

应用 GT-POWER 设计发动机的可变长度进气歧管

詹樟松 张小燕

重庆长安汽车工程研究院

应用 GT-POWER 设计发动机的可变长度进气歧管

Variable Intake Manifold Design by GT-POWER

詹樟松 张小燕

重庆长安汽车工程研究院

摘要: 本文应用 GT-POWER 模拟发动机进气系统的充气效率, 设计发动机可变进气歧管的长度, 建立三维模型并快速成型样件, 通过试验验证计算结果, 从而确定了可变进气歧管的长度和两个歧管切换转速。

关键词: 发动机 可变长度 进气歧管 GT-POWER

Abstract the paper employ the gt-power software to simulate the intake volumetric of the engine and design the variable length of the intake manifold. Build the product model with the analysis results, made the rapid prototype and do the test to verification the analysis results.

Key words: engine variable length intake manifold GT-POWER

1、前言

设计良好的进气系统能够提高发动机的充气效率, 从而提高发动机的性能。对于特定排量和燃烧室及缸盖气道的发动机在不同的转速下要达到最高的充气效率需要不同长度的进气歧管, 本文研究项目是对一款量产的发动机进行性能升级, 重新设计发动机的进气歧管为两级可变长度进气歧管, 针对发动机不同转速下的进气需求, 优化进气歧管长度, 提高发动机的性能。

本文的研究过程为首先应用发动机热力学计算分析软件 GT-POWER 建立发动机换气和热力学分析模型, 应用基础机的试验数据对模型进行校正, 然后根据充气效率指标计算出发动机低转速和中高转速下的多种优选的进气歧管长度, 综合考虑, 折中确定两级长度的进气歧管结构; 然后经过试制样件和试验, 完成可变长度进气歧管的设计。

2、进气歧管长度对发动机性能影响原理

利用进气管中的脉动效应可以提高发动机的充气效率。影响多缸内燃机进气管脉动效应的结构参数很多, 例如进气管的长度、直径、进气口的位置及管道的结构等。目前可变长度进气歧管就是一种广泛应用的技术, 进气歧管长度一般设计成两段, 长的进气歧管在低转速时使用, 短进气歧管在高转速时使用。进气管越长, 脉动效应最佳值越移向低速区域。进气管脉动次数 q_s 按下式计算:

$$q_s = \frac{30a}{nL_s}$$

其中： n - 发动机转速，r/min；
 a - 音速，m/s；
 L_s - 进气管长度，m。

调整进气管长度，使脉动次数 q_s 为整数和进气门重叠时间同步，可提高充气效率。

在高转速时进气阻力对进气影响较大，短进气歧管阻力小，进气更充分；低转速时发动机进气频率较低，长的进气歧管能降低脉动次数，聚集更多的空气，因而长进气歧管适合与低转速时发动机的进气需求匹配，改善进气充气效率，提高扭矩输出。另外，长进气歧管还能降低空气流速，能让空气和燃料更好的混合，燃烧更充分。

3、基础机的参数

发动机型式	水冷、直列四缸、四冲程、SOHC
缸径 (mm)	75
冲程 (mm)	90
压缩比	10
最大扭矩	135Nm/3500rpm
额定功率	70kW/6000rpm

4、建立整机 GT-POWER 模型

根据发动机的几何和结构参数建立基础机的换气和热力学模型，大致分为进气系统，发动机本体和排气系统，如图 1 所示。然后用试验数据对模型进行校正，确定模型的准确性。具体的建模步骤如下：

- 1) 根据发动机的几何和结构参数建立基础机管道的换气模型；

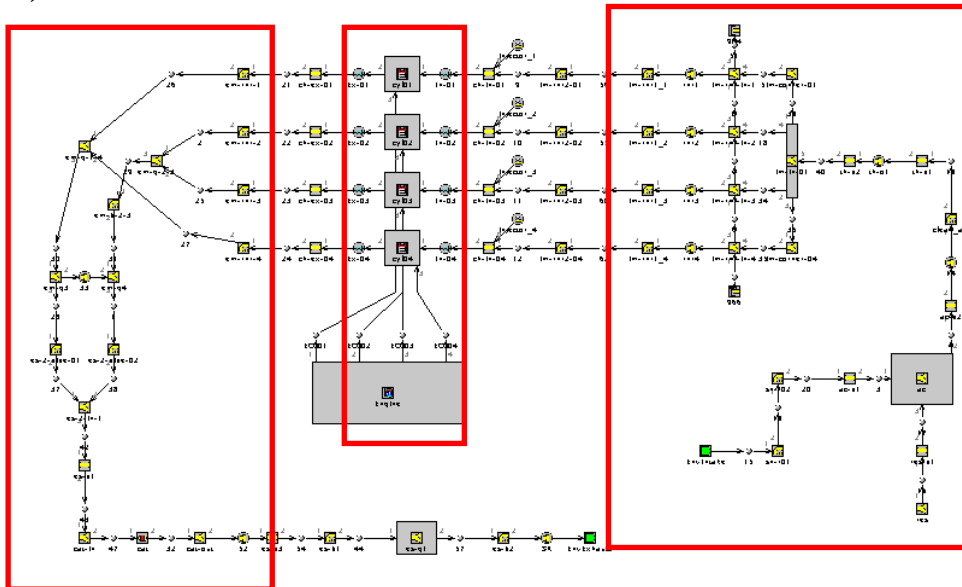


图 1 基础机 GT-POWER 模型

- 2) 根据发动机缸体的结构、燃烧室的传热、摩擦功等数据建立发动机本体模型；
- 3) 输入进、排气门的升程和气道流量数据；
- 4) 运算模型，标定发动机的空气流量和充气效率，使之与基础机的试验数据吻合。充气效率的计算值与实测值的趋势相同，并且最大误差小于 5%，如图 2 所示；

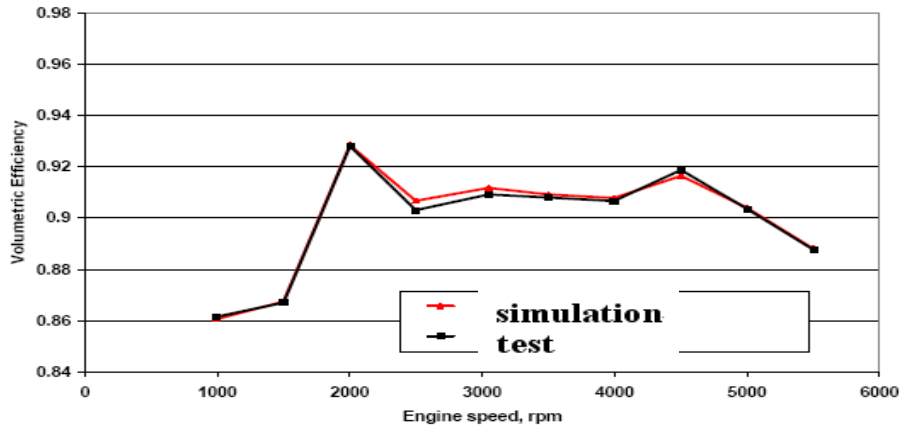


图2 发动机充气效率试验数据与计算结果对比

5) 建立喷油模型, 燃烧模型采用燃烧放热率曲线模型;

6) 运算模型, 标定发动机的排气背压、功率、扭矩、油耗、压力波动等, 使之与基础机的试验数据吻合。标定后的模型计算的基础机的功率和扭矩数据与试验值的最大误差在 5% 以内, 从而该模型可以用来进行后续的可变长度进气歧管的设计计算。标定结果见图 3。

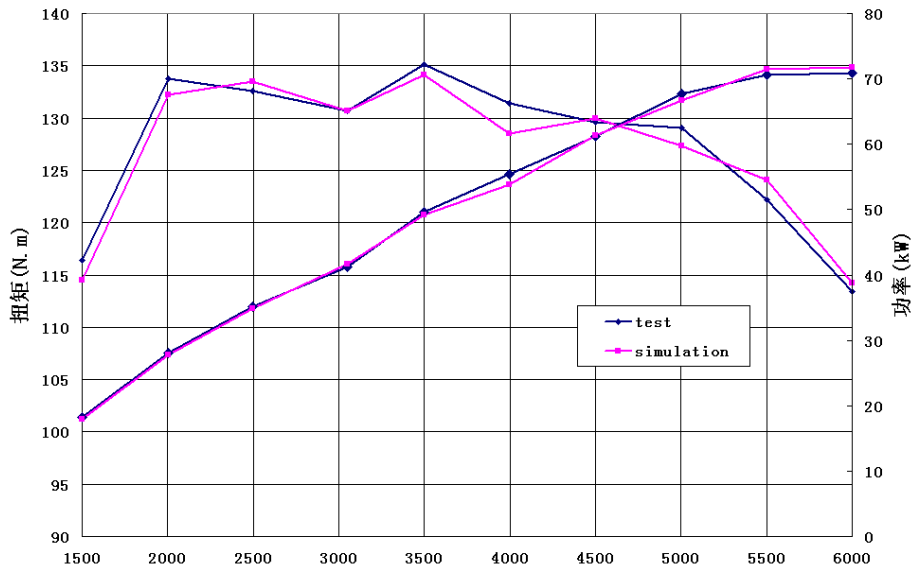


图3 发动机整机性能试验与模拟结果对比

5、进气歧管气道长度分析

在基础机模型的基础上, 改变进气歧管管道的长度, 研究管道长度变化对该发动机充气效率的影响趋势, 根据计算结果确定长短管道长度以及长短管道切换的发动机转速。受发动机总体尺寸和布置空间的限制, 合适的进气歧管的长度约 250mm-700mm。计算时将 250mm-450mm 歧管长度归为短歧管, 500mm-700mm 歧管长度归为长歧管。

1) 基础机进气歧管的结构如下图所示:

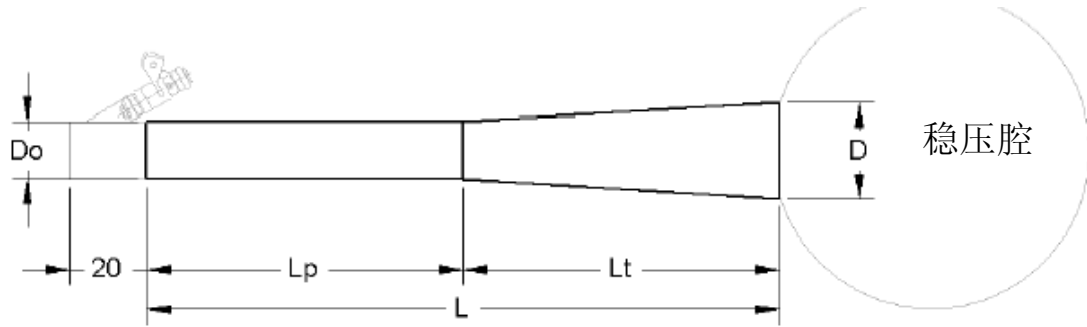


图4 基础机进气歧管管道结构示意图

其中:

- D0: 与缸盖接口直径;
- D: 扩管直径, 连接稳压腔;
- L: 进气歧管长度;
- LP: 直管长度;
- Lt: 扩管长度。

2) 短歧管长度影响趋势模拟分析

将短气道的长度范围控制在 250mm-450mm 之间, 在此范围内每隔 50mm 计算发动机的充气效率, 分析歧管长度变化对发动机性能影响趋势, 同时考虑扩管的长度变化对性能的影响。计算结果如下图 5 所示。

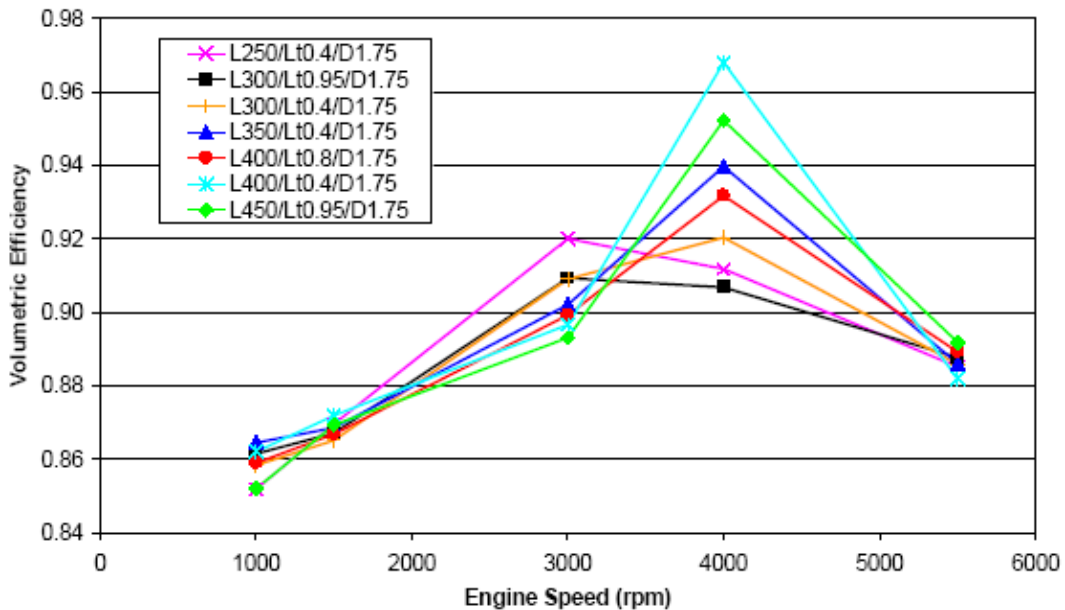


图5 短歧管管长对充气效率影响趋势

注: Lt0.4 为 Lt 段占总长度的 0.4; D1.75 为 D/D0 的比值。

计算结果表明, 短歧管对 3500rpm 以上的高速发动机性能提升较大, 3500rpm 以下的中低速发动机性能影响较小。扩管长度 Lt=0.4 的状态比 0.8 的状态好, 即扩管长度不应该太长。

3) 长歧管长度影响趋势模拟分析

将长歧管的长度控制在 500mm 到 700mm 之间，每隔 50mm 计算发动机的充气效率，分析歧管长度增长对发动机性能的影响。计算结果如下图 6 所示：

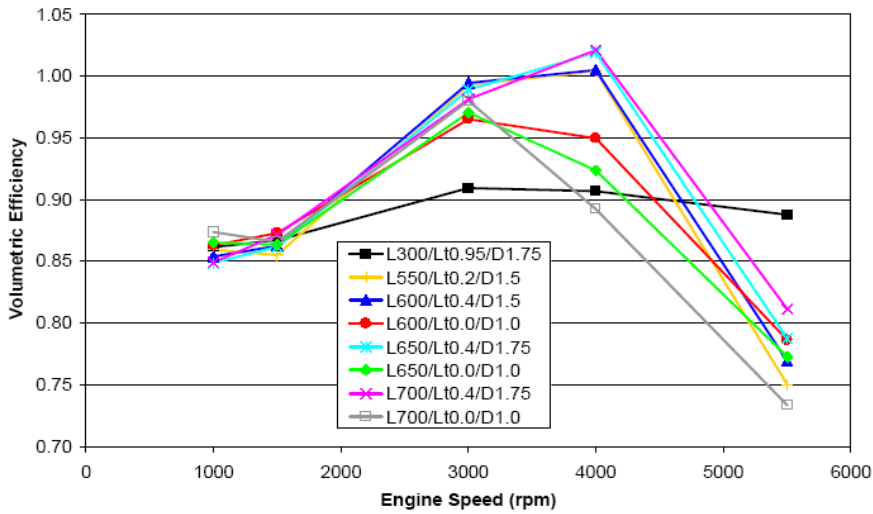


图 6 长歧管管长对充气效率影响趋势

结果表明，长歧管能够提高发动机中速段的性能，在 2000rpm 到 4000rpm 之间提高较大。并且有扩管的状态比没有扩管的状态要好。

4) 进气歧管结构推荐

综合长短歧管的计算结果，长歧管明显的增加了中速段的进气流量，短歧管增加低速和高速的进气流量。对长短歧管的结果进行比较，选择两种长短歧管组合：

第一种组合：

短歧管 $L=350\text{mm}$ $L_t/L=0.4$ $D/D_0=1.75$ 发动机转速：大于 4000rpm
 长歧管 $L=600\text{mm}$ $L_t/L=0.4$ $D/D_0=1.5$ 发动机转速：小于 4000rpm

第二种组合：

短歧管 $L=350\text{mm}$ $L_t/L=0.4$ $D/D_0=1.75$ 发动机转速：大于 4000rpm
 长歧管 $L=600\text{mm}$ $L_t/L=0.4$ $D/D_0=1.0$ 发动机转速：小于 4000rpm

两种组合的计算结果如下：

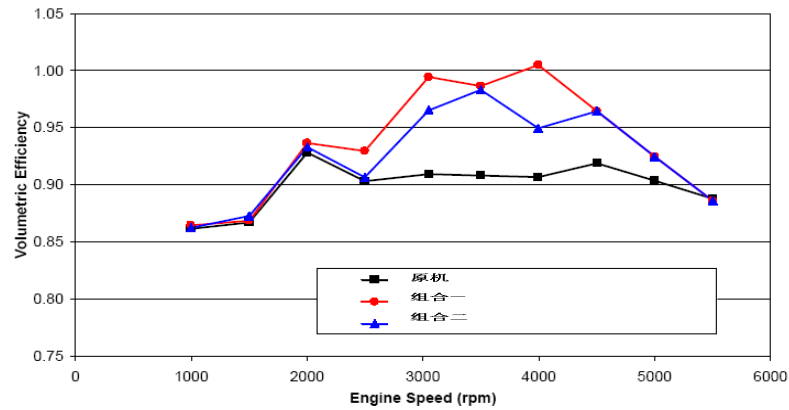


图7 两种组合方式充气效率计算结果

计算结果表明, 组合一在 3000rpm 时充气效率提高了 8.79%, 4000rpm 时充气效率提高了 10.44%; 组合二在 3000rpm 时充气效率提高了 6.59%, 3500rpm 时充气效率提高了 7.69%, 4000rpm 时充气效率提高了 4.39%。

组合一比组合二更能够在中速提供较大的输出扭矩, 同时能够保持低速和高速扭矩。所以建议采用第一种组合。具体的两级可变气道的结构如下表所示:

短气道		
长度	L	350 mm
扩管长度	Lt	140 mm
直管直径	D0	36.3 mm
扩管直径	D	63.5mm
长气道		
长度	L	600 mm
扩管长度	Lt	240 mm
直管直径	D0	36.3 mm
扩管直径	D	54.5mm
发动机转速范围		
转速<4000rpm		长气道
转速>4000rpm		短气道

6、试验验证

经过 PROE 建立 3D 模型，快速成型样件，装配到发动机上测试发动机的性能。验证进气歧管的设计，可变气道试验结果与原机的对比结果如下：

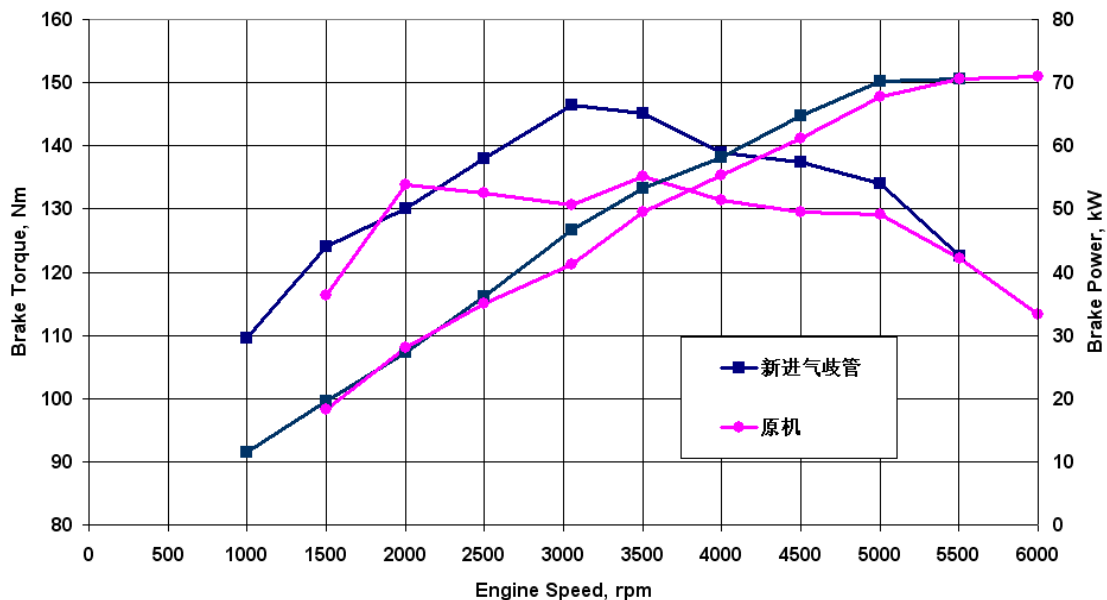


图 8 可变进气歧管试验测试结果

试验结果和预测结果的吻合度非常好，该可变气道进气歧管能够很好的提高发动机的性能，保持了原机的最大功率，最大扭矩提高了 15N.m，很大地提高了中速段的扭矩。

7、结论

与基础机相比，两级可变长度进气歧管比单级进气歧管的充气效率最大提高 10.44%，最大扭矩提高了 15N.m。进气歧管长度对发动机充气效率影响明显，歧管越长，外特性峰值越向低速区域移动。

GT-POWER 模拟计算与试验验证相结合的设计方法对提高发动机进气歧管设计效率及设计水平具有很好的效果。GT-POWER 软件在发动机的进气设计阶段能够很好的指导设计方向，确定主要的参数，缩短了设计开发周期

参考文献

- 1、汽车工程手册
- 2、蒋德明 主编 内燃机原理
- 3、倪计民等 电喷汽油机可变进气系统的优化设计
- 4、许元默等 进气歧管对电喷汽油机充气效率的影响