

米勒循环对增压直喷汽油机性能的影响

王春龙 马为 刘斌

(重庆长安汽车股份有限公司动力研究院, 重庆 401120)

摘要: 为了深入了解米勒循环对发动机性能的影响, 本文采用一维仿真软件 GT-POWER 对长安某缸内直喷增压发动机进行仿真分析, 研究米勒循环发动机对缸内直喷增压汽油机动力性和燃油经济性的影响, 研究结果表明: 在部分负荷工况, 随着进气持续期和进气最大升程的缩小, 比油耗逐渐降低, 降低的范围在 5%-7.5% 之间, 随着进气持续期和进气最大升程的缩小, 整个转速的动力性降低, 1500r/min 外特性扭矩降低的范围在 2%-13% 之间, 最大扭矩降低的范围在 2%-8% 之间, 在 5500r/min 外特性扭矩降低的范围在 3%-20% 之间。由于使用米勒循环动力性会降低, 在未考虑爆震、甚至是早燃的情况下通过计算可知增加进气歧管压力能够补偿动力性。

关键词: 米勒循环 增压直喷汽油机 动力性 燃油经济性

随着国家第五阶段油耗法规的出台, 各大主机厂已经开始部署改善整车燃油消耗相关的工作。当前主流的 OEM 已经在推出新能源方案, 例如灵活燃料、混合动力以及电动车等新技术, 但是 EIA 的数据预测显示, 到 2040 年点燃式内燃机仍然占有 90% 的轻型车市场^[1]。这就需要各大主机厂提高汽油机的热效率, 在内燃机产品市场中具有竞争力。

米勒循环成为提高汽油机热效率的重要技术方案。关于米勒循环的研究, 国内外已有一些相关报道^[2-5]。米勒循环通过进气门早关使发动机具有低有效压缩比、高膨胀比的特点, 而且进气门早关在达到相同负荷情况下歧管压力会增加, 降低低负荷工况泵气损失, 从而获得较高的热循环效率, 降低发动机的燃油消耗率。

由于采用米勒循环后发动机充气效率降低, 因此采用米勒循环的发动机面临着动力性大幅度下降的难题。国外一流的 OEM 如 VW 在使用米勒循环获得较高燃油经济性的同时通过增加进气量、优化燃烧系统、冷却润滑系统来补偿动力性^[6]。表 1 是 VW 公司 EA888. 3B 采用米勒循环技术发动机参数。

表 1 发动机参数

技术参数	指标
发动机型式	直列四缸水冷涡轮增压
缸径/行程	1: 1. 125
着火方式	点燃
进气持续期	140° CA-170° CA
燃烧室	Mask 燃烧室
压缩比	11. 8

配气机构

进气VVL

为了深入了解米勒循环对缸内直喷汽油机性能的影响, 本研究将通过一维仿真开展分析。

1 基础发动机及 GT-POWER 模型

1.1 发动机技术参数

本研究对象为某缸内直喷涡轮增压发动机, 具体技术参数如表 2 所示。

表 2 发动机参数

技术参数	指标
发动机型式	直列四缸风冷涡轮增压
缸径/行程	1
着火方式	点燃
进气持续期	200° CA
压缩比	9. 75
进气最大升程	8. 2mm

1.2 模型标定

在 GT-POWER 中搭建该模型, 如图 1 所示。基于试验数据, 对 GT-Power 一维仿真模型进行标定, 标定内容包括进排气管路的压力, 温度, 气体流量, 容积效率, 缸压, BSFC, 扭矩、功率等, 以扭矩标定结果为例, 如图 2、图 3 和图 4 所示, 模型计算结果满足 3% 的误差标准, 可以进行仿真模拟计算。

重庆市人才计划新一代高效环保汽油机关键技术研究项目资助。(cstc2014jcyjqq60001)

作者简介: 王春龙 (1989-), 男, 工学学士, 工程师, 主要研究方向为发动机性能, E-mail: zhangxy2@changan. com. cn。

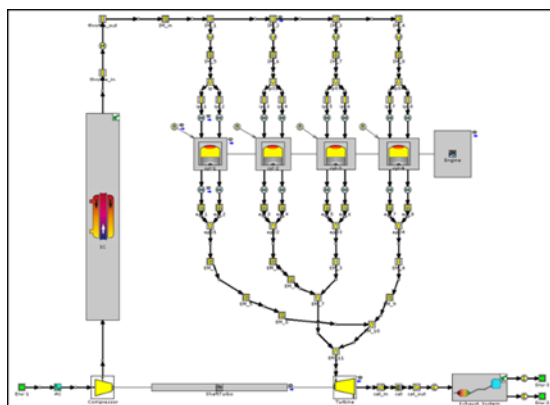


图 1 GT-Power 计算模型

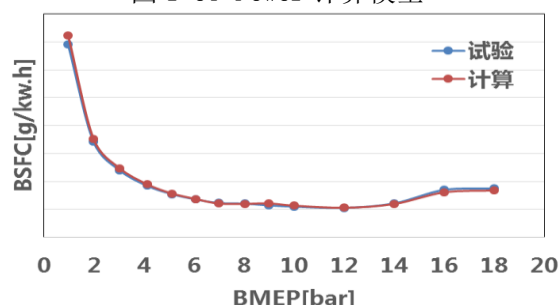


图 2 2000rpm 不同负荷比油耗试验和计算对比结果

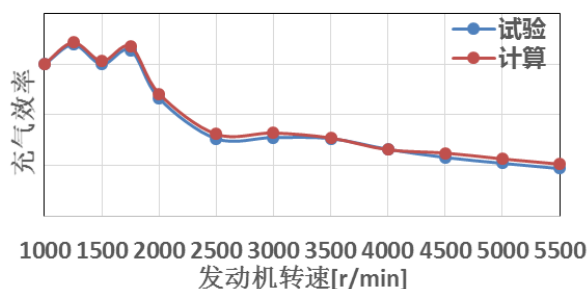


图 3 外特性充气效率试验和计算对比结果

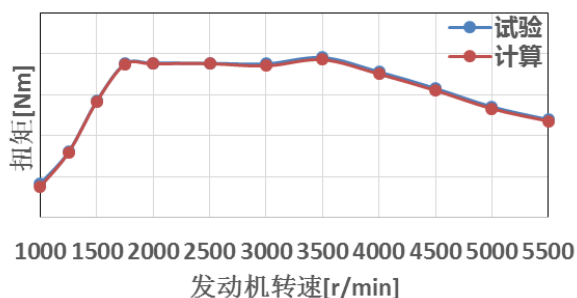


图 4 外特性扭矩试验和计算对比结果

1.3 研究方案

保持基础机与米勒循环发动机的边界条件一致，且在外特性（WOT）各转速下保持相同进气歧管压力，考察米勒循环对发动机动力性的影响。

在部分负荷工况下，考察米勒循环对缸内直喷汽油机燃油经济性的影响。

通过 1D 仿真软件进行换气过程及性能模拟计算，以分析影响性能变化的本质因素。

本次计算排气型线和基础机保持一致，进气最大升程和进气持续期（以 1mm 对应曲轴转角作为开启角和关闭角）如表 3 所示，进气升程曲线如图 5 所示。

表 3 基础机和不同米勒方案进气最大升程以及进气持续期参数

方案	进气最大升程	进气持续期
基础机	8.20mm	200° CA
方案1	5.88mm	140° CA
方案2	6.30mm	150° CA
方案3	6.72mm	160° CA
方案4	7.14mm	170° CA
方案5	7.56mm	180° CA
方案6	7.98mm	190° CA

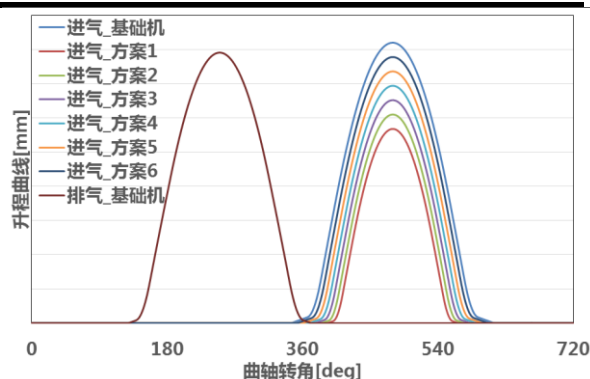


图 5 基础机和不同米勒方案进气升程曲线

2 结果与分析

2.3 部分负荷油耗分析

图 6 为 2000rpm@2bar、2000rpm@4bar、2000rpm@6bar 基础机和不同米勒方案的燃油消耗率对比，在 2000rpm@2bar、2000rpm@4bar 米勒方案燃油消耗率相比基础机降低的幅值在 5%-7.5%之间，在 2000rpm@6bar 米勒方案燃油消耗率相比基础机降低的幅值在 3.5%-6%之间。

从仿真结果得知，采用米勒技术发动机随着进气持续期和进气最大升程的缩小充气效率下降，在部分负荷工况，为保证相同的负荷，需要节气门开度增大，因此泵气损失降低（如表 4 所示），改善燃油经济性。

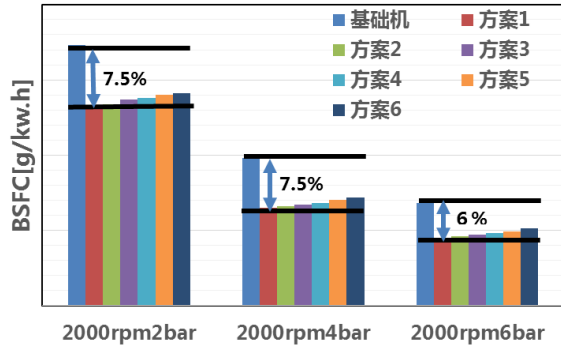


图6 基础机和不同米勒方案部分负荷工况燃油消耗率对比

表4 基础机和不同米勒方案在 2000rpm@2bar、2000rpm@4bar、2000rpm@6bar 泵气损失对比

工况点		2000rpm@2bar	2000rpm@4bar	2000rpm@6bar
PMEP (bar)	基础机	-0.57	-0.64	-0.7
	方案1	-0.47	-0.25	-0.17
	方案2	-0.49	-0.285	-0.23
	方案3	-0.52	-0.29	-0.24
	方案4	-0.53	-0.32	-0.27
	方案5	-0.55	-0.323	-0.27
	方案6	-0.56	-0.38	-0.31

2.1 WOT 性能对比

WOT 各转速下的进气歧管压力控制一致，如图7所示，研究米勒循环对发动机性能的影响。

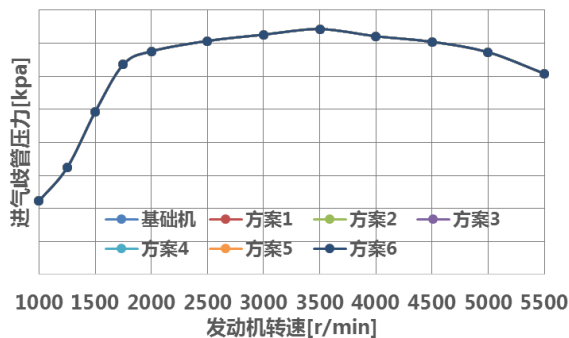


图7 基础机和不同米勒方案进气歧管压力对比

图8为米勒循环发动机与基础机的WOT动力性对比。从图中可以看出，在保持同等进气歧管压力下，随着进气最大升程@进气持续期逐渐缩小，整个转速的扭矩均下降。在5500rpm，方案1、2、3、4 扭矩分别相对于机降低20%、13%、8%、3%，；在1500rpm，方案1、2、3、4 扭矩相对于基础机分别降低了13%、8%、5%、2%；方

案1、2、3、4 最大扭矩相对于基础机分别降低了8%、4%、2%、0%；方案5和方案6在整个转速的扭矩相对于基础机未降低。

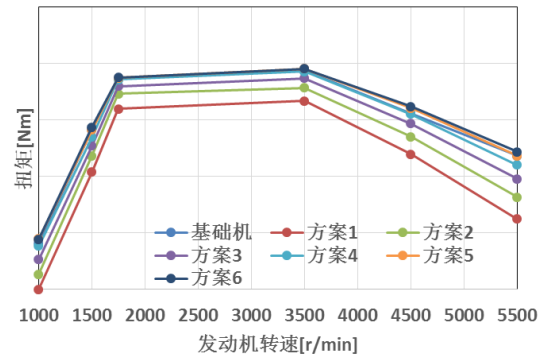


图8 基础机和不同米勒方案外特性扭矩对比

2.2 性能差异分析

图9为6种米勒方案和基础机外特性充气效率的对比。从图中可以看出在整个转速充气效率均下降，且随着进气最大升程@进气持续期缩小而逐渐降低，在额定功率转速5500rpm方案1充气效率降低20%。主要原因在于随着米勒的加深，进气时间缩短，进气量降低，充气效率下降，输出扭矩降低。

图10、11和12为5500r/min、3500r/min和1500r/min瞬态进气图。从图中可以看出，随着米勒加深（进气最大升程@进气持续期缩短），每循环缸内进气量降低。

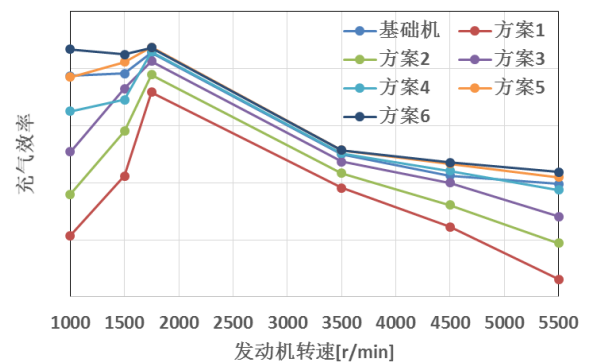


图9 基础机和不同米勒方案外特性充气效率对比

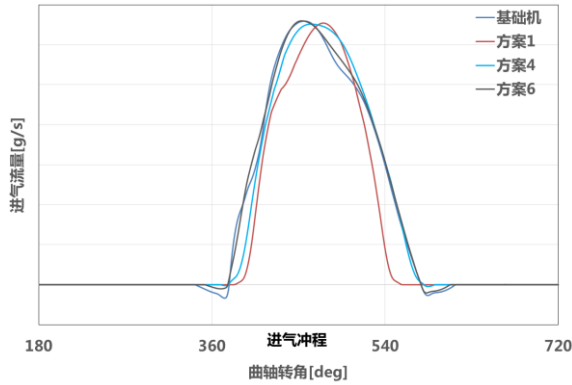


图 10 5500r/min 瞬态进气量对比

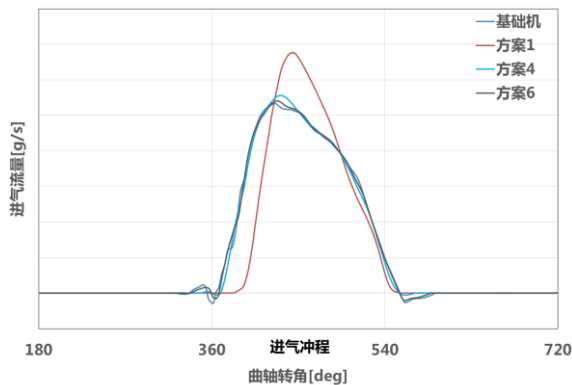


图 11 3500r/min 瞬态进气量对比

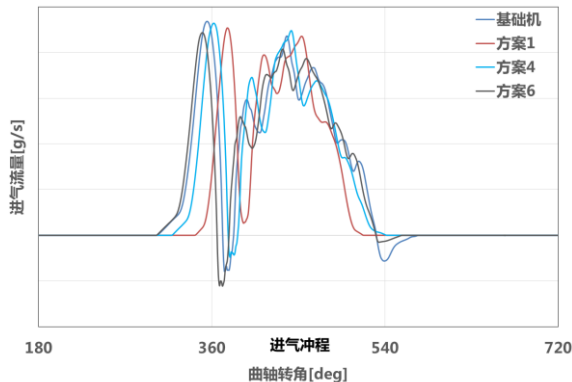


图 12 1500r/min 瞬态进气量对比

虽然采用米勒方案发动机动力会下降,但是可以通过增加进气歧管压力、优化燃烧、冷却来补偿动力。由于 GT-power 无法准确的计算优化燃烧、冷却对动力性的影响,本次对比只是增加进气歧管压力补偿动力的计算。而且计算并未考虑由于增大进气歧管压力所带来爆震、甚至是早燃的问题。

图 13 是不同米勒方案和基础机保持相同扭矩下的进气歧管压力对比图。表 5 是不同米勒方案和基础机达到相同扭矩时进气歧管压力具体

的数值对比。方案 1 到 4 进气歧管压力增加 5-45kpa 可以使动力性和基础机相同。

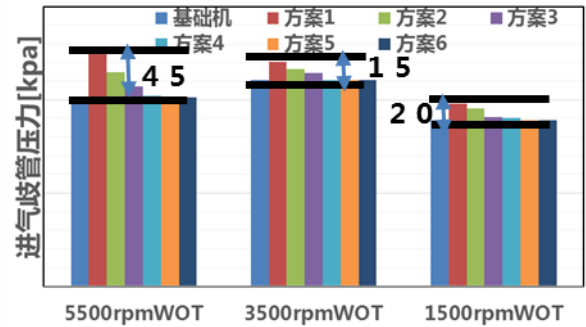


图 13 相同扭矩下基础机和不同米勒方案歧管压力对比
表 5 不同米勒方案达到基础机扭矩进气歧管压力应增加值

工况点 (WOT)		1500	3500	5500
进气歧管压力 (kpa)	基础机	0	0	0
	方案 1	+20	+15	+45
	方案 2	+11	+9	+25
	方案 3	+9	+7	+15
	方案 4	+7	0	+5
	方案 5	0	0	0
	方案 6	0	0	0

3 结论

通过一维数值模拟,对比分析了米勒循环发动机在直喷汽油发动机上的性能表现,得到以下结论:

在 2000rpm@2bar、2000rpm@4bar、, 相对于基础机方案 1、方案 2、方案 3、方案 4、方案 5 和方案 6 比油耗分别降低了 7.5%、7%、6.5%、6%、5.5%和 5%, 在 2000rpm@6bar, 相对于基础机方案 1、方案 2、方案 3、方案 4、方案 5 和方案 6 比油耗分别降低了 6%、5.5%、5%、4.5%、4%和 3.5%;

在 WOT 同等进气歧管压力下,相对于基础机方案 1、方案 2、方案 3 和方案 4 在 1500r/min 扭矩分别降低了 13%、8%、5%和 2%, 最大扭矩分别降低了 8%、4%、2%和 0%, 在 5500r/min 扭矩分别降低了 20%、13%、8%和 3%; 方案 5 和方案 6 的扭矩相对于基础机在整个转速未降低;

虽然采用米勒方案发动机动力会下降,但是可以通过增加进气歧管压力、优化燃烧、冷却来补偿动力。如果未考虑由于增大进气歧管压力所带来爆震、甚至是早燃的问题,方案 1 到 4 进气

歧管压力增加 5-45kpa 可以维持动力性和基础机相同。

参考文献

- [1]. Matthias N,Wallner T,Scarcelli R.Analysis of Cyclic Variability and the Effect of Dilute Combustion in a Gasoline Direct Injection Engine[C].SAE Paper 2014-01-1238.
- [2]. Wan Y,Du A. Reducing part load pumping loss and improving thermal efficiency through high compression ratio over-expanded cycle[C]. SAE Paper 2013-01-1744.
- [3]. 郑斌, 李铁, 尹涛. 米勒循环改善增压直喷汽油机热效率的机理分析-部分负荷工况分析 [EB/OL]. [2015-05-18]. <http://www.cnki.net/kcms/detail/31.1255.TK.20150212.1230.004.html>.
- [4]. Martin S, Christoph B, Matthias K,et al. Combined Miller/Atkinson strategy for future downsizing concepts[J]. MTZ,2014;2014-75.
- [5]. Li T, Gao Y, Wang J S,et al. The Miller cycle effects on improvement of fuel economy in a highly boosted, high compression ratio, direct-injection gasoline engine: EIVC vs. LIVC[J]. EnergyConversionandManagement,2014,79:59-65.
- [6]. Dr.-Ing.RainerWurms,Dr.-Ing.RalfBudack, Dr.Ing.Michael Grigo,Dr.-Ing.Gunther Mendl,Dr.-Ing.Thomas Heiduk,Dr.Ing.Stefan Knirsch AUDI AG,Ingolstadt.The new Audi 2.0L Engine with innovative Rightsizing – a further Milestone in the TFSI Technology,Internationales Wiener Motorensymposium August 2015.