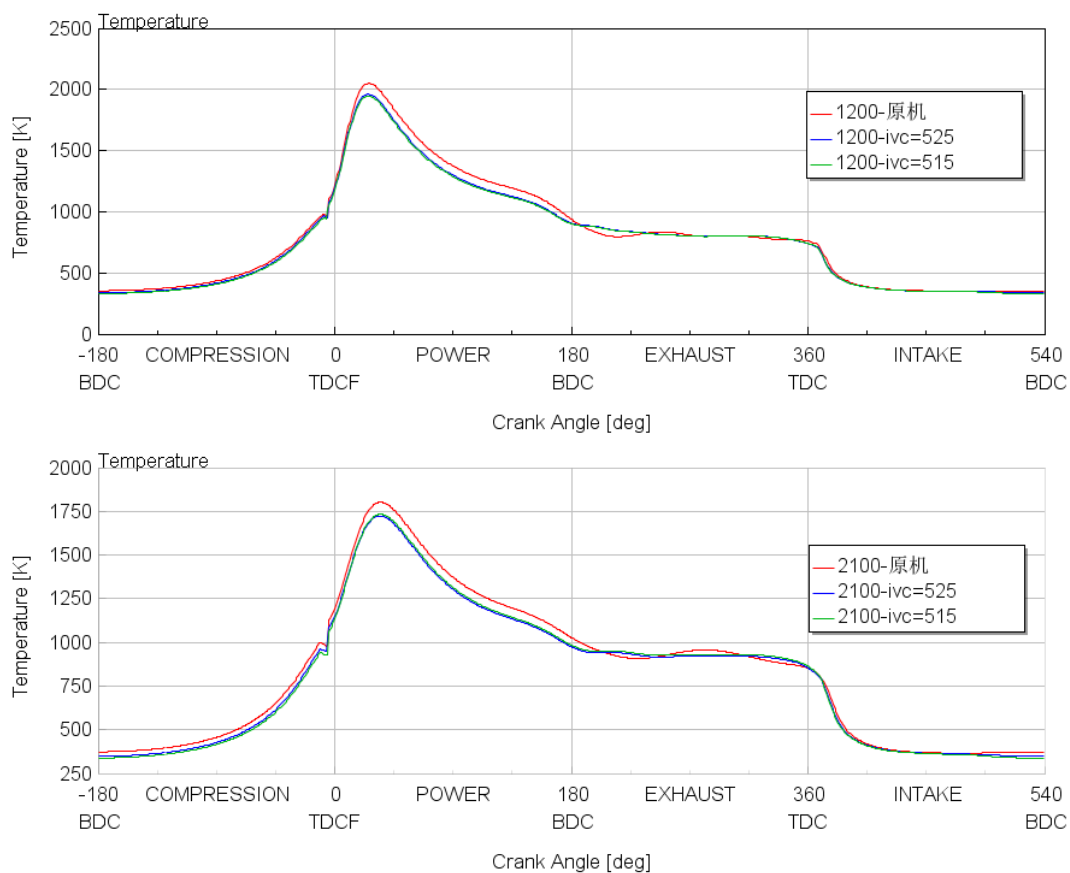


图 7 缸内温度

4.3 进一步优化措施

根据使用工况，调整压气机流量，使之运行在高效区。本文中柴油机常用在大扭矩转速区间，因此减小了高压级压气机流量，使常用工况运行在高效区，如图 8 所示。

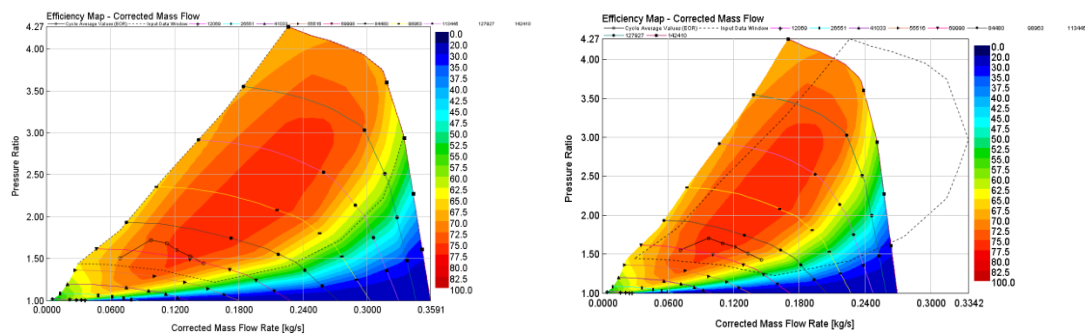


图 8 高压级压气机优化

此外，采用 VVT 技术、提升爆压，可进一步扩大两级增压米勒循环优势，如图 9 所示。

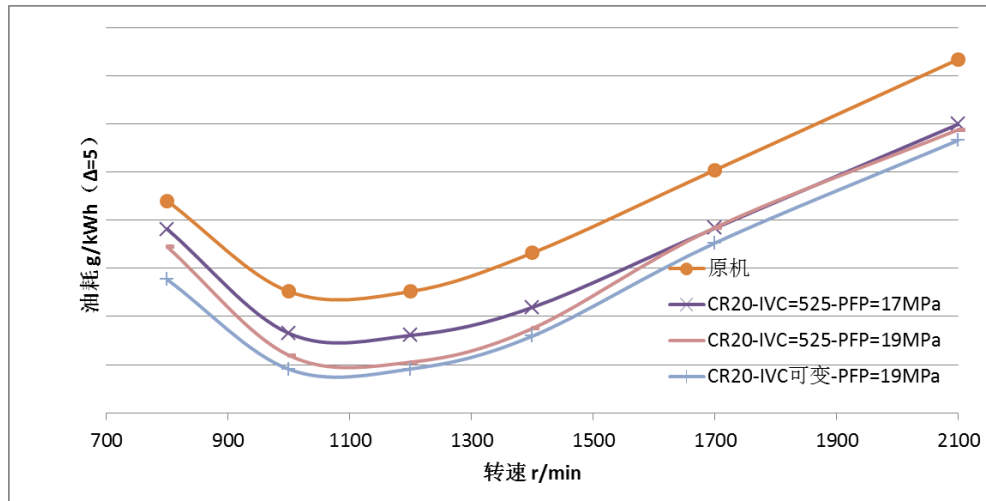


图9 优化后性能结果

5. 结论

本文对两级增压米勒循环进行了一维热力学仿真分析，得出以下结论：

通过合理匹配两级增压系统、燃烧系统和配气相位，能够降低燃油消耗，同时降低 NO_x 排放，保证低速动力性；采用可变气门正时、提升爆压等措施，可进一步扩大两级增压米勒循环优势。

6 参考文献

- [1] 崔毅，邓康耀 涡轮增压柴油机米勒循环分析及优化，铁道机车车辆，第 31 卷增刊 2011 年 10 月
- [2] 汪齐富，崔毅，邓康耀，王新权，李翔 船用柴油机米勒循环两级增压系统设计研究，柴油机，第 34 卷（2012）第 2 期