

1. 2L 汽油机性能优化

1. 2L Gasoline Engine Performance Optimization

刘系嵩

北京汽车动力总成有限公司

摘 要: 北京汽车某 1.2L 自然吸气纵置汽油机存在功率低于设计目标值的问题, 本文从计算角度出发, 寻求找到提高功率的方法。首先使用 GT-SUITE 建立并标定该发动机模型。之后, 分别从增加压缩比、扩缸、改变进气歧管长度等角度进行了计算, 一些方法可以在一定程度上提高功率, 部分计算也得到了实验验证。最后, 针对后续横置机型, 使用 DOE 方法, 对进、排气管路进行了重新设计和优化, 相比现有纵置机型有了明显的动力性提高。

关键词: 小汽油机; 性能; GT-SUITE; DOE

Abstract: One problem of BAIC 1.2 NA longitudinal gasoline engine is brake power lower than the design target. In order to increase brake power, first build and calibrate this engine model with GT-SUITE. Then did some simulation including increase compression ratio, expand bore and change intake runner length. Some method can increase brake power to some extent, and parts have been verified by experient. At last, and re-designed and optimized intake and exhaust runner geometry for transverse engine using DOE method. Results showed that after re-design and optimization, transverse engine torque and power increased obviously compared to longitudinal engine.

Key words: small gasoline engine; performance; GT-SUITE; DOE

1 引言

北京汽车某款 1.2L 自然吸气纵置汽油机搭载于微型客车上, 其在研发试验过程中, 存在功率低于设计目标的问题, 虽然满足现搭载车型对动力性的要求, 但对于整备质量更大的后续车型, 动力性略显不足, 因而尝试从计算角度出发, 找到提高功率的方法。

2 模型建立与验证

首先,应用 GT-SUITE 软件建立并标定模型,如图 1 所示。模型中,排气背压控制为 35kPa;进、排气道流量系数为气道台架实测值;缸内壁温、进排气道壁温根据 6000rpm 测试值在整个转速范围内调整;摩擦功参照台架实验值,并考虑泵气损失、爆发压力、传热损失等的影响^[1],进行修正后输入模型,如图 2 所示。

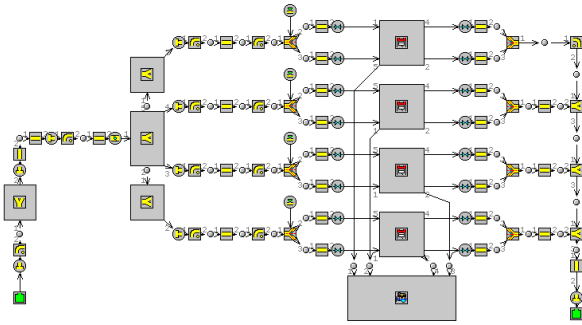


图 1 计算模型

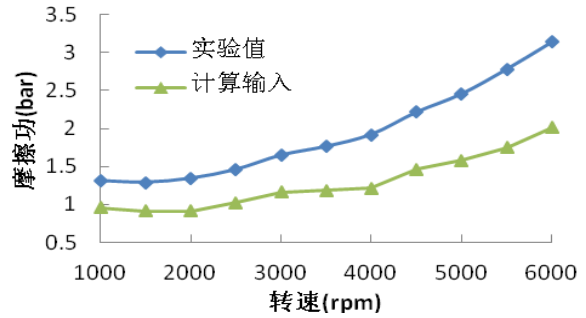
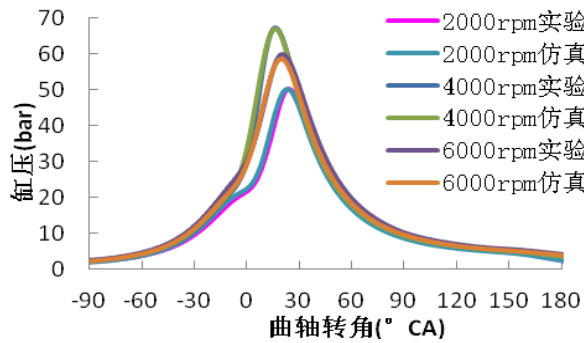
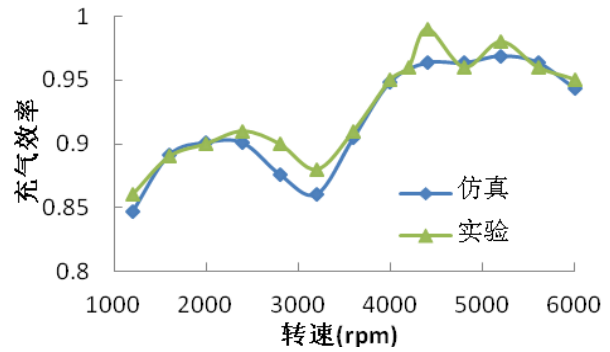


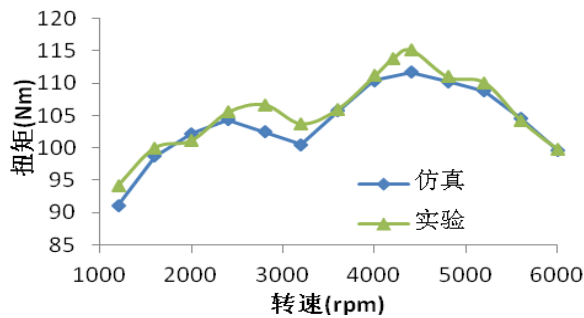
图 2 摩擦功



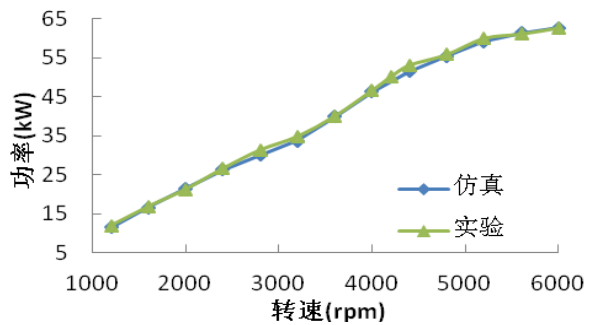
(a) 缸压曲线



(b) 充气效率



(c) 扭矩



(d) 功率

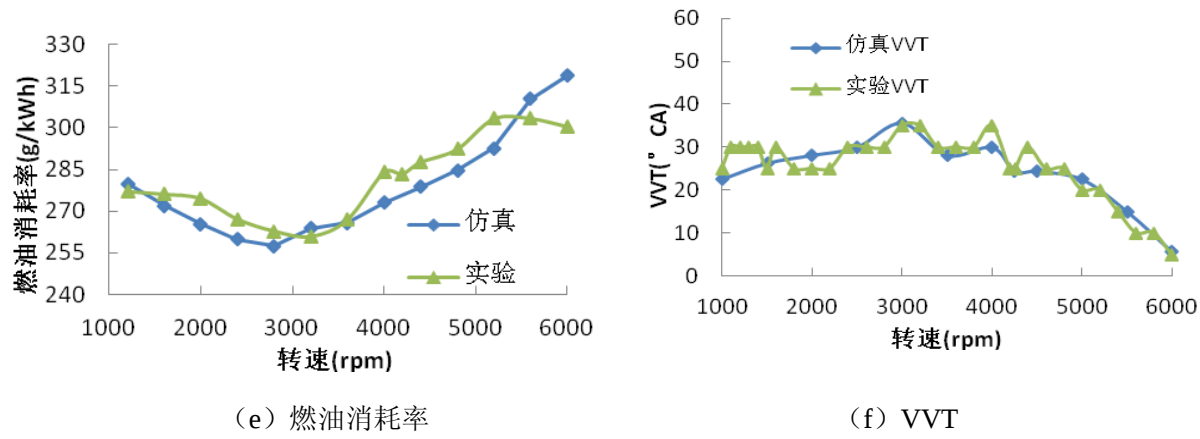


图 3 仿真实验对比

3 纵置机型性能探索

3.1 增加压缩比

首先考虑增加压缩比。理论上，增加压缩比可以提高发动机效率，获得更高的动力性与经济性。但是，在不改变发动机其他设计的情况下，单纯增加压缩比，爆震的倾向也会同时增加，需要推迟点火提前角来抑制爆震的发生，这可能会限制功率的增加。因而在计算中考虑了爆震因素的影响，延后模型中“50%燃烧角”以模拟点火提前角的推迟，如表 1 所示。计算中其他参数未作改变。

表 1 50%燃烧角增加角度

压缩比	10	10.5	11	12
50%燃烧角增加角度(° CA)	0	1	2.5	5

计算结果如图 4 所示，压缩比从 10 升到 12，发动机的扭矩和功率均有所提高，2000rpm 扭矩基本不变，4000rpm 扭矩有 3Nm 提高，6000rpm 功率有 1.2kW 升高，达到了 63.5kW 的设计目标。同时，压缩比的升高在发动机部分负荷时会带来更大的燃油经济性优势。

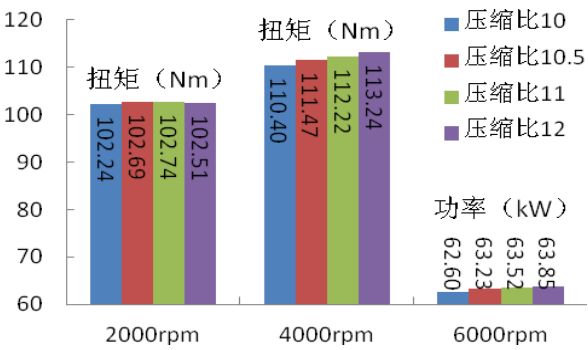


图 4 纵置机型不同压缩比下的扭矩和功率

3.2 扩缸

尝试适当扩大缸径,以增大排量的方式来弥补功率的不足。缸径由 68.8mm 增大到 70mm,相应的排量由 1.2L 增大到 1.24L。但是计算结果与设想有所差别,功率提高并不明显,只有约 0.8kW,仍然没有达到设计目标,如图 5(a)所示。扩大缸径更明显的效果体现在了低速扭矩上,2000rpm 和 4000rpm 都有约 4Nm 的升高,这点对于实际驾驶中常用的中低速工况更为有利。扩缸的效果也同时得到了实验验证,如图 5(b)所示。

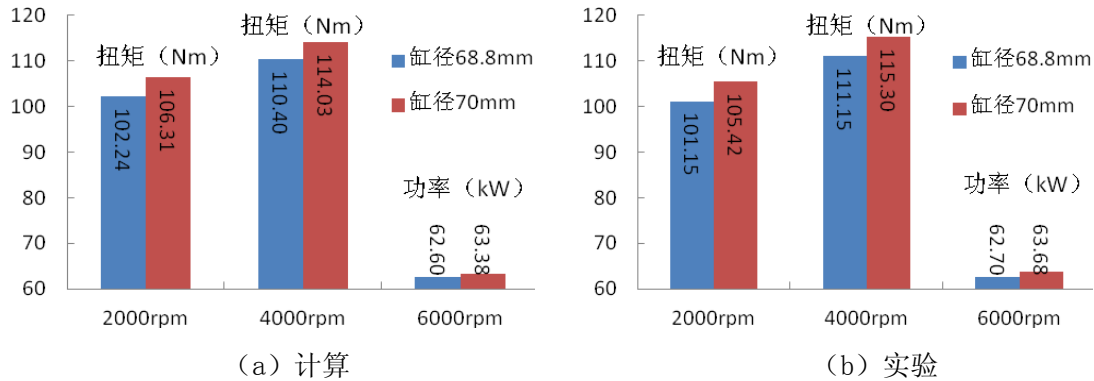


图 5 纵置机型不同缸径的扭矩和功率

3.3 变进气歧管长度

对于自然吸气发动机,进气歧管的谐振现象和惯性作用对充气效率起着至关重要的作用,进而影响扭矩和功率^[2]。经调研发现,市场中某竞争机型的进气歧管长度约为 600mm,约为目前纵置机型 330mm 的 2 倍,因而决定进行不同进气歧管长度下的发动机性能计算。选取 200mm~600mm 中 5 个不同进气歧管长度进行计算,结果如图 6 所示。随着进气歧管长度的增加,低转速下谐振效果增加,带来了明显的扭矩增加,600mm 长度时扭矩可以达到 120.5Nm,增加了 9Nm,且最大扭矩点由 4400rpm 前移至 4000rpm。并且,2500rpm~4000rpm 的低速扭矩整体提高。但是,在进气歧管加长,改善低速性能的同时,却削弱了高速时进气的惯性效果,使功率降低,600mm 时降低了 2.5kW。同样,缩短进气歧管长度也没有带来功率提高,目前 330mm 的方案可以获得最大功率。

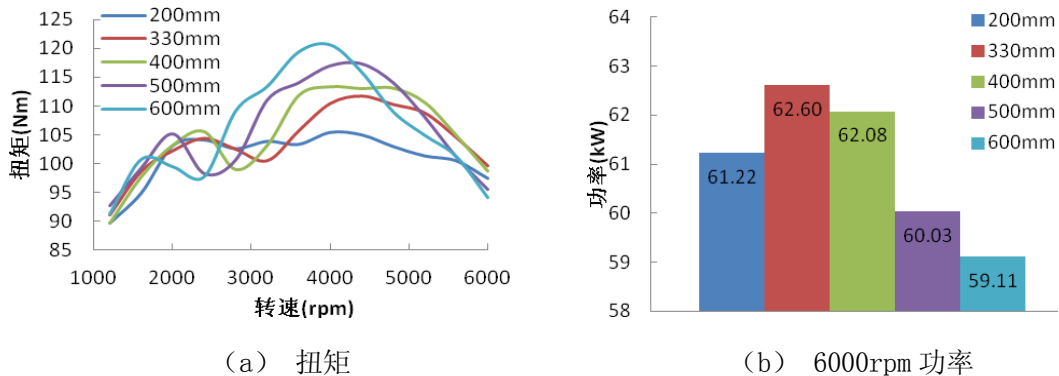


图 6 纵置机型不同进气歧管长度结果对比

通过以上计算可以看出，增加压缩比和扩缸可以获得一定的功率提升，但同时还需对其可能带来的机械强度、热负荷等的负面影响进行全面校核与权衡。而目前的进气歧管长度对于功率则为最优方案。

4 横置机型性能计算

该款 1.2L 汽油机的横置机型潜在搭载于北京汽车自主品牌 A0 级乘用车的低配置车型上，而目前纵置机型的动力性对于潜在搭载的 A0 级乘用车偏低，同时由于空间布局的变化，对进排气歧管进行了重新设计优化，以求提高动力性。

4.1 进气歧管优化

首先，选取 3 个对发动机进气性能有较大影响的进气歧管参数进行优化，分别为稳压腔容积、进气歧管长度和进气歧管进口直径。考虑了空间布置等因素后，3 个优化参数的范围如表 2 所示，在 2000rpm、4000rpm 和 6000rpm 三个转速下，采用 GT-SUITE 软件中的 DOE 方法进行计算，计算点共计 240 个，优化目标为扭矩和功率。模型中，进气歧管出口直径与缸盖进气道进口直径相同，且考虑进气歧管弯曲带来的损失，设置成两段 180° 的管路，排气歧管参照对标机型，进气 VVT 使用纵置机型优化后的相位，排气背压仍然保持 35kPa。

表 2 横置机型进气歧管优化参数

优化参数	范围
稳压腔容积/L	0.9-2.7, 4 个点
歧管长度/mm	200-600, 5 个点
歧管进口直径/mm	31-46, 4 个点

DOE 计算结果如图 7 所示，稳压腔容积方面，2000rpm 下，较小稳压腔容积时可以获得较大的扭矩，4000rpm 和 6000rpm 下，扭矩对稳压腔容积的变化不很敏感。进气歧管长度方面，4000rpm 下扭矩随进气歧管长度增加而增加，进气谐振效果起到了主要作用；6000rpm 下，功率随进气歧管长度的增加而先增加后减小，380mm 左右时可以获得最大功率；2000rpm 下，扭矩对进气歧管长度并不敏感。进气歧管进口直径方面，2000rpm 和 4000rpm 下，扭矩随进口直径的减小而增大，6000rpm 下，功率随进口直径的增大而增大，即进气歧管呈锥形可以起到更好的惯性引流作用，进而获得更大的功率。

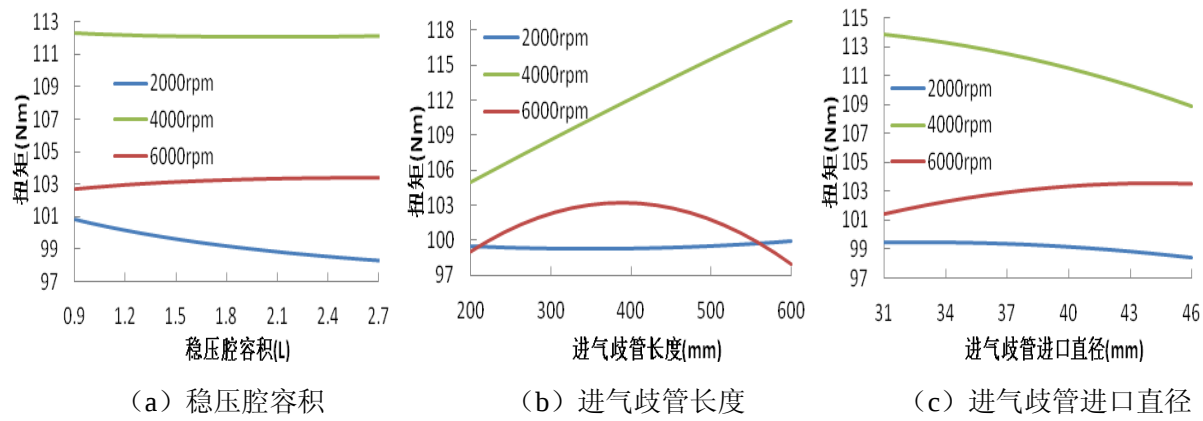


图 7 横置机型进气歧管 DOE 结果

由于纵置机型扭矩达到并超过了目标值，而功率略有欠缺，因而横置机型的首要优化目标为功率，同时中低速扭矩尽可能提高。最终初步确定了表 3 所示的进气歧管方案，并进行了 VVT 优化，优化结果如图 8 所示，中高转速动力性提高较为明显，低转速基本保持不变。最大扭矩达到 115.3Nm，且最大扭矩转速前移至 3600rpm，功率可以达到 64.45kW，达到并超过设计目标。

表 3 横置机型进气歧管优化方案

稳压腔容积/L	1
歧管长度/mm	450
歧管进口直径/mm	37

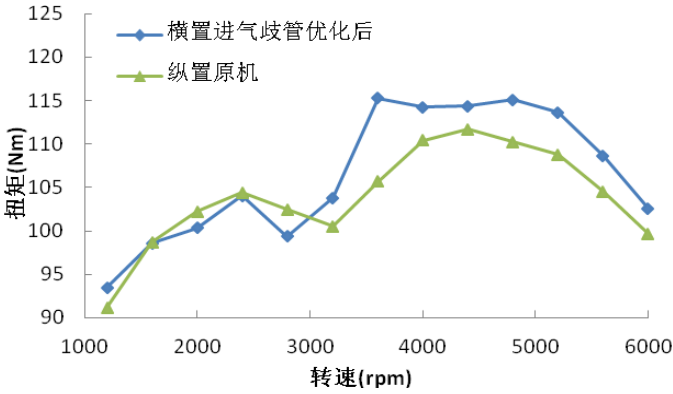


图 8 横置机型进气歧管优化后扭矩

4.2 排气歧管优化

之后，固定 4.1 优化后初定的进气歧管尺寸，进行排气歧管优化。排气歧管考虑“4 进 1”和“4 进 2 进 1”两种形式，如图 9 所示，均采用不锈钢材质，以降低排气阻力，主要优化歧管长度和直径

两个参数，考虑了空间布置和管路加工等因素后，参数优化范围如表 4 所示。同样在 2000rpm、4000rpm 和 6000rpm 三个转速下，采用 DOE 方法计算，共 27 个计算点。模型中，歧管进出口直径相同，并考虑实际管路的弯曲损失，将管路角度设为 90° ，“4 进 2 进 1”合并后管长固定为 100mm。

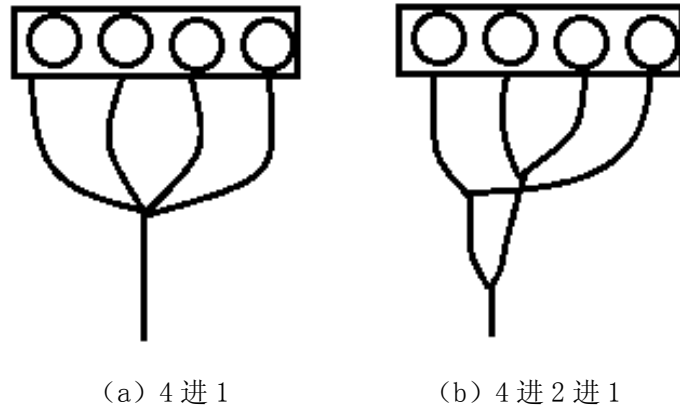


图 9 横置机型排气歧管形式

表 4 横置机型排气歧管优化参数

优化参数	范围
歧管长度/mm	150-350, 3 个点
歧管直径/mm	26.5-29.5, 3 个点

两种排气歧管形式中，扭矩随管径和长度的变化规律相似，以“4 进 1”形式为例，如图 10 所示。三个转速下，管径对扭矩的影响不大；2000rpm 和 4000rpm 下，扭矩随排气歧管长度的增加而增加，6000rpm 下，功率则对歧管长度不很敏感。

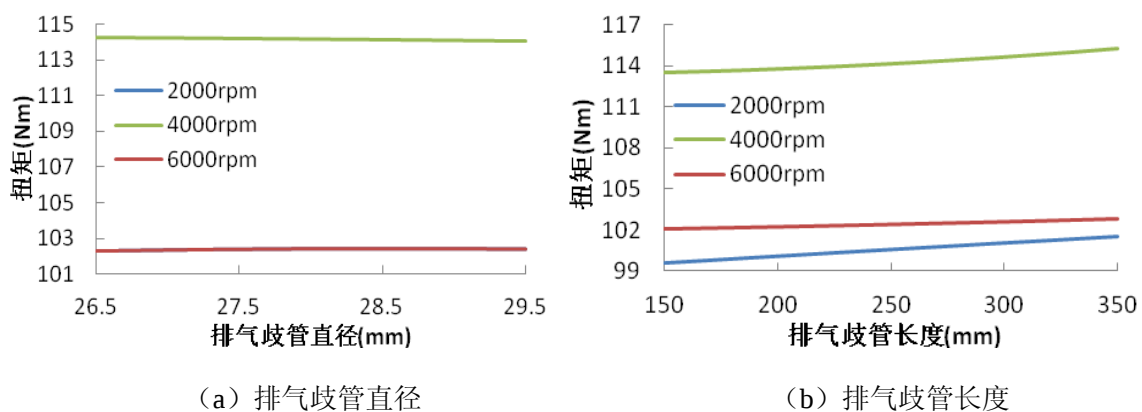


图 10 横置机型“4 进 1”排气歧管 DOE 结果

在考虑了空间布置因素后,进行了表 5 所示的 3 种排气歧管方案的 VVT 优化计算。计算结果如图 11 所示。在中低转速,“4 进 2 进 1”方案优于“4 进 1”方案,且排气歧管长度越长,动力性越好,如图 11 (a) 所示,原因在于,“4 进 2 进 1”形式相比“4 进 1”形式,更好的减少了相邻点火气缸间的排气干扰,且更长的歧管长度也能更好的减少排气干扰,进而减少残余废气系数,增大充气效率^[3],如图 11 (c) 所示。三种方案对发动机中高转速动力性的影响规律与中低转速时类似,但不明显,如图 11 (b) 所示。

表 5 横置机型排气歧管方案

方案	歧管长度/mm	歧管直径/mm
4 进 1	300	28
4 进 2 进 1 方案 1	250	28
4 进 2 进 1 方案 2	350	28

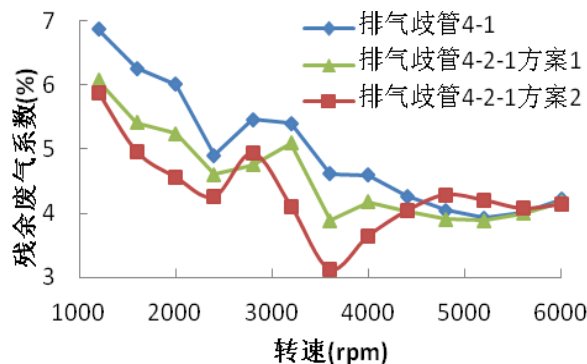
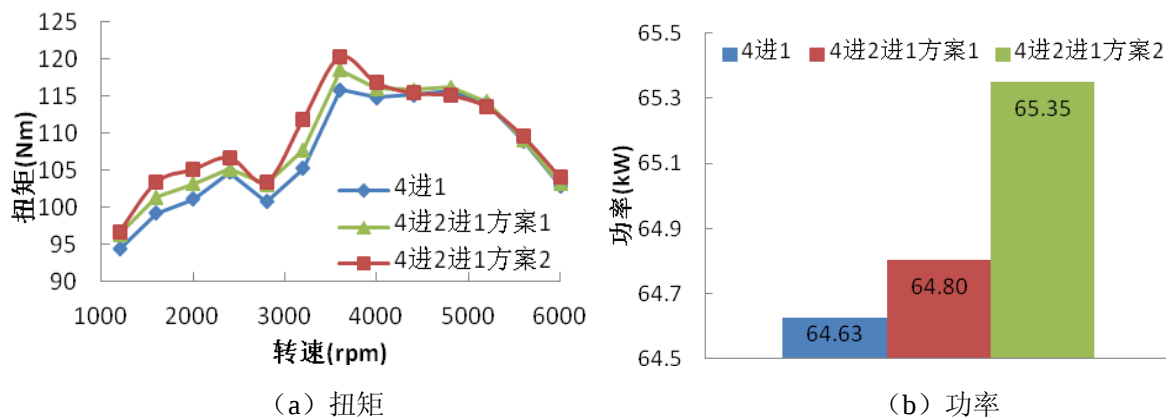


图 11 横置机型排气歧管优化结果

经过对横置机型进排气歧管的重新优化设计,动力性相比纵置机型有了明显提升,如图 12 所示,扭矩达到 120.3Nm,提高 8.6Nm,且最大扭矩转速前移至 3600rpm,功率达到 65.35kW,提高 2.75kW。若再加之扩缸与增加压缩比,动力性还有进一步提升空间,可以满足 A0 级低配置乘用车对动力性的要求,当然,这需要仔细兼顾考虑发动设计其他各个方面。

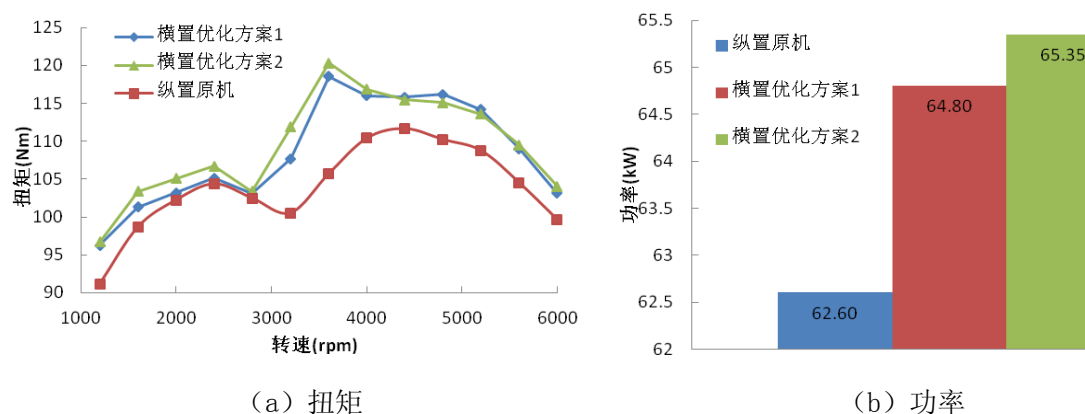


图 12 优化前后、横置纵置机型动力性对比

5 结论

1. 增加压缩比、扩大缸径等方法可以在一定程度上提高发动机动力性,但需要兼顾考虑可能带来的负面影响,如机械负荷、热负荷、爆震等,以及成本的因素。
2. 进气歧管长度对发动机动力性侧重点有较大影响,目前纵置机型歧管长度对功率为最优方案。
3. 通过对横置机型进排气歧管重新设计优化,其动力性相比纵置机型有很大提高,若同时采用增加压缩比、扩缸等措施,并同时对发动机其他设计进行校核和优化,其动力性还有提升的空间。

6 参考文献

- [1] GT-SUITE Engine Performance Application Manual
- [2] 韦林郁. 1.1L 前驱动微型汽车发动机进气歧管开发[J]. 装备制造技术, 2009, 3: 47-49.
- [3] 石来华. 基于 GT-POWER 的车用汽油机动力性能优化[D]. 湖南: 湖南大学, 2008.