

整车进、排气管路对自然吸气发动机动力性能影响

马赫阳¹, 王占峰¹, 黄平慧¹

(1 中国第一汽车股份有限公司研发总院, 吉林省 长春市 130011)

摘要: 本文应用 GT-POWER 软件, 对某 1.5L 自然吸气发动机进行数值模拟, 研究真实整车进、排气管路对动力性能的影响, 同时详细研究了进气管路中谐振腔、附容积腔, 排气管路中消音器、三元催化器至消音器间管长对自然吸气发动机动力性能的影响, 为自然吸气发动机数值计算模型的建立提供一定的指导。

关键词: GT-POWER、自然吸气发动机、进排气管路、动力性

Abstract: In this paper, GT-POWER is used to conduct numerical simulation of a 1.5L naturally aspirated (NA) engine to study the influence of the actual inlet and exhaust pipes on the dynamic performance. At the same time, the influence of the cavity in the intake pipe, muffler and the pipe between muffler and catalyst on performance is studied. The study provided guidance for the establishment of the numerical calculation model of NA engine.

Keyword: GT-POWER, NA engine, inlet and exhaust pipe, dynamic performance

1 引言

自然吸气发动机在性能设计时通常经过优化进气歧管直径长度、进排气凸轮轴和排气歧管直径长度来获得较好的性能。而对于节气门前的整车进气管路和三元后的整车排气管路往往通过设置相同的进、排气阻力来表征, 这对于自然吸气发动机这种进气压力低、对管路直径长度引起的压力波动影响较大的机型而言是不够准确的。本文以此为切入点, 研究真实整车进、排气管路对自然吸气发动机动力性的影响, 为数值模型的建立和自然吸气发动机换气管路优化提供一定的指导。

2 自然吸气发动机主参数及计算模型

2.1 汽油机主参数

表 1 为 1.5L 自然吸气发动机的主要结构参数及性能参数。

表 1 1.5L 自然吸气发动机主参数表

参数	单位	
缸径	mm	74
行程	mm	87.2
缸数	-	4
排量	L	1.5
压缩比	-	11
升功率目标	kW/L	54
升扭矩目标	N.m/L	100
排放水平	-	国六 b

2.2 基础模型

图 1 为基于 GT-POWER 搭建的自然吸气发动机一维热力学计算模型。其中节气门前进气管路压降和三元催化器后排气管路压降与试验值一致。

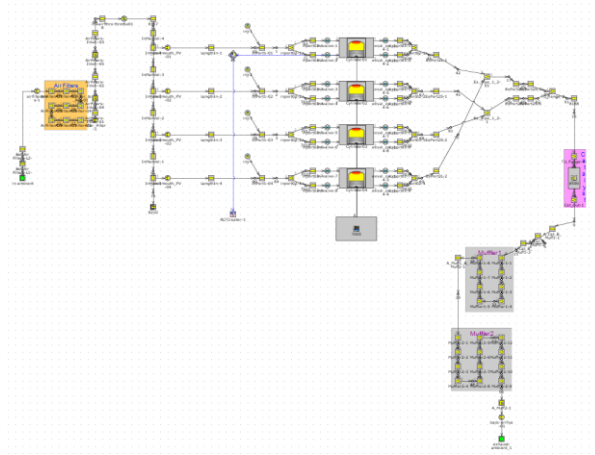


图 1 一维热力学计算模型

3 计算结果

3.1 真实整车进排气管路对动力性的影响

如图 2 为节气门前进气管路三维模型，及利用 GEM-3D 将模型切割并转化为一维模型，包括空气滤清器和三个体积不等的谐振腔。图 3 为三元催化器至环境的真实排气管路三维模型，同样利用 GEM-3D 进行切割并转化为一维模型，其中详细的按照真实结果建立了前消音器模型，如图 4 所示。

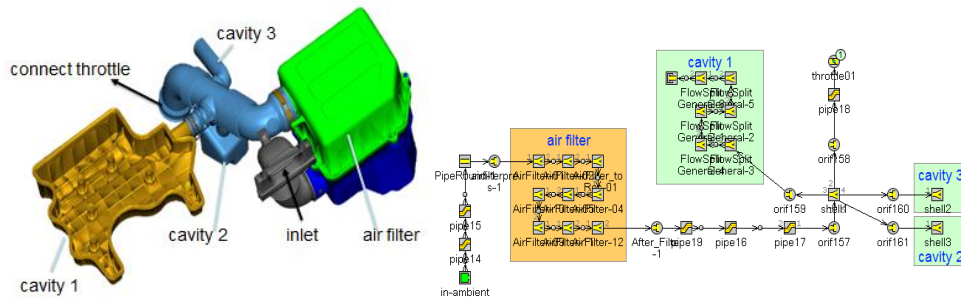


图 2 节气门前进气管路模型

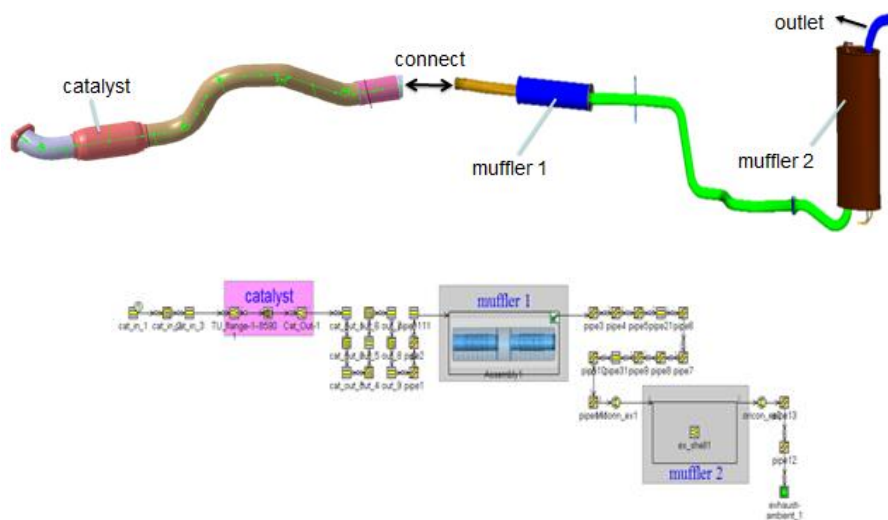


图 3 三元催化器至排气环境的排气管路模型

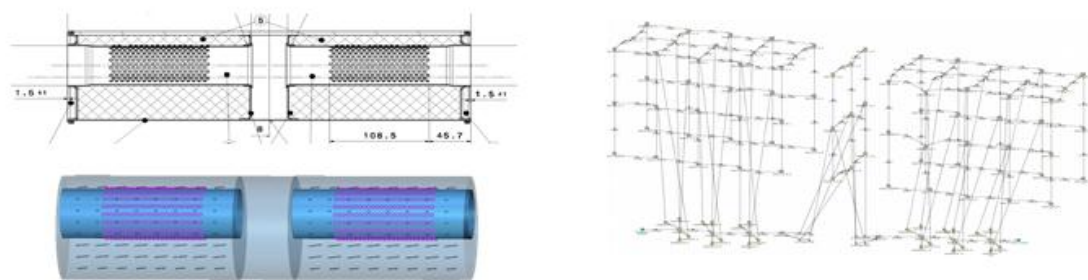


图 4 消音器模型

基于以上真实进排气管路建立的一维发动机模型如图 5。真实管路模型与原模型对性能的影响如图 6.1, 真实进排气管路对高速扭矩影响较小, 对低速扭矩影响较大, 最多在 2500r/min 降低了 9N.m。在此基础上优化了 VVT, 1500、2500、3000r/min 扭矩低于原模型, 最低在 2500r/min 降低 4.3N.m, 2000r/min 时扭矩增加 5N.m, 如图 6.2。

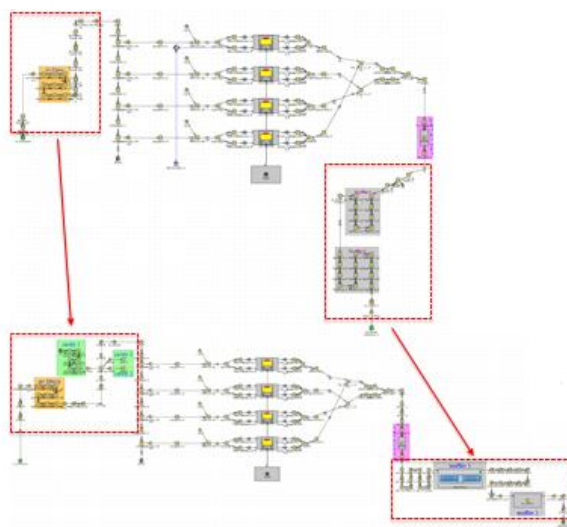
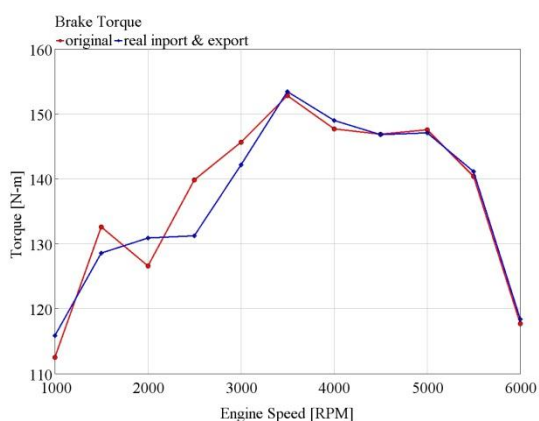
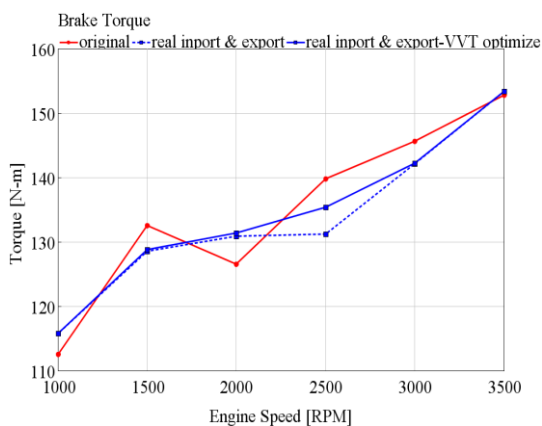


图 5 基于真实管路建立的一维模型



6.1 VVT 优化前动力性对比



6.2 VVT 优化后动力性对比

图 6 真是进排气管路对动力性的影响

主要是由于管路变化影响了进、排气压力波动, 从而影响了动力性, 以 2500r/min 为例, 如图 7 为原模型、真实管路模型 VVT 优化前后的进气压力、排气压力和缸压的三压力图。

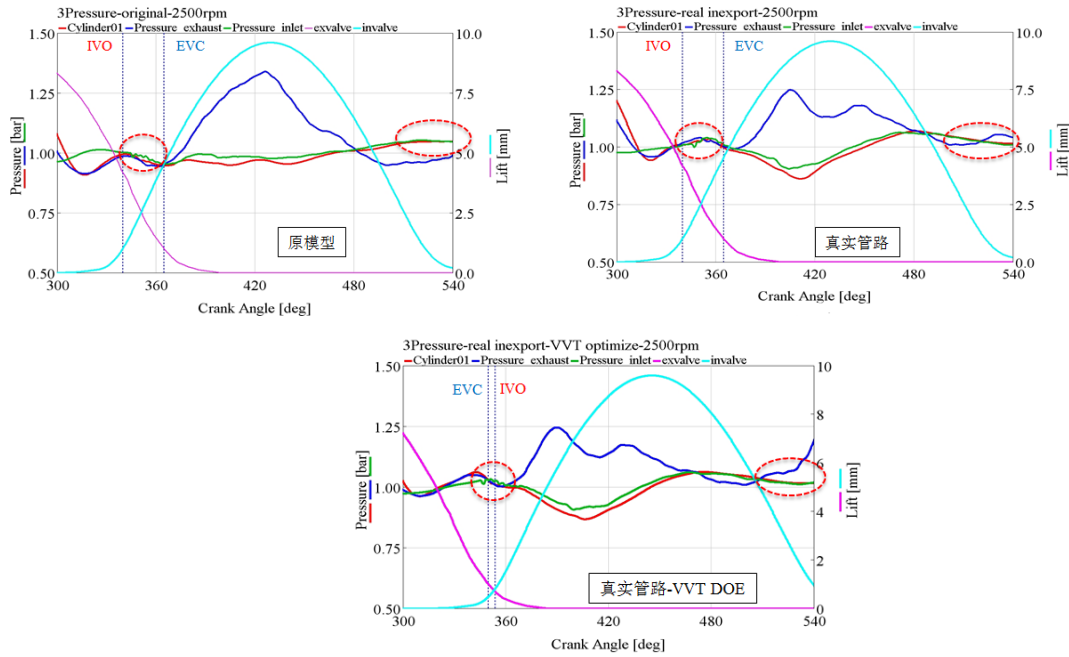


图 7 2500r/min 不同管路、VVT 优化前后的三压力图

可知，进排气重叠期和进气门关闭阶段的压力变化是影响换气、动力性能的主要因素。换为真实管路后，进、排气重叠期内进气压力低于排气压力及缸压，进气阻力大引起进气量降低。进气门关闭阶段进气压力低于缸内压力，同样导致进气量降低，扭矩降低。VVT 优化后减小了进排气重叠角，在重叠期内使进气压力高于排气压力及缸内压力，提高进气量，从而提高扭矩。

由以上计算结果可知，进排气管路对自然吸气发动机动力性影响较大，下面详细的分析进排气系统中的关键部件对动力性的影响，包括进气管路中谐振腔、副容积腔，排气管路中消音器穿孔布置、三元催化器至消音器管长。

3.2 进气管路中谐振腔、副容积腔对动力性的影响

3.2.1 谐振腔对动力性的影响

图 8 为谐振腔及相关进气管路的一维模型。如图 9 为添加谐振腔前后的扭矩对比，总体来看谐振腔对扭矩的影响较小，最多在 1500r/min 提高扭矩 1.2%、1.6N.m。

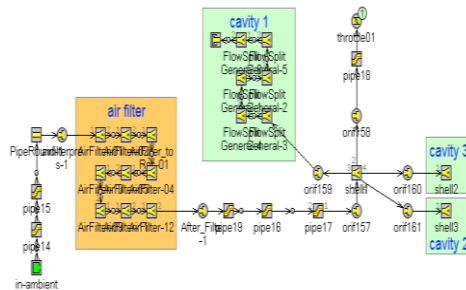


图 8 谐振腔一维模型

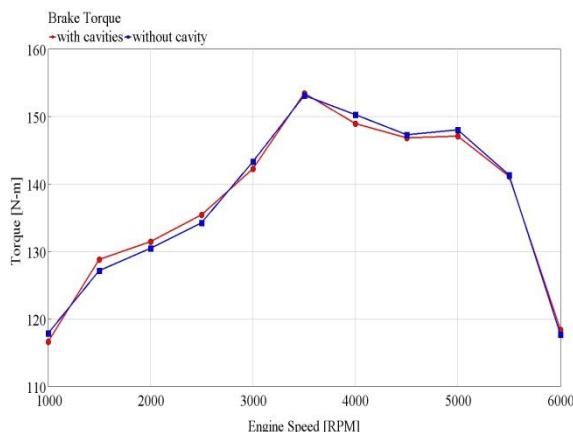


图 9 谐振腔对动力性的影响

接下来对比了容积相同、数量不同的谐振腔对扭矩的影响，更改模型保证总容积 4.7L 不变，数量变为 1 个，图 10 为扭矩对比。容积相同时，容积腔的个数对性能没有影响。

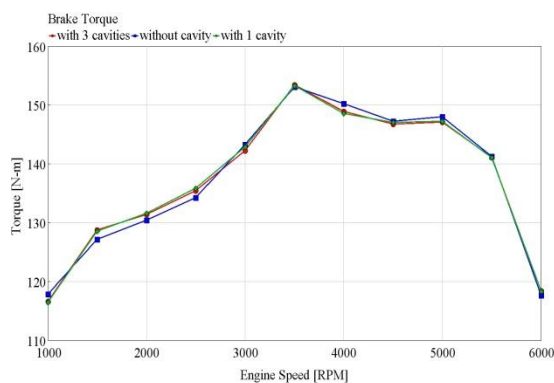


图 10 谐振腔数量对动力性的影响

3.2.2 进气歧管处副容积腔对动力性的影响

如图 11 为进气歧管处副容积腔的一维模型，在进气歧管的旁侧设置连接管和副容积腔。以副容积腔的容积和连接管的直径为特征尺寸，容积的变化范围为 0.3-1L，连接管直径的变化范围为 45-60mm，在 1000-6000r/min 外特性工况进行 DOE 计算，得到不同工况下最高的扭矩及对应的副容积腔尺寸，如图 12。副容积腔对最大扭矩和最大净功率基本无影响，较大的副容积腔容积可以提高中高转速的动力性，最多可在 3000r/min 提高 3N·m。但副容积腔会降低 2000r/min 以下动力性。

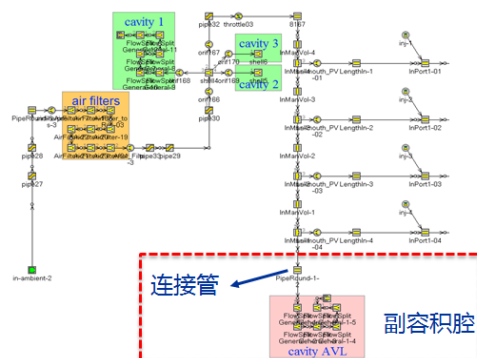


图 11 进气歧管处副容积腔一维模型

选择 3000、4000、4500r/min 最优连接管长度和容积计算对外特性的影响如图 13。方案 2 可提升

4000-4500r/min 扭矩，具体可根据对不同转速的扭矩需求进行优化。

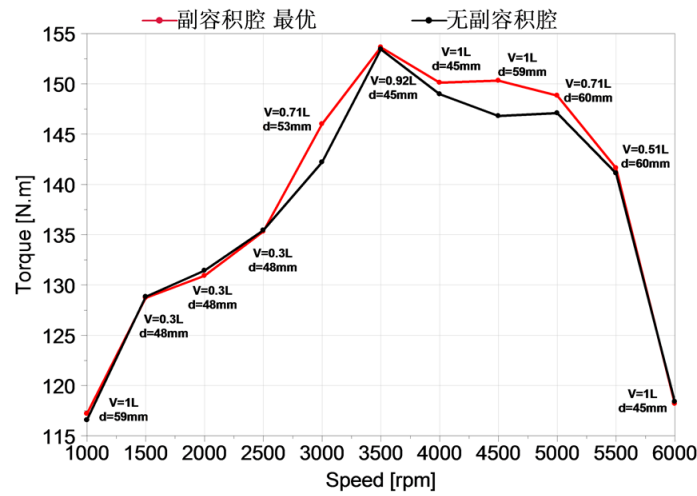


图 12 副容积腔结构参数对动力性的影响

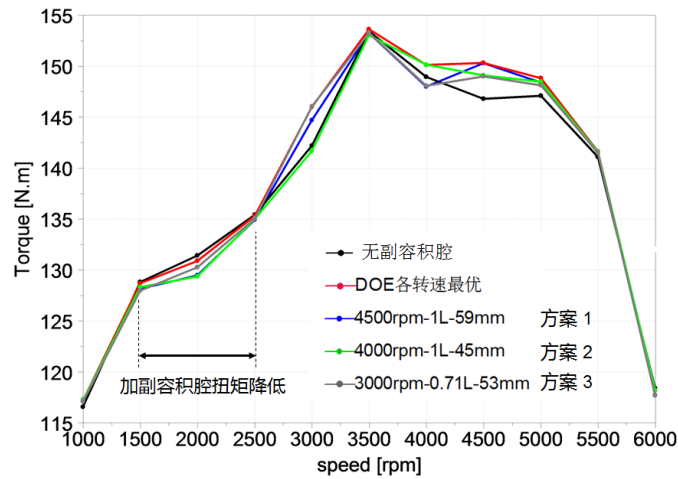


图 13 不同副容积腔方案对动力性的影响

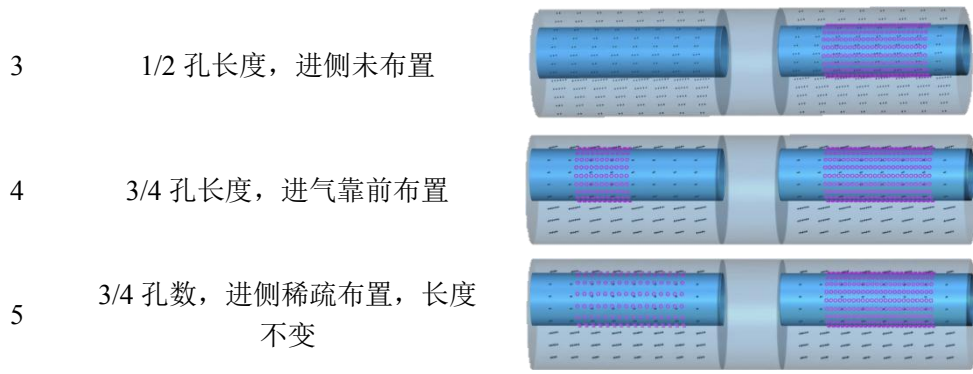
3.3 排气管路中消音器、管长对动力性的影响

3.3.1 消音器穿孔布置对动力性的影响

消声器的关键结构参数有孔数、穿孔分布长度、穿孔布置的位置。根据以上特征参数设置 5 个计算方案，如表 2 所示。

表 2 不同消音器孔布置方案

方案	说明	示意图
1	原消音器	
2	3/4 孔长度，进气靠后布置	



计算结果如图 14，消音器孔布置对 3000r/min 以上高速性能没有影响，对低速影响较大。相同分布长度下，孔数对性能几乎没有影响。相同分布长度下，消音孔的具体布置位置对动力性影响也很小。主要影响性能的是消音孔的布置长度，长度不同的 case1、2、3 结果对比如图 15。在 1000-2000r/min，减少一半的消音孔长度可提高扭矩，最多可提高 2.3N.m，减小 1/4 长度最多仅可提高 0.4N.m。

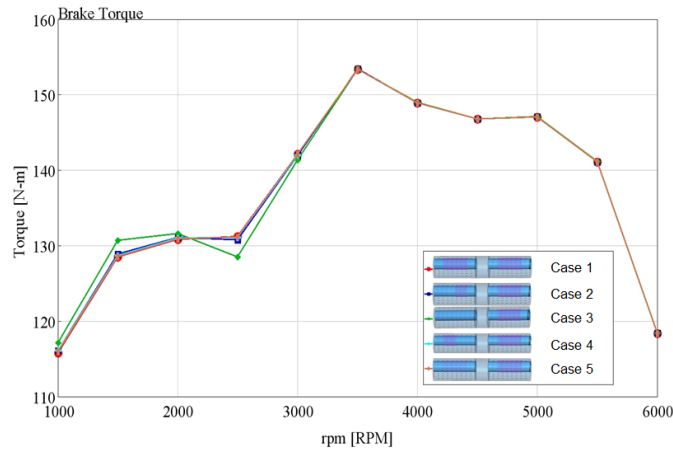


图 14 不同消音器孔布置方案对动力性的影响

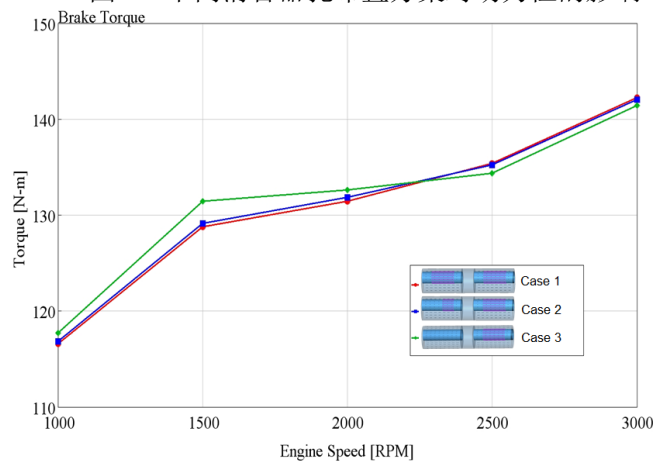


图 15 不同消音器孔布置长度方案对动力性的影响

3.3.2 催化器至消音器的管长对动力性的影响

图 16 为催化器至消音器间管路的一维模型，管路总长为 1m，计算管长由 0.5m-1m 的变化对动力性的影响。图 17 为计算结果，管长对 3000r/min 以上转速几乎没有影响。对于 3000r/min 以下，长管利于提高高速扭矩，短管相对利于提高低速扭矩，3000r/min 时采用 1m 管长比 0.5m 可提高 3.6N.m，但在 1000r/min 时采用 0.5m 短管更有利于扭矩提升，相比 1m 长管可提高 1.4N.m。

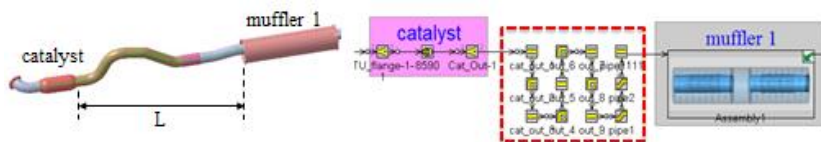


图 16 催化器至消音器间管路一维模型

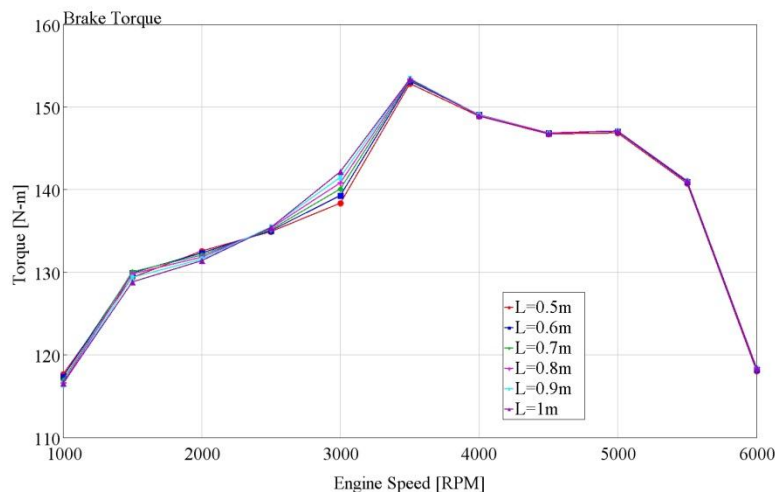


图 17 管路长度对动力性的影响

下面以 3000r/min 为例，对比了 0.5m 和 1m 管长对压力的影响，如图 18。与其他换气管路对性能的影响类似，主要是管长影响了进排气重叠期和进气后期的压力波，0.5m 管长时的进气压力在进排气重叠期低于缸内压力和排气压力，在进气门关闭阶段进气压力低于缸压的持续时间较长，以上两个因素均使进气不畅，导致扭矩降低。

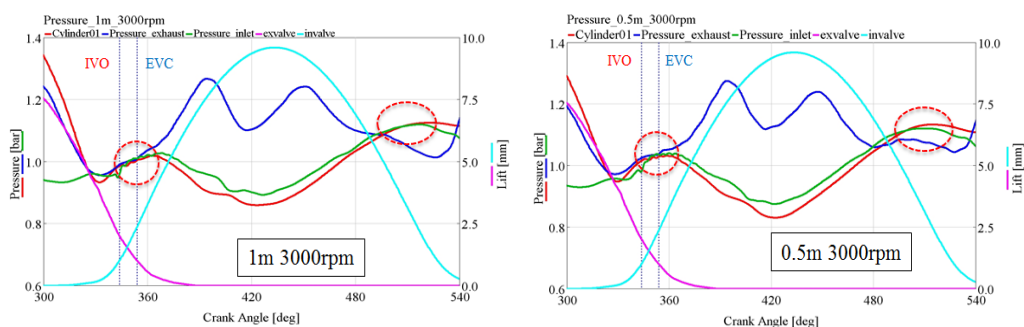


图 18 3000r/min 时不同管路长度对三压力的影响

4 结论

本文通过对比计算真实进、排气管路对自然吸气发动机动力性能的影响，得出以下结论，为自然吸气发动机的数值模型建立和性能优化设计提供一定的指导。

- (1) 真实整车进排气管路主要对自然吸气发动机的低速扭矩产生影响，最多在 2500r/min 降低了 4.3N·m，3.8%。
- (2) 进气管路中布置谐振腔最多在 1500r/min 可提高扭矩 1.6N·m，1.2%。其个数对性能几乎没有影响。
- (3) 在进气歧管处布置副容积腔对最大净功率、最大扭矩无影响，通过优化最多可在 3000r/min、4500r/min 提高扭矩 2.7%。

(4)排气管路中消音器孔参数主要是布置长度对动力性能有影响,当长度变为一半时刻在 1500r/min 提高 2.3N.m, 1.8%。

(5)三元催化器至消音器间管长主要影响中低转速扭矩,短管利于提高低速扭矩,长管利于改善中高转速,最多可在 3000r/min 提高扭矩 3.8N.m, 2.7%。