

应用 GT-Power 进行气门重叠角对汽油机 怠速稳定性影响研究

王莹臻 张小矛 陈明

上海汽车乘用车技术中心

摘要: 针对某小排量汽油机, 利用发动机一维性能仿真软件 GT-Power 进行模拟计算, 研究进排气门重叠角对怠速稳定性的影响。分析表明, 较小的气门重叠角可以减小发动机进气压力波动, 同时减小进气门打开初期缸内气体向进气道的倒流和排气门关闭前, 排气道向缸内的倒流, 从而减小缸内残余废气量, 提高燃烧质量, 保证怠速稳定性。该仿真结果与试验结果吻合较好。

关键词: 汽油机、怠速、气门重叠角、GT-Power

Abstract: 1D engine model of a small gasoline engine was established with performance simulation software GT-Power to investigate the influence of the valve overlap on the idle stability. The results show smaller valve overlap can decrease the intake pressure fluctuation, decrease the backflow from cylinder to intake port and the backflow from exhaust port to cylinder, that is to say, the residual exhaust gas in the cylinder at the end of an engine cycle will be decreased. So the combustion quality and the idle stability are improved. The simulation results tally with the test results.

Key Words: Gasoline engine, Idle, Valve overlap, GT-Power

1. 前言

随着城市道路交通越来越拥挤, 汽车的怠速运行时间也越来越长, 约占总运行时间的 1/3, 因此怠速工况的研究是发动机开发中的一个重要内容。在进行怠速工况优化时, 怠速排放性、燃油经济性和怠速稳定性是三个重要的指标。怠速优化的宗旨是在满足排放要求的前提下, 尽量地提高燃油经济性, 并保证发动机能够稳定运行。较低的怠速转速无疑能够获得良好的燃油经济性, 但稳定性必将面临更为严峻的考验, 尤其是对于小排量发动机, 扭矩储备有限, 当遇到外界扰动或者突然负载变化时(如空调、助力转向泵等), 都可能会导致转速波动甚至熄火, 另一方面, 发动机各循环间燃烧过程也存在不稳定性, 即循环变动, 由此也会带来转速的不稳定。所有这些情况对于驾乘人员都将是无法容忍的。因此提高发动机怠速稳定性具有非常重要的意义。而怠速工况下, 不同的气门重叠角会影响进排气情况, 可能导致排气道内一部分废气窜入进气道, 进而影响怠速稳定性^[1]。

2. GT-Power 模型建立

研究的机型为 1.3L 自然吸气汽油机, 缸径 75mm, 行程 76mm。发动机边界条件确定情况: 气道

流量系数由试验测得；气门升程曲线由仿真计算得出；进排气系统使用 GEM3D 将 3D CAD 数模转化为一维模型。怠速工况时发动机转速为 750rpm，负荷（BMEP）为 1bar。建立模型如下图所示：

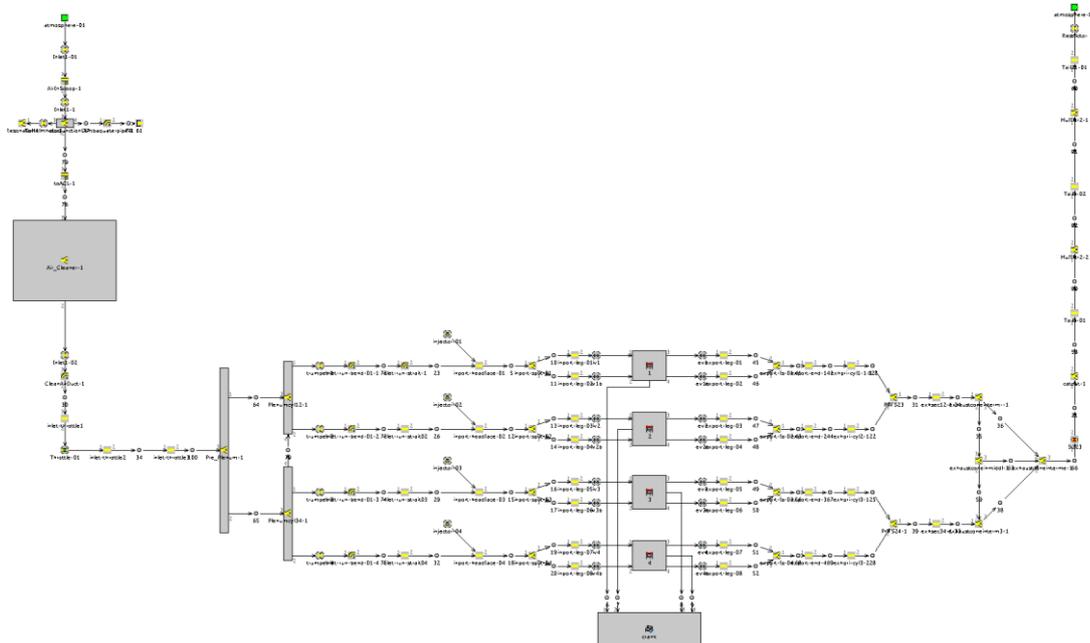


图 1 GT-POWER 模型

3. 不同气门重叠角分析

3.1 计算方案

如下表所示，方案一为该发动机的原始方案，在其基础上提前排气门关闭时刻，推迟进气门开启时刻，从而减小气门重叠角，得到方案二和方案三。表中进气门开启角和排气门关闭角的数值是以第一缸压缩上止点为 0 度。

表 1 计算方案

	进气门开启角 ($^{\circ}\text{CA}$)	排气门关闭角 ($^{\circ}\text{CA}$)	气门重叠角 (deg)
方案一	349	369	20
方案二	353	366	13
方案三	357	362	5

3.2 计算结果

计算得到进气道压力如下图所示。气门重叠角越大，压力波动越大。减小气门重叠角有利于减小进气压力波动。

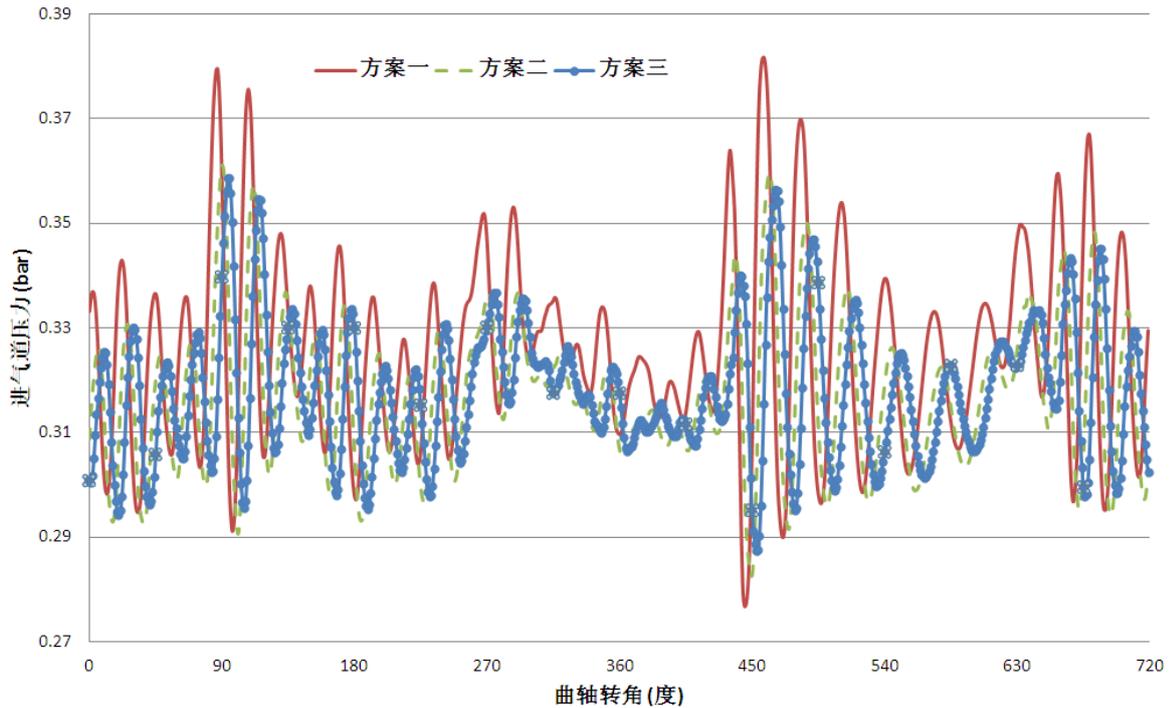


图 2 进气道压力随曲轴转角变化图

计算得到进排气流量如下图所示。可以看到，进气门打开初期，缸内气体会向进气道倒流，气门重叠角越小，倒流量越少。参照图 1 可知，这是由于此时进气道压力较小导致的。排气门关闭前，排气道内废气也会向缸内倒流，重叠角为 20 度时，倒流量较大，重叠角减小为 13 度和 5 度时倒流量较小，明显减少。

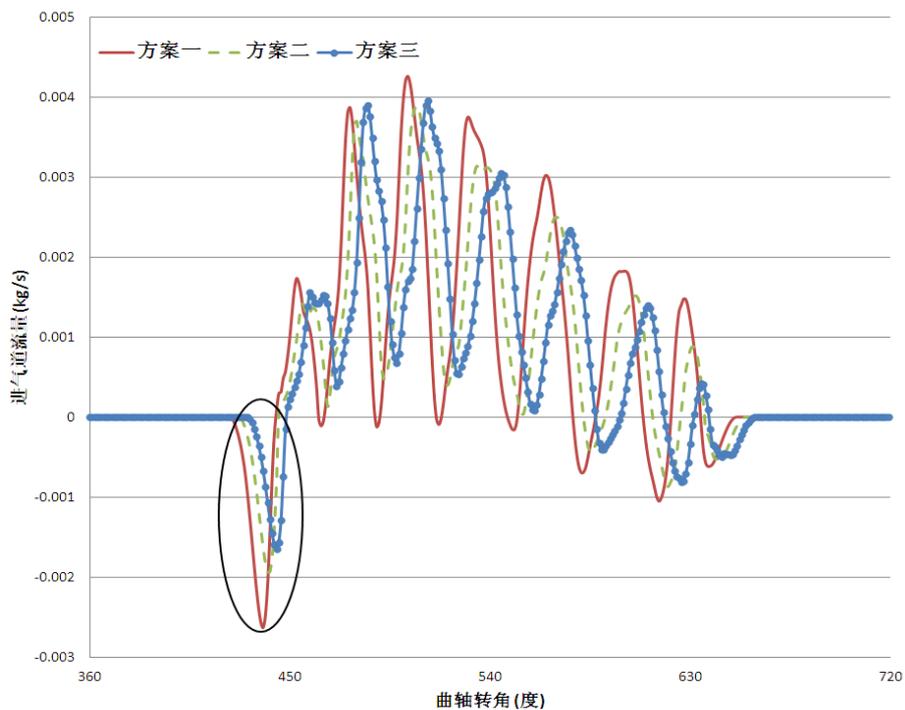


图 3 进气道流量随曲轴转角变化图

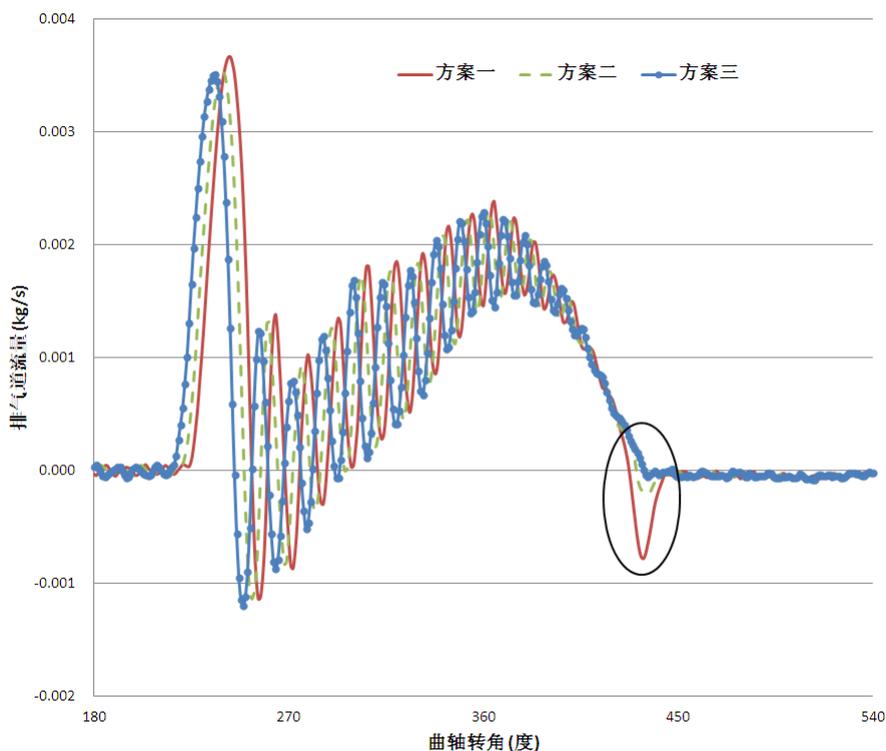


图 4 排气道流量随曲轴转角变化图

此外，不同气门重叠角下，缸内残余废气率（每循环缸内残余废气质量占总进气量与残余废气量之和的比例）如下表所示。气门重叠角越小，缸内废气残余率越小，燃烧质量得到改善，有利于减小循环变动，提高怠速稳定性。

表 2 不同气门重叠角对缸内残余废气率的影响

	缸内残余废气率
方案一	13.83%
方案二	11.66%
方案三	11.01%

3.3 气门正时改变对外特性影响

由于该发动机的进排气相位固定，为非可变气门正时，故怠速时进排气正时的改变会影响全负荷工况性能。故需要对不同进排气正时的全负荷工况进行计算。计算得到不同方案下的充气效率情况如下图所示。高速下，变化不大。中低速下，气门重叠角越小，充气效率越低，在不同转速下，方案三与方案一相比，充气效率有 1%到 3%的降低。也就是说，气门重叠角对高速功率影响不大。气门重叠角减小时，中低速扭矩有所降低，方案二与方案一相比，各转速下扭矩减小不到 $1\text{N}\cdot\text{m}$ 。方案三与方案一相比，扭矩减小的最大幅度为 $3\text{N}\cdot\text{m}$ 。

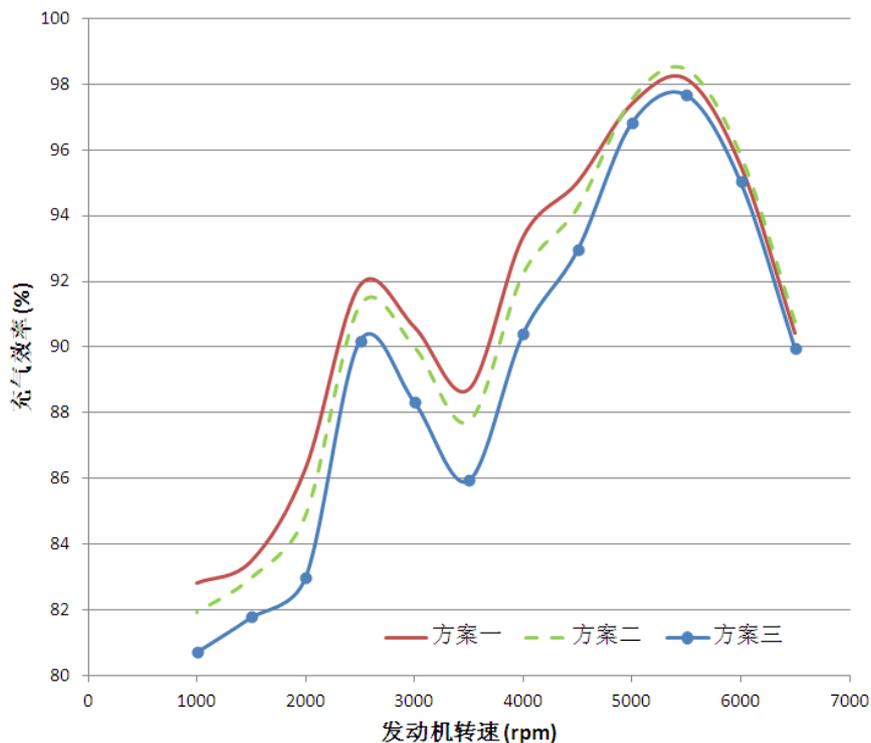


图 5 全负荷工况下充气效率图

因此，综合考虑发动机的怠速稳定性和全负荷工况的动力性，可将该发动机的气门重叠角从 20 度减小到 13 度。

4. 试验结果

针对上述三个不同气门重叠角的方案进行发动机台驾怠速试验，得到怠速转速波动情况如下图所示。

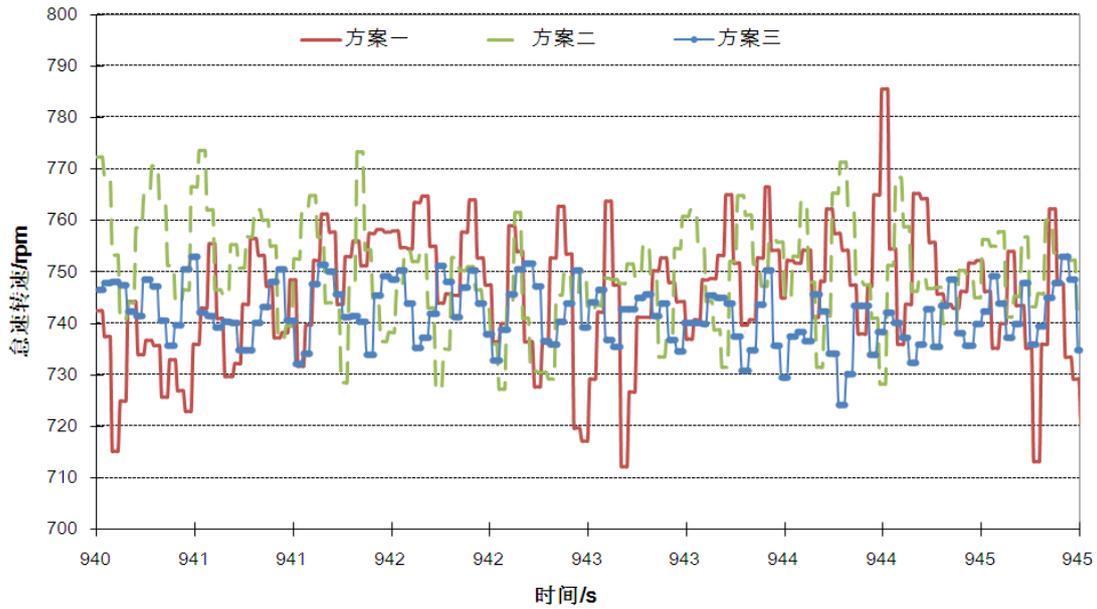


图 6 气门重叠角对总速转速影响

利用如下公式定义总速转速变动系数：（其中 rpm_i 为各时刻下转速， \overline{rpm} 为转速平均值）

$$CoV_{rpm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n 2rpm_i | rpm}{n}} / rpm$$

计算得到，方案一、方案二和方案三的转速变动系数分别为 1.67%，1.39%和 0.78%。重叠角越小总速转速变动系数越小，即总速稳定性越好。与仿真计算结论一致。

5. 结论

一维性能仿真结果表明，气门重叠角对发动机总速稳定性有一定影响。采用较小的气门重叠角可以减小发动机进气压力波动，同时减小进气门打开初期缸内气体向进气道的倒流和排气门关闭前，排气道向缸内的倒流，从而减小缸内残余废气量，提高燃烧质量，保证总速稳定性。该仿真结果与试验所得结论一致。

6. 参考文献

- [1] 张彤, 朱磊, 袁银南, 王存磊, 陈笃红. 汽油机总速工况理论及试验研究. 小型内燃机与摩托车. 2008. 02