

某 1.5L 自吸汽油机动力性提升分析

The research of increasing power for a 1.5L NA gasoline engine

张秀英 豆佳永 刘系嵩 王一聪 马克 张静

(北京汽车动力总成有限公司)

摘要: 为满足国六排放, 某 1.5L 自然吸气发动机取消了中高速的动力加浓, 导致外特性扭矩下降较多, 不能满足整车动力性要求。为提高发动机动力性, 潜在的措施有更换可变长度进气歧管、优化气门型线、优化排气歧管等。通过 GT-POWER 软件对可行的技术措施进行对比计算, 最终选用了可变进气歧管、优化的气门型线及 4-1 排气歧管三个方案, 使动力性提高 2-14Nm。经试验验证, 低速外特性扭矩提高 3-10Nm, 达到目标要求, 仿真与试验的一致性较好。

关键字: 动力性, 国六排放, 气门型线, 可变进气歧管

Abstract: To cooperate with the CN6 emission, one 1.5L NA engine cancels the inject rich of middle and high speed, which results in obviously torque reduce in WOT, and can't meet the vehicle requirement. In order to improve the engine power, there are some potential measurements: using the variable intake manifold, optimizing the intake and exhaust valve lift and optimizing the exhaust manifold. We contrasted all of the potential measurement through simulation software, GT-POWER. At last, we selected three effective methods: variable intake manifold, optimize valve lift and 4-1 exhaust manifold. Through these methods, the simulation engine torque can increase 2-14 Nm, while by dyno test, the torque improved 3-10 Nm. The simulation and test result shows very high consistency.

Key words: Engine dynamics, CN6 emission, Valve lift, Variable intake manifold

1 概述

目前我国空气污染问题日益严重, 大中城市雾霾频发, 公众对提高空气质量的诉求越来越高。机动车排放作为大气污染物的主要来源之一, 国家对其的管控越来越严苛, 新的国六排放法规即将于 2018 年率先在我国东部 11 省市实施。为满足国六排放对颗粒物、CH、CO 等的限值要求, 公司匹配某车型的 1.5L 自吸汽油机取消了高转速的动力加浓与排温保护, 导致高转速范围发动机外特性扭矩下降较多, 不能满足整车动力性要求。

为在短时间内提高发动机动力性, 可采用的措施包括使用可变长度进气歧管、优化进排气门型线、使用 4-1 型式排气歧管。本文通过仿真手段对此自吸发动机进行动力性提升的计算, 为零部件设计改进及开发试验提供方案依据和参考。

2 备选技术方案

本文的研究对象为一台 1.5L 直列四缸自然吸气发动机, 原型机满足国五排放, 其关键技术参数如表 1 所示。为满足国六排放, 该发动机取消了 4400r/min 及以下转速的动力加浓, 导致外特性扭矩下降较多, 影响整车加速性能。

表 1 发动机基本技术参数

类型	原型机
排量 (L)	1.5L
进气方式	自然吸气
喷射方式	气道喷射
进气歧管	定长进气歧管
排气歧管型式	4-3-1

本项目要求发动机在满足国六排放的前提下，短时间内实现发动机动力性提升，考虑到本发动机搭载整车后的 WLTC 循环过程主要工作在 4400r/min 以下转速，因此本文主要探讨较快的、对改善中低速动力性有显著作用的技术措施。

以提升发动机中低速动力性为目标，本文考察研究了如下的技术方案：

2.1 可变进气歧管

对于自吸发动机来说，进气歧管的设计尤为重要。目前的原型机为定长度进气歧管，由于进气谐振的影响，该发动机在 4200r/min 附近转速的扭矩最高，低速及高速扭矩值偏低，取消动力加浓后，高转速扭矩下降非常明显。

在不改变进气歧管前后安装尺寸的前提下，将该歧管变为可变长度歧管，分长管与短管两种状态。长歧管比定长状态歧管长度增加约 100mm，在进气谐振的影响下，有利于中低速扭矩；短歧管状态只在高转速时打开，有利于提升高转速动力性。两种长度歧管状态的示意如图 1 所示，控制策略如表 2 所示。

表 2 变长进气歧管长度控制策略

歧管长度	转速 ≤ 4000 r/min	转速 ≥ 4400 r/min
短管状态	关闭	开启
长管状态	开启	开启

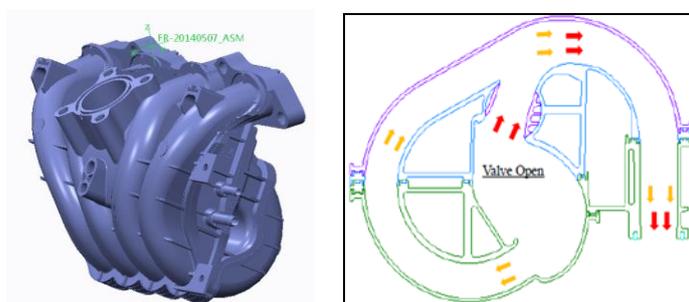


图 1 定长与变长进气歧管对比

2.2 气门型线优化

对于自吸发动机，气门型线的设计通常偏重于功率点，包角范围比较宽（1mm 以上行程超过 200° CA），有利于功率点多进气；但对于中低速转速，较宽的型线会导致进气回流，不利于提高扭矩。

对于直列 4 缸发动机，排气型线越宽，相邻点火顺序的气缸的排气干扰越严重，不利于排气过程的顺畅进行，从而使缸内残余废气较多，充气效率下降，最终导致扭矩下降。

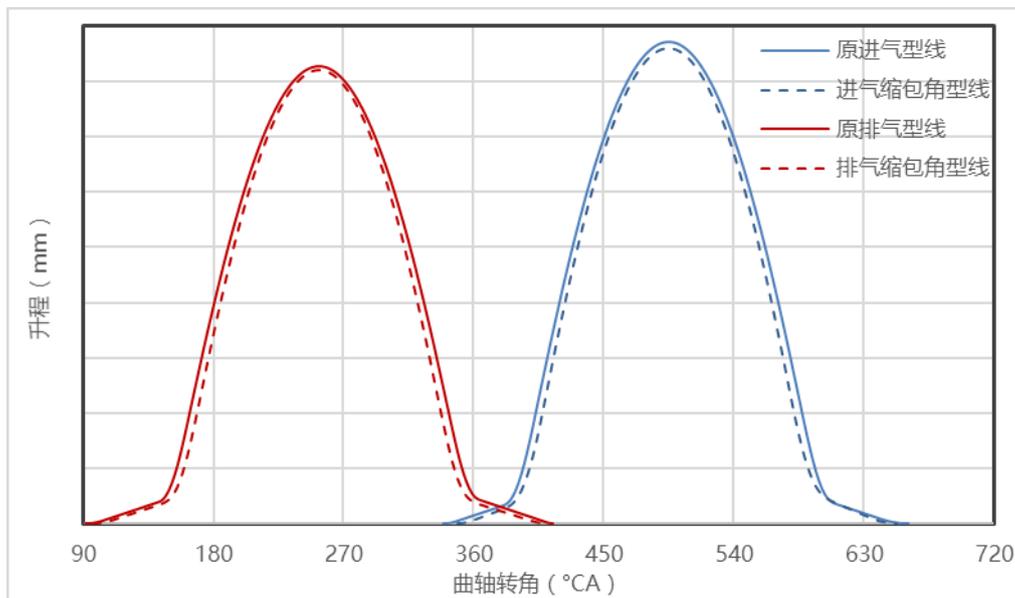


图 2 缩包角前后气门型线对比

为提高原机在中低速段的扭矩，计划缩小进排气包角。通过 CAE 手段计算不同型线下的动力性，最终确定将原机的进排气门型线分别缩小至 94%，气门升程也随之小幅降低，两种型线的对比如图 2 所示。

2.3 优化排气歧管

合理设计的排气歧管能够有效降低缸内残余废气，进而提升进气充量，降低爆震倾向，改善燃烧性能，获得更佳的动力性及经济性。马自达汽车公司通过采用图 3 中 (c) 排气歧管设计，有效的降低了缸内残余废气，得到了可观的动力性及经济性提高。

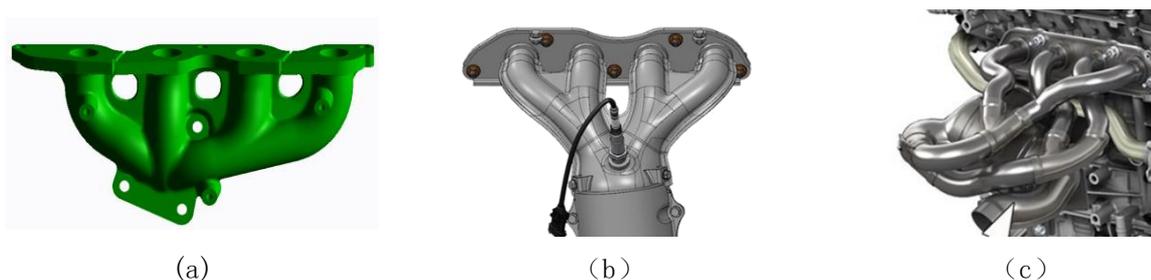


图 3 不同排气歧管设计对比

我司对不同排气歧管进行深入的研究工作，对不同排气歧管的表现进行了大量的仿真及试验工作，本文研究的升级机型对不同排气歧管设计进行了试验研究，但是基于整车的布置因素及成本考虑，建议采用图 3 (b) 所示的 4-1 型式排气歧管。

3 GT-POWER 模型

在 GT-POWER 软件中搭建原型机与升级发动机的模型，如图 4 所示。使用试验数据对原型机模型

进行标定, 平均误差小于 2.5%, 该模型可以用于进一步分析计算, 如图 5 所示为模型标定结果。基于原型机模型, 创建改进机型的 GT 模型, 进行下一步分析计算。

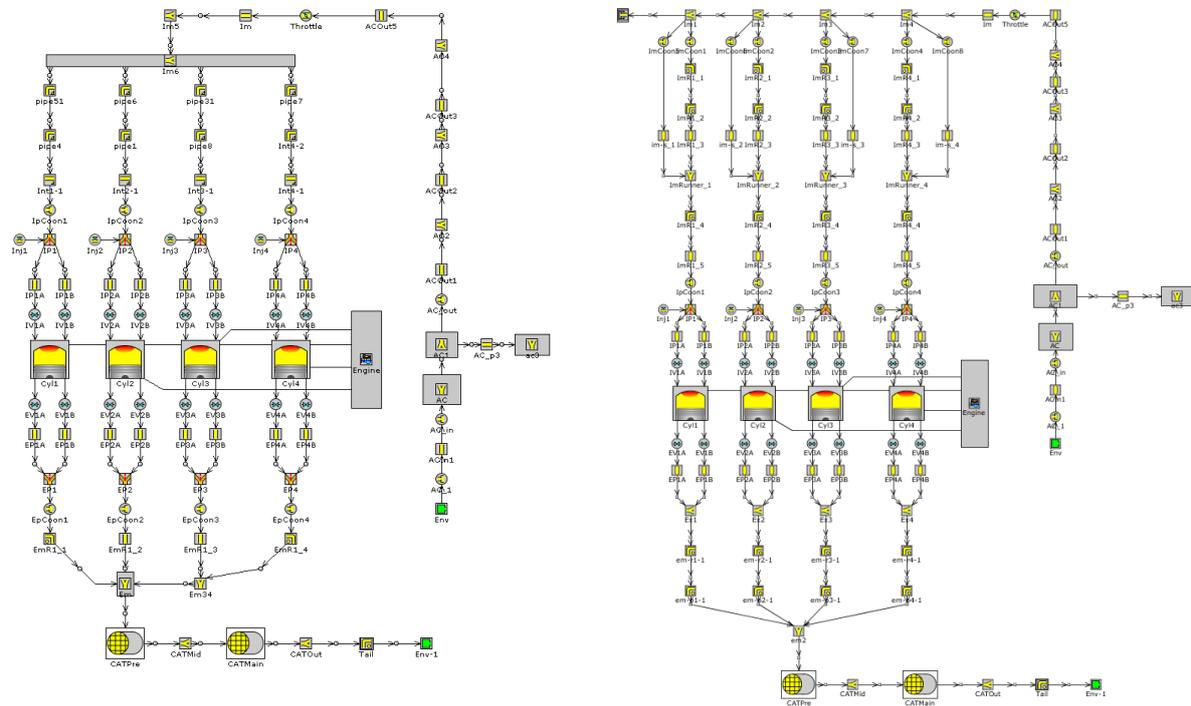


图 4 GT-POWER 模型对比

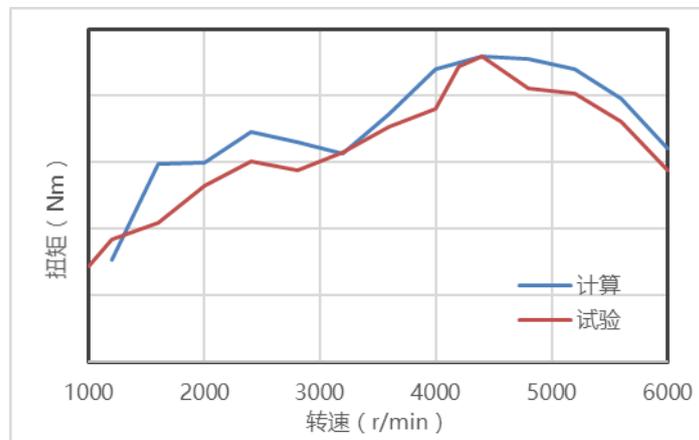


图 5 模型标定结果

4 方案评价

基于上述的动力性提升方案, 以 CAE 手段对各种措施进行对比计算, 寻找能够获得最佳动力性的技术方案匹配。

4.1 可变进气歧管

发动机进气歧管由定长度变为可变长度, 同时优化进气 VVT 相位。从动力性的仿真结果对比可以看出: 2400r/min 以前转速, 两种进气歧管的动力性互有高低; 2800r/min 以上转速, 变长进气歧

管相比定长进气歧管扭矩提高 1-10Nm，其中 2800—3600r/min 之间扭矩提升最为明显；额定点功率增加 3.5kW

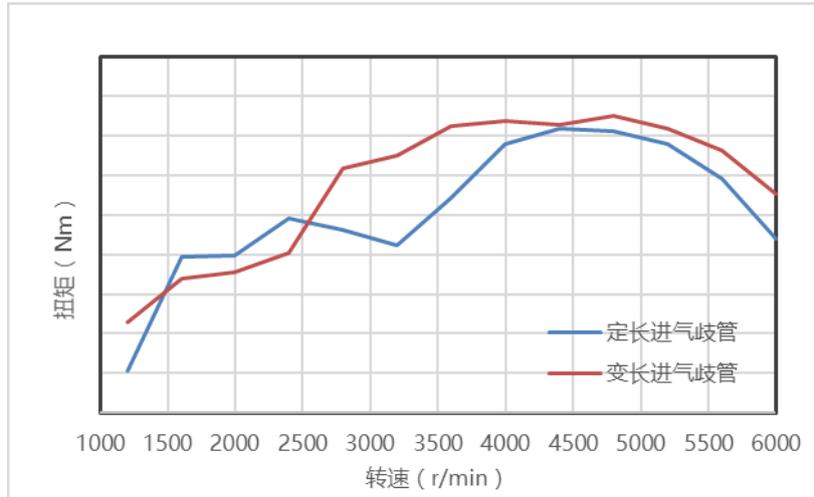


图6 定长与变长进气歧管动力性对比

从动力性对比可以看出，改用变长进气歧管后，因歧管长度与定长相比发生了改变，能够有效利用进气谐振的转速也随之改变，使发动机在 3000r/min 左右及 5000r/min 以上转速的扭矩得到较大提高。

4.2 缩小进气型线

通过前期对比计算，将进气型线缩小至原型线的 94%，既可以提高中低速的动力性，也不会使高速扭矩下降较多。该发动机在使用变长进气歧管的前提下，进气型线缩小与不缩小的动力性对比如图 7 所示。发动机在 3600r/min 及以下转速的扭矩提高 1-3Nm，但 5000r/min 以上的高转速工况由于进气量减小，扭矩有所下降，功率点较之前下降 2.4kW。

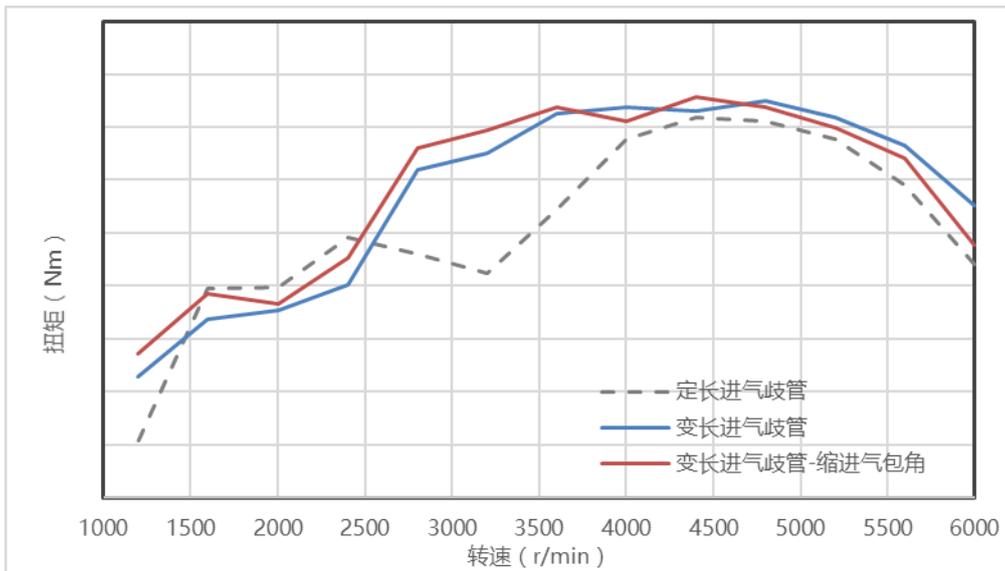


图7 原进气型线与缩小进气型线的扭矩对比

4.3 缩小排气型线

对于自吸直列 4 缸发动机，较宽的排气型线会产生比较严重的排气干扰，当前气缸的主动排气

过程会对上一气缸的被动排气过程产生干扰，导致废气残余较高，不利于扭矩的提高。适当减小排气型线的包角可以提高发动机动力性。

在采用变长进气歧管、缩小进气型线的前提下，排气型线缩小 94%前后的动力性对比如图 8 所示。从计算对比结果可以看出，在 4400r/min 以下转速，扭矩提高 1-4Nm，转速越低，扭矩提升越明显；高转速没有明显变化。

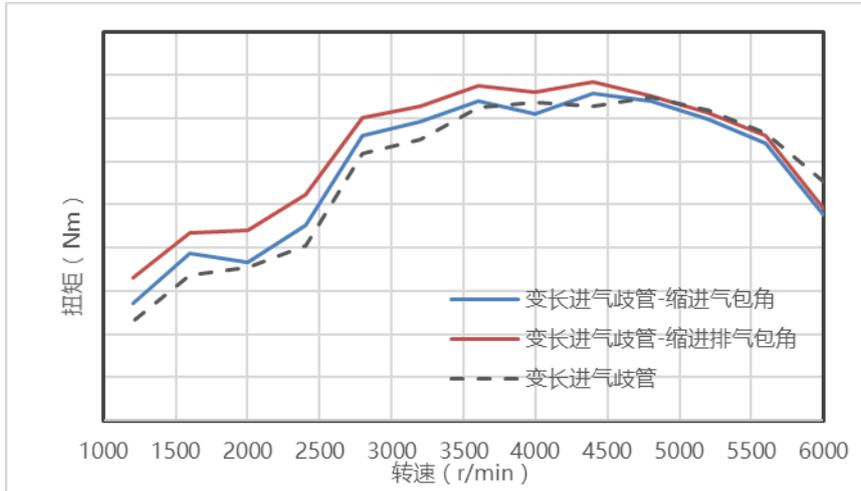


图 8 原排气型线与缩小排气型线的扭矩对比

4.4 更换排气歧管

通过采用优化的 4-1 型式排气歧管，可以提高排气的通畅性，更好的降低缸内废气残余，进而提高各转速工况下的充气效率，使动力性得到提升。

在只缩小进气型线包角并更换排气歧管后，发动机在高转速的扭矩提升比较明显，3600r/min 以后转速扭矩提高 3-4Nm；进排气型线包角均缩小后，发动机在中间转速提高 1-2Nm。

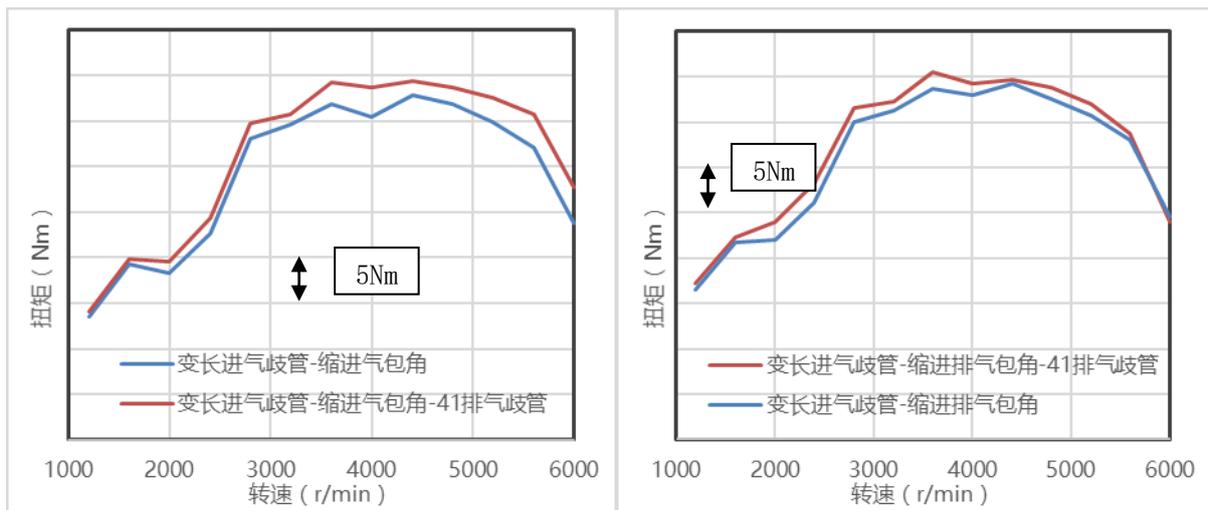


图 9 更换排气歧管前后的动力性对比

5 试验结果

经过整机布置分析并综合考虑发动机功率扭矩等综合因素，最终采用的升级措施为更换可变进气歧管、缩小进气型线包角等。对升级之后的发动机进行了外特性试验，结果如图 10 所示。

与初始状态相比，4000r/min 以前转速的扭矩提高了 3-10Nm，4800r/min 及以后转速的扭矩提高了 5Nm 左右；发动机额定功率增加了 3.2kW，基本满足整车动力性需求。

与最终状态的计算结果相比，试验与仿真的各转速变化趋势比较一致，两者的差异在大部分转速均在 5Nm 以下，说明仿真计算结果具有很高的准确性。仿真计算对项目技术方案的设计、制定可以起到比较关键的作用。

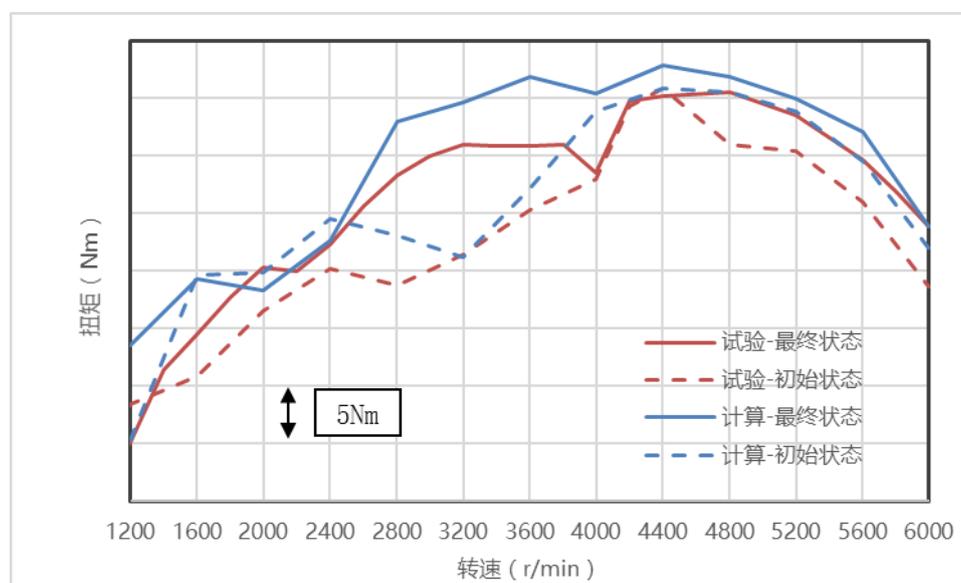


图 10 试验与仿真结果对比

6 结论

- 1) 以一款 1.5L 自吸发动机为基础，通过一维计算分析，优化了进气歧管、缩小了进气型线包角，在采用当量空燃比的前提下，最终达到提高发动机动力性的目的，为设计及开发工作提供依据和参考；
- 2) 通过技术方案研究发现，该发动机有进一步提升动力性的潜力与技术方案，在整车布置满足条件的前提下，通过优化排气歧管，可以进一步提高动力性；
- 3) 通过与试验对比分析发现，仿真计算具有很高的精度，对动力性的预测与实际情况的吻合度较高，CAE 手段对项目的开发起到了至关重要的作用。

7 参考文献

- [1]周龙宝，《内燃机学》，机械工业出版社，1999 年 6 月
- [2]陈家瑞，《汽车构造》，机械工业出版社，2009 年 1 月