

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.12.017

基于 AVL-BOOST 进气正时对发动机动力性能的影响研究^{*}

张朝山¹, 熊树生^{2*}, 宋洪建², 郑宜坤²

(1. 杭州科技职业技术学院 机电工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 浙江大学 能源工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对发动机的进气正时对发动机的进气性能产生重要影响的问题,以 486 型汽油机为研究对象,利用 AVL-BOOST 软件建立了该汽油机进气性能仿真模型并进行了验证,研究了转速、可变正时等参数对发动机性能的影响。研究结果表明:进气门不同开启时刻主要影响气体波动效应,高转速时,推迟进气门开启可以充分利用进气的惯性增压效应,提高了转矩;低转速时,谐振进气效应消失,为保证最大有效压缩比,进气门应提前开启;在该发动机上加装可变进气正时机构,优化其各转速下的进气正时,对低转速及部分高转速区的动力性能改善作用明显。

关键词:汽油机;进气正时;充量效率;惯性增压;动力性

中图分类号:TH39;TK46

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)12-1451-04

Effect of intake timing on engine dynamic performance based on AVL-BOOST

ZHANG Chao-shan¹, XIONG Shu-sheng², SONG Hong-jian², ZHENG Yi-kun²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou Polytechnic, Hangzhou 310014, China;

2. College of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the intake valve timing having a great effect on the volumetric efficiency of the engine, simulation model of 486 gasoline engine was built up by using AVL-BOSST software. The simulation model of the intake performance of the gasoline engine was established and verified. The influence of the parameters such as speed and variable timing on the engine performance was studied. The results show that the different intake valve opening time mainly influences the effect of the gas fluctuation; delaying the intake valve opening time can make full use of the intake inertia supercharging effect to increase the torque at high speed; the intake valve should be opened in advance to ensure the maximum effective compression ratio at low speed, when the resonant intake effect disappeared. The variable intake timing mechanism is installed on the engine to optimize the intake timing at each speed, which has a great effect on the improvement of the dynamic performance of the low speed and part of the high speed zone.

Key words: gasoline engine; intake valve timing; volumetric efficiency; inertia supercharging; power performance

0 引言

可变配气正时控制是汽车工业发展至今一个重要的成果。目前,可变配气系统已经广泛运用在汽车发

动机上^[1]。传统的配气机构只能提供单一的配气正时,只能考虑在某些特定(如高转速和大负荷)的工况下使发动机实现最优的性能。而发动机各转速下的最佳进气正时是随发动机转速、负荷变化而有所不同的,单一的配气正时必然会牺牲发动机某些转速的性

收稿日期:2017-06-08

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(Y1090503)

作者简介:张朝山(1970-),男,河北滦南人,教授,主要从事发动机性能优化方面的教学及研究工作。E-mail:1422389043@qq.com

通信联系人:熊树生,男,博士,副教授。E-mail: xiongss@zju.edu.cn

能^[2-3]。很多研究表明:就电喷汽油机而言,进气量和喷油量是电喷技术主要控制的两大要素,汽油机的最大扭矩和功率在很大程度上取决于进气量^[4]。

AVL BOOST 是 AVL 公司开发的汽车、发动机系列模拟软件的一个模块,主要针对发动机气体交换和热力性能的分析。在设计阶段,AVL BOOST 软件能预测发动机的稳态性能^[5]。该动机仿真软件可以较好地模拟发动机的工作过程^[6-7]。

笔者利用 BOOST 软件建立 486 型发动机的模型,研究进气正时对发动机动力性能的影响。

1 可变气门正时技术

发动机可变气门正时技术(VVT)近年来正逐步商品化^[8]。可变配气控制的实现,主要是通过可变气门机构实现的。根据配气控制技术的发展,可变气门机构有以下几种形式:

(1)可变气门相位(variable-phase,VP),即在气门开启持续期和升程曲线不变的前提下,同时改变气门的开启时刻和关闭时刻,这种机构最早在 1983 年由阿尔法罗密欧公司开始批量生产,配气相位为两个位置可变方式^[9],现在,吸气侧连续可变方式(1992 年宝马)逐渐成为主流;

(2)可变气门相位及持续期(variable-event-timing,VET),即在改变气门正时的同时也改变气门开启持续期;

(3)气门升程单独可变,即能在保持气门的正时和开启持续期不变的条件下,单独改变气门的最大升程;

(4)可变气门升程与正时(variable-valve-lift-and-timing,VLT),即在改变升程的同时改变正时与开启持续期^[10],在这两大类的基础上将(1)和(3)技术同时应用的汽油机,这几年在中档车上也逐渐增多起来,如丰田公司的 2ZZ-GE 发动机^[11]。

根据国外已有的机构,对进气凸轮轴实施调相法,能够显著提高发动机性能。这类机构在国外也是比较成型的机构,证明其具有可行性,而且有经验可以借鉴。此外,为使对原型汽油机的改动小、便于实现,选用第一种方式即基于凸轮轴调相原理的可变进气正时技术,即在保持原有进气门升程特性和进气持续期不变的条件下,通过改变凸轮轴相对曲轴的角度来改变进气门开启的曲轴角度。

2 仿真模型

为了解不同进气正时对汽油机动力性的影响,本研究选择型号为 486 型的汽油机作为原型机,其部分相关参数如表 1 所示。

表 1 486 型汽油机的部分参数

项目	形式、参数
型式	直列四缸、四冲程、非增压、水冷、双置顶凸轮轴、四气门、闭环多点电喷式
燃烧室型式	斜屋顶式
缸径/mm	86
行程	86
总排量	1.998
压缩比	10.5:1
标定转速/(r·min ⁻¹)	6000
标定功率(总功率)/kW	112
最大扭矩(净功率)/(N·m)	186
点火提前角(上止止前)/deg	6°±3°
点火顺序	1-3-4-2-1

本研究根据 486 原型汽油机,运用 AVL-BOOST 建立仿真模型,如图 1 所示。

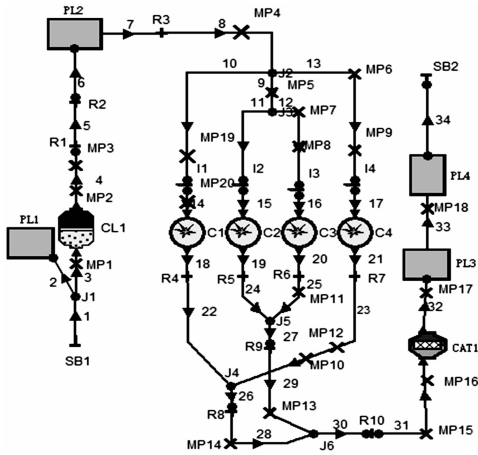


图 1 486 型汽油机 AVL-BOOST 仿真模型

然后笔者根据表 1 中的相关参数对模型中各处参数进行设定。通过改变模型的进气门开启角进行逐一仿真,得到可变进气正时(VVT)汽油机不同转速下进气正时的优化结果。该模型是将 486 型汽油机简化后所得。图 1 中,该发动机仿真模型包括有 4 个气缸 C1、C2、C3、C4;空气过滤器 CL1,4 个燃料喷射器 I1、I2、I3、I4;CAT1 为三元催化转化器 CAT1,进排气系统和设置的测量点 MP1 ~ MP20。

3 模型验证

本研究建立 486 型汽油机的模型之后,需要对模型的有效性进行验证。主要通过比较试验值和计算值来验证模型的可靠性。

对比结果如表 2 所示。

表 2 试验值与计算值比较

比较参数	试验值	计算值	误差/%
转速/(r·min ⁻¹)	4 000	4 000	0
功率/kW	77.4	78.6	1.5
扭矩/N·m	184.3	186.5	1.2

根据表 2 所示,所建立的 486 型发动机的模型通过软件和实际的试验对比可知,当转速在 4 000 r/min 的全负荷的工况下,实验值的输出功率和扭矩与计算值之间的误差相差很小。因此,所建立的仿真模型是可靠的。

4 仿真计算

本研究选择 2 000 r/min、3 000 r/min、4 000 r/min、5 000 r/min、6 000 r/min 5 个转速下节气门全开时全负荷工况点。在上述每一转速全负荷工况下,控制汽油机进气系统的总管和歧管长度及直径、谐振腔容积、凸轮型线(进气阀升程)等影响进气效果的因素不变,并保证空燃比不变,原机进气门开启角为 340 deg,保持进气持续角不变,优化进气开启角范围设定为“-30 deg—+20 deg”,步长设定“5 deg”,对每一进气开启角进行仿真计算。通过比较同一转速下不同进气门开启角的功率和扭矩,得到加装可变进气正时装置的情况下,全负荷工况点时每一转速下使动力性最优的进气门开启角(如表 2 所示)。

仿真优化结果如表 3 所示。

表 3 仿真优化结果

转速/ (r · min ⁻¹)	原机进气门 开启角/deg	优化后进气门 开启角/deg
2 000	340	315
3 000	340	320
4 000	340	330
5 000	340	345
6 000	340	355

优化前后充气效率对比如图 2 所示。

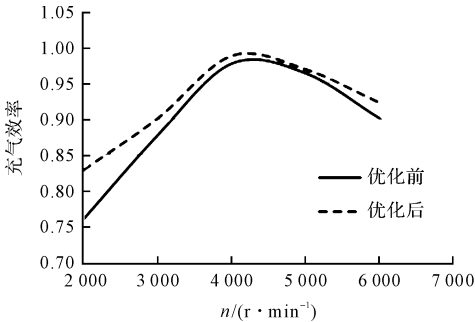


图 2 优化前后充气效率对比

由表 3 和图 2 可知:原机的配气正时只满足转速 4 000 r/min ~ 5 000 r/min 之间有最佳的充气效率,保证了发动机最大转矩点所需的最佳配气正时,而采用可变配气正时后,使得发动机的每个工况点的配气都是最佳配气,发动机在不同的转速下充气效率都得到提高(具体如图 2 所示)。

优化前后扭矩对比如图 3 所示。

优化前后功率对比如图 4 所示。

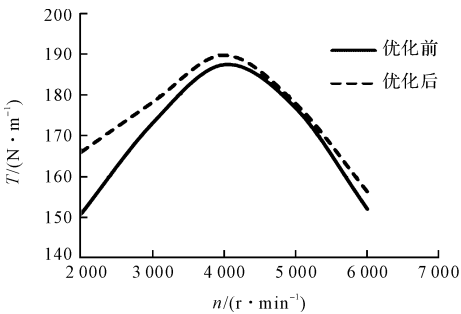


图 3 优化前后扭矩对比

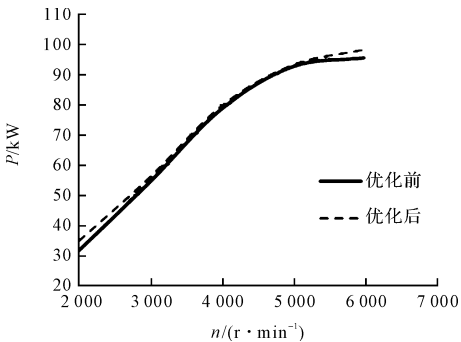


图 4 优化前后功率对比

图 3 和图 4 显示了发动机在满负荷的条件下优化前后发动机的动力性能。从图中可以很明显地发现:优化之后发动机的动力性能有了很大的提高,尤其是在低转速和高转速区域更是明显,当发动机为 2 000 r/min 时,优化后输出的最大扭矩比之前提升了 10%;当发动机的转速达到 6 000 r/min 的时候,输出的最大功率为 98.13 kW,比优化前提高了 2.81%。具体的原因是由于原机的进气正时是考虑发动机在输出最大扭矩的时候为了获取最佳的进气效率而设计的进气正时,从而在低速和高速的时候发动机的性能较差,动力性能也自然不会很好。但可变进气正时就很好地解决了这个问题,它可以使得发动机这任何工况点都可以获得良好的进气正时,从而提高充气效率,发动机的动力性能也得到改善。

从以上的计算分析可以看出:原机采用了可变进气正时技术之后,发动机在低速和高速的时候动力性能得到很大提高,而中速额时候,动力性能也略有提高。

优化前后进气门前压力对比如图 5 所示。

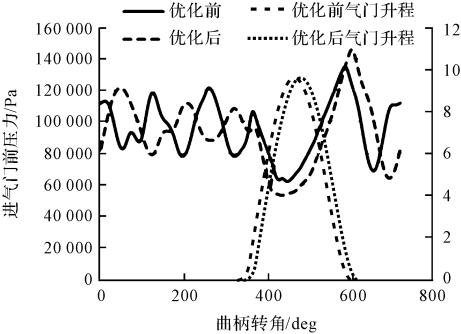


图 5 优化前后 6 000 r/min 进气门前压力

优化前后 6 000 r/min 瞬时流量对比如图 6 所示。

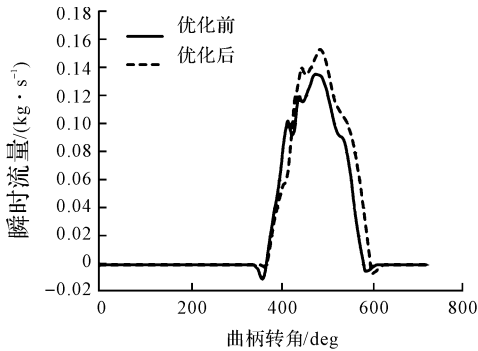


图 6 优化前后 6 000 r/min 瞬时流量

从图 5 中可以看出：优化前后进气门处的压力波形态并没有发生太大的变化，只是峰谷的位置向后移动了几个曲轴转角。同样在图 6 中，发动机瞬时流量的波形并未发生太大变化，同波峰波谷出现的时刻向后移动了几个曲轴转角，但瞬时流量的峰值优化前后略有一些增加。对于发动机而言，进气量很大程度取决于进气后期的进气量，而当笔者把配气正时优化之后，由图 6 可以看出在进气后期的时候进气瞬时流量增大，同时图 5 中进气后期时进气门处的压力处于正向最大，从而回流量也会减少。正是由于这个原因，从图 7 中可以看出优化前后实际进入缸内空气的差别，优化之后进气量增大，喷射的汽油也会增多，进而发动机的输出功率也会提高，动力性能增强。

优化前后 6 000 r/min 气缸内的混合气体质量对比如图 7 所示。

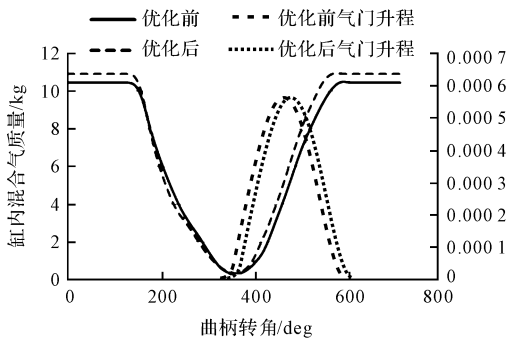


图 7 优化前后 6 000 r/min 气缸内的混合气质量

5 结束语

本研究利用 BOOST 软件建立了 486 型发动机的

模型，研究了进气正时对发动机动力性能的影响：

(1) 优化了该发动机全负荷各工况点的进气正时，计算结果表明：当发动机处于高转速时，在进气持续角一定的情况下，推迟进气门关闭可以充分利用进气的惯性增压效应，提高转矩；低转速时，谐振进气效应消失，为保证最大有效压缩比，进气门应提前开启；

(2) 以 6 000 r/min 为例，分析了采用可变进气正时技术改善发动机动力性能的内因，即利用进气动态特性，提高发动机的充气效率；

(3) 该发动机上加装可变进气正时机构，对低转速及部分高转速区的动力性能改善作用很大，有必要在该发动机上加装可变配气正时机构，优化其各转速下的进气正时，从而改善发动机的动力性能。

参考文献 (References) :

- [1] 孙玉亮. 可变配气系统对汽油机动力性及燃油经济性能影响的研究[D]. 天津: 天津大学机电工程学院, 2008.
- [2] 韩爱民, 蔺鑫峰, 孙柏刚, 等. 基于 GT-Power 的 BN6V87QE 汽油机性能优化仿真[J]. 北京工业大学学报, 2007, 33(6): 617-621.
- [3] 孙 朕. 基于 GT-Power 的二甲基醚(D)ME 发动机性能仿真研究[D]. 重庆: 重庆交通大学机电与车辆工程学院, 2010.
- [4] 俞培泳, 崔振伟. CA3GA2 发动机进气歧管的设计与开发[J]. 天津汽车, 2008(7): 38-41.
- [5] 何 洋, 刘 平. 基于 AVL-BOOST 的汽油机性能仿真研究[J]. 机械工程师, 2015(10): 96-98.
- [6] 王存磊, 殷承良, 王 磊. BOOST 发动机建模及其在混合动力仿真中的应用[J]. 上海交通大学学报, 2011, 45(6): 875-879.
- [7] 张 阳, 宁振雷, 左哲清. 数字式燃油流量控制阀技术研究[J]. 液压气动与密封, 2017(2): 7-11.
- [8] 杨宝全. 可变气门正时技术在汽油机上的应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学机电工程学院, 2007.
- [9] 邵显龙. 可变配气机构的种类、构造和未来动向[J]. 汽车研究与开发, 2001(4): 20-24.
- [10] PIERIK R J, BURKHARD J F. Design and development of a mechanical variable valve actuation system[J]. SAE Technical Paper, 2000(1): 1221.
- [11] SHIKIDA T, NAKAMURA Y, NAKAKUBO T, et al. Development of the high speed 2ZZ-GE engine[J]. SAE Paper, 2000(1): 0671.

[编辑: 张 豪]

本文引用格式:

张朝山, 熊树生, 宋洪建, 等. 基于 AVL-BOOST 进气正时对发动机动力性能的影响研究[J]. 机电工程, 2017, 34(12): 1451-1454.

ZHANG Chao-shan, XIONG Shu-sheng, SONG Hong-jian, et al. Effect of intake timing on engine dynamic performance based on AVL-BOOST[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(12): 1451-1454.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>