

应用 GT-POWER 设计发动机气门升程

张小燕 蒲运平

(长安汽车工程研究院 重庆 401120)

摘要：本文利用 GT-POWER 计算，介绍了车用发动机的气门升程设计问题。设计中，主要从发动机性能方面考虑气门升程的设计要求，利用 DOE 的方法，考察了气门开启持续角及气门升程对发动机充量系数的影响。

关键词：GT-POWER 气门升程 气门开启持续角 充量系数

Design of Valve Lift of Automotive Engine by GT-POWER

Abstract : A GT-POWER model is used to show the details of valve lift designed of automotive engine in this paper. The effect of valve opening and valve lift on engine's volumetric efficiency is studied by DOE (design of experiment) , considering primarily the required profile for valve lift on performance of engine.

Key words : GT-POWER Valve Lift Valve Opening Duration Volumetric Efficiency

1、介绍

对于传统凸轮驱动的配气机构，由于受到结构的限制，气门不可能瞬间开启到最大升程的位置，其升程特性只能是连续变化的，这在换气过程中造成很大的流动损失，有损于发动机的动力性。气门升程对气道流量系数有非常重要的影响，气道流量系数随气门升程的增大而增大，如图 1 所示，并且可以看出，气门升程开启达一定高度后，流量系数几乎不再增加。因此合理设计气门的运动规律，也就是气门升程 (Valve Lift 或者 Valve Profile)，对提高充量系数 η_v ，改善发动机换气质量是相当重要的。

气门升程是凸轮型线经过配气机构的几何运算，反映到气门上的运动规律，它和凸轮型线是一一对应的。其设计关键是优化气门的最大升程、气门开启持续角 (Valve Opening Duration 简称 OD)、气门正时，以及尽可能地提高气门升程的丰满系数，使发动机在给定的气道下获得最佳的充量系数。利用 GT-POWER 可以很好地完成这项工作。本文运用 GT-POWER 对气门升程的气门正时、气门开启持续角、最大升程进行优化，研究了它们对充量系数的影响。

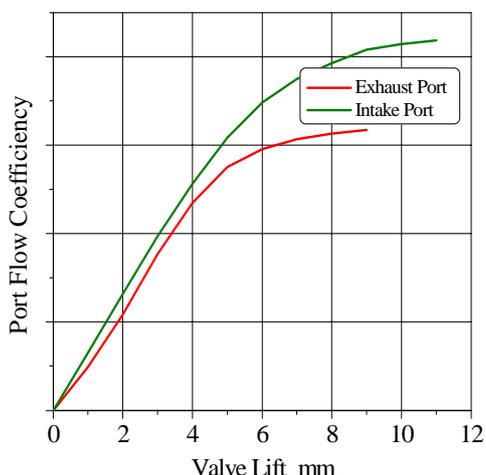


图 1. 气道流量系数同气门升程的关系

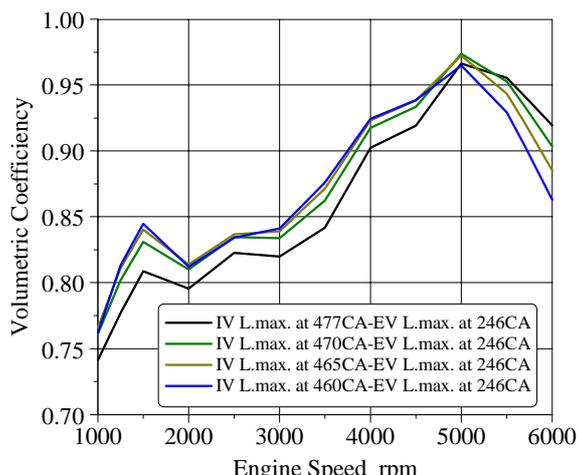


图 2. 进气正时优化结果

2、运用 GT-POWER 设计发动机气门升程

首先用 GT-POWER 建立一个可用的发动机性能分析模型。模型中发动机基本参数见表一：

表一. 发动机基本参数

发动机形式	缸径 mm	行程 mm	最高转速 rpm
直列四缸四冲程水冷、DOHC	76	71.6	6000

2.1 气门正时优化

在进行气门开启持续角及最大升程优化前，优化模型的气门正时，消除正时偏差对充量系数的影响因素。充量系数的结果如图 2、图 3 所示。

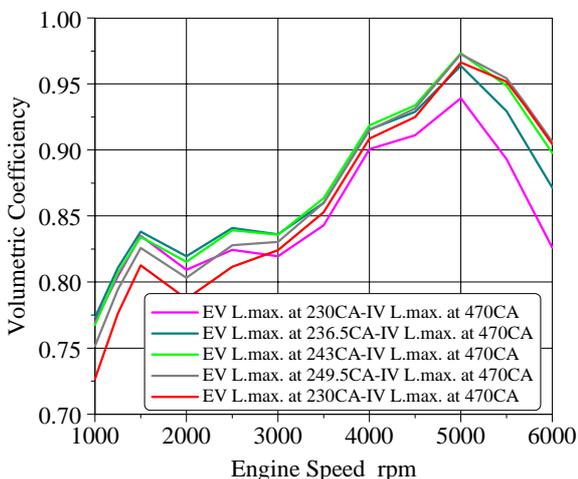


图 3. 排气正时优化结果

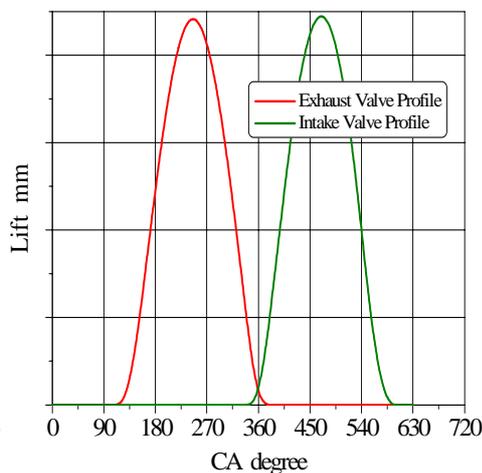


图 4. 正时优化后气门升程

最终得到如图 4 所示的气门升程，用于进一步分析。

2.2 气门开启持续角对 的影响

当气门开启持续角 OD (Opening Duration) 变化时，气门最大升程的位置及气门重叠角都将随之产生变化，并且对 产生影响，以下分别分析。

2.2.1 最大气门升程位置不变

气门持续角变化情况如图 5、图 6 所示。分别计算进排气门不同的气门开启持续期的充量

系数，考察其对 η 的影响。

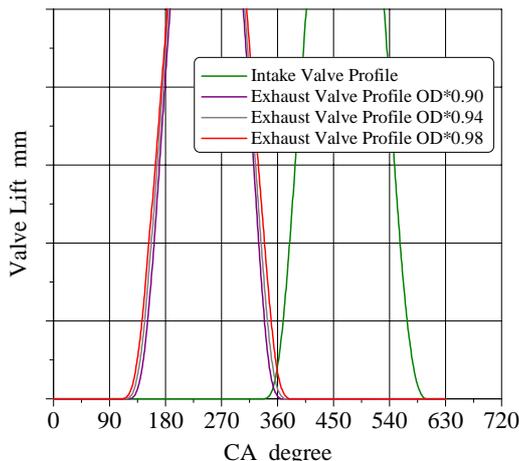


图 5.最大升程位置不变进气持续角优化

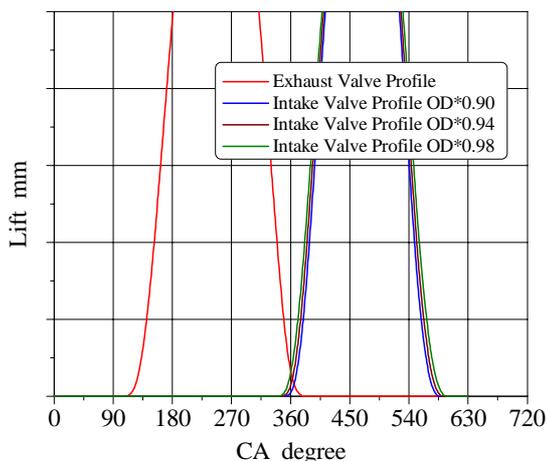


图 6.最大升程位置不变排气持续角优化

a. 进气门开启持续期对 η 的影响

进气门持续角对 η 的影响如图 7 所示，可见进气持续角减小对提高发动机低速充量系数有利，但对高速却不利。这将导致发动机功率的下降。

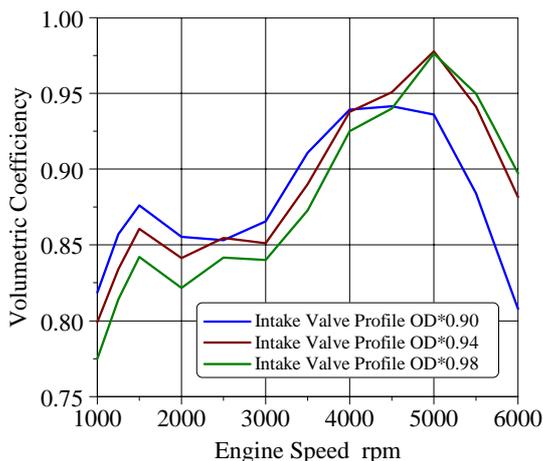


图 7.进气门开启持续角对 η 的影响

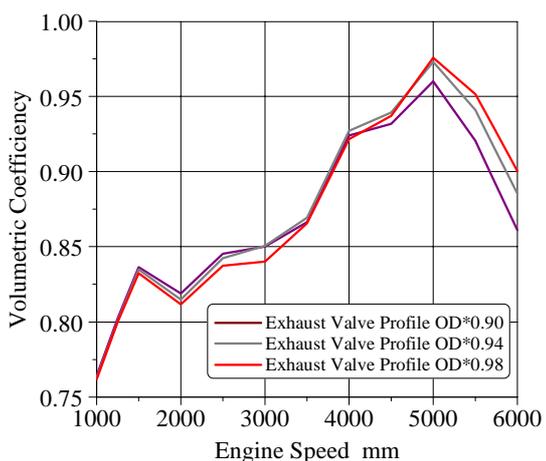


图 8.排气门开启持续角对 η 的影响

b. 排气门持续角对 η 的影响如图 8 所示，可见排气持续角减小同样对提高发动机低速充量系数有利，却不利于发动机高速时功率的提高。

气门开启持续角较大时，对于发动机低转速，气流惯性不高的情况，进气门在气门开启及关闭的时刻均容易引起缸内气体倒流入进气道；排气门则在气门关闭时发生排气重新倒流回缸内。排气门关闭和进气门开启的倒流均会增大缸内的残余废气系数，残余废气系数增加会在进气过程对充量进行加热，从而降低 η ；进气门关闭时充量的倒流会使 η 降低，这是显然的。这种由于气门持续角较大造成的低速倒流，如图 9 中 Backflow2 和 backflow3 所示。其中 backflow1 是由于排气压力波的反射引起的倒流。

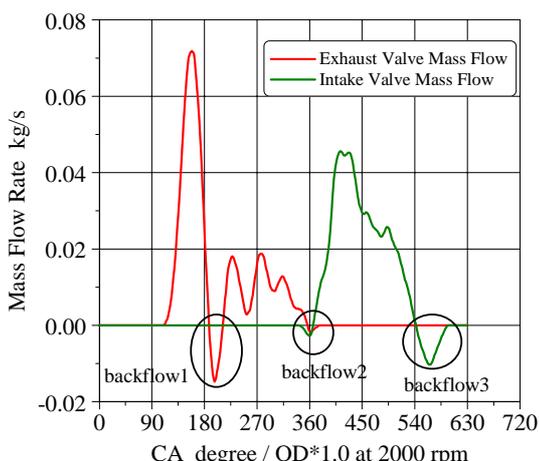


图 9.低速换气过程气门处的气体流量

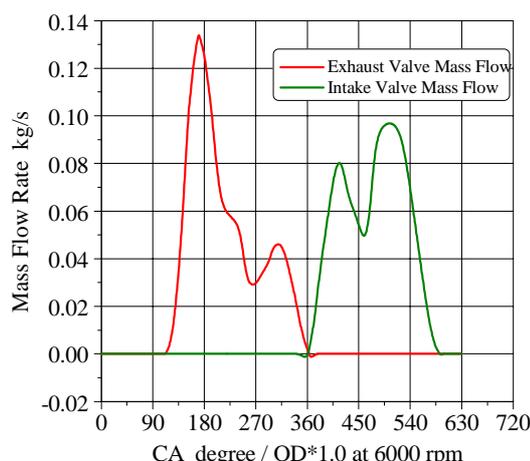


图 10.高速换气过程气门处的气体流量

当发动机高速运转时，即便气门持续角较大也不会产生倒流，如图 10 所示。相反，较大的气门开启持续角对于发动机的功率却是有益的。因为发动机在高转速换气过程中，气流的惯性大。较大的进气持续角，可以更好地利用惯性进气；而较大的排气持续角，更能满足高转速所需要的更大的排气量。

可见，对气门持续角的选取，依赖于对发动机的功率或者扭矩的需求目标。

2.2.2 气门重叠角不变

保证气门重叠角 (Valve Overlap) 不变，此种计算工况的气门升程如图 11、图 12 所示。同时，将此结果同上面 2.2.1 中的充量系数曲线对比，可以看出在进行气门持续角优化时，气门最大升程位置和气门重叠角分别对充量系数的影响程度。

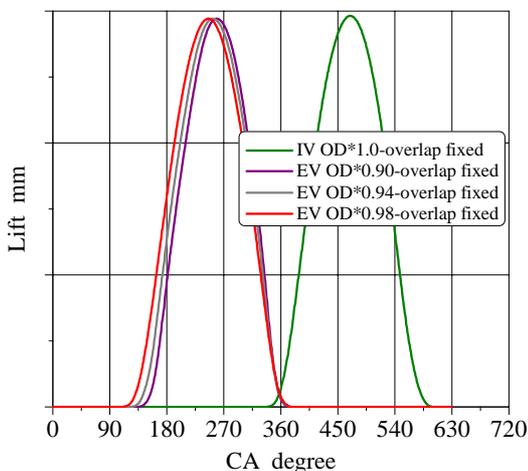


图 11.气门重叠角不变排气持续角优化

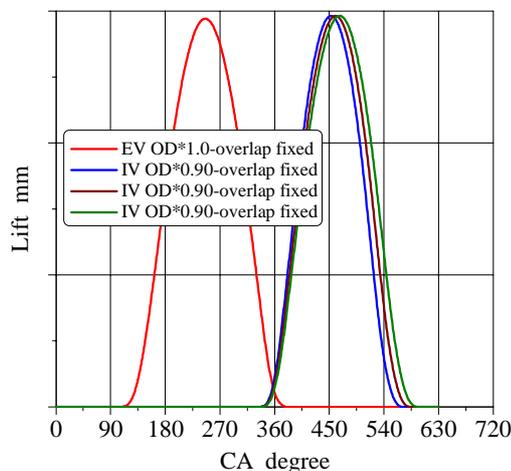


图 12.气门重叠角不变进气持续角优化

a . 进气门持续角变化对充量系数的影响如图 13 所示。当气门重叠角不变时，整个转速基本上随 OD 增大而增大，且变化剧烈。而最大升程位置不变时，高转速在 OD 达到一定值后变化较小，低转速随 OD 的变化明显。

可见，在进气 OD 变化时，进气最大升程位置是影响的主要参数，在整个转速范围均有较大影响。

b . 排气门持续角变化对充量系数的影响如图 14 所示。当气门重叠角不变时，高速几乎不随气门持续角变化，低速随持续角增大而减小。而最大升程位置不变时，随 OD 变化在整个转速范围均有变化。

可见，在排气 OD 变化时，气门重叠角是影响 η_v 的主要参数，在整个转速范围都有较大影响。

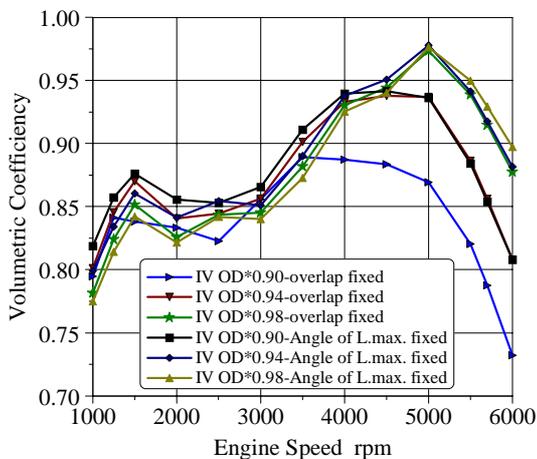


图 13.进气持续角对 η_v 影响

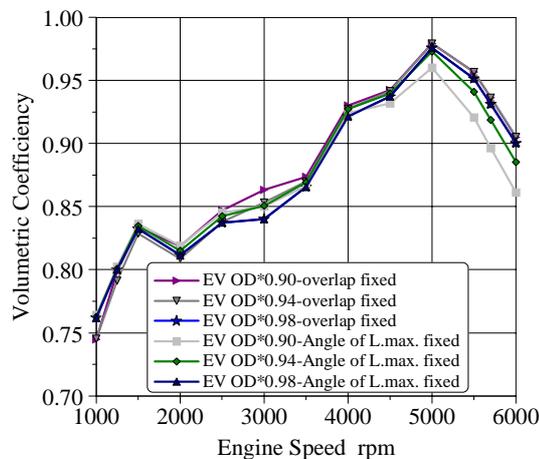


图 14.排气持续角对 η_v 的影响

由以上分析可知，如要改善发动机低速扭矩，可以保证气门重叠角不变，调整排气门 OD，或者保证进气门最大升程位置不变，调整进气门 OD。

2.3 气门升程对 η_v 的影响

考察气门升程对 η_v 的影响时，升程变化如图 15、图 16 所示。

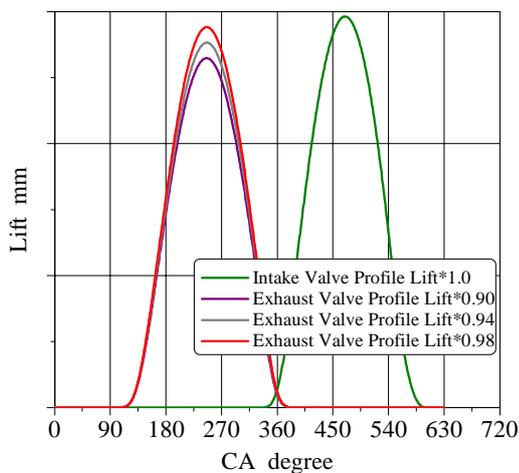


图 15.排气门升程优化示意图

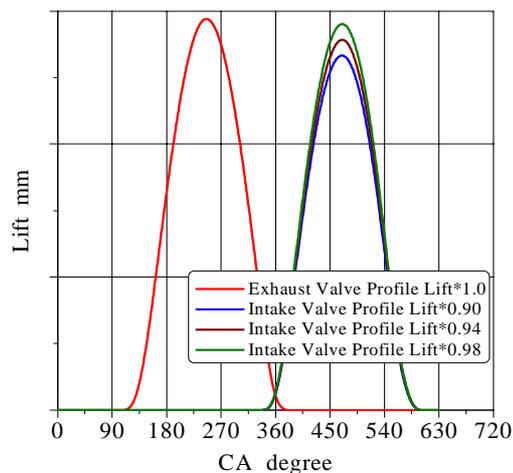


图 16.进气门升程优化示意图

一般来说气门升程越大，对发动机高速充量系数越有利，不过当升程达到一定值后，这种效果就很小了，这可以从图 1 的气道流量系数与升程的关系得到较好的解释；升程变化不大时，发动机低速充量系数基本不变，只是对高速充量系数有明显影响，如图 17、图 18 所示，由图可见，进气门升程对发动机换气的影晌大于排气门升程。

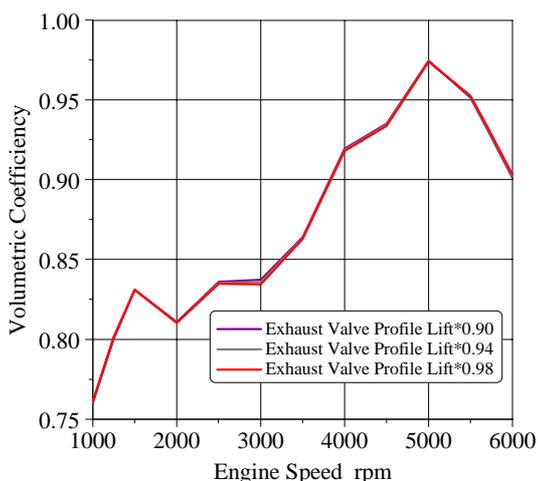


图 17.排气门升程对充量系数的影响

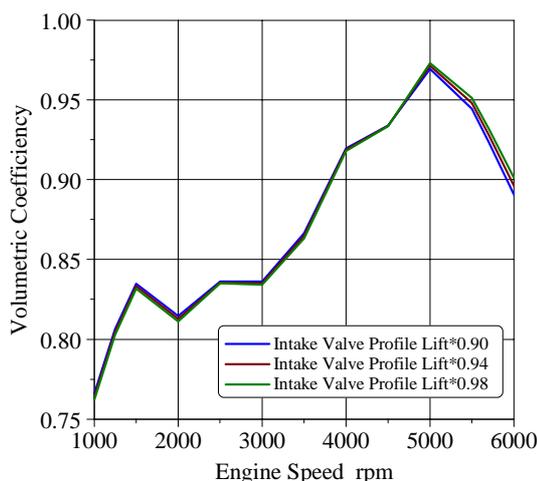


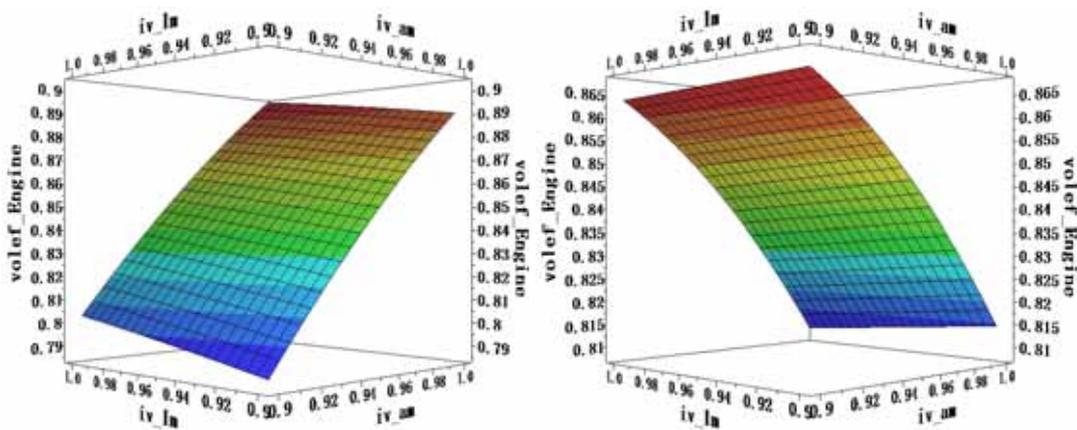
图 18.进气门升程对充量系数的影响

同样，对气门升程的选取，需要根据发动机的开发目标确定。对于功率的需求，最直接的办法是加大进气门升程，由以上分析可知，这样在不牺牲中低转速扭矩的情况下，可以提高发动机的标定功率。不过，增大进气门开启持续角也能明显提升发动机功率，因此，当需要提高发动机功率时需要统筹考虑采取哪种措施。同时需要考虑，增大进气门开启持续角，会降低发动机中低转速扭矩；增大气门升程会使配气机构受力恶化。

进气门开启持续角和进气门升程对发动机充量系数的共同作用结果，如图 19 (a) 图 19 (b) 所示。由图可知，发动机在高速时对升程和持续角的要求几乎与低速时的相反。

2.4 提高气门升程丰满系数

当气门升程的持续角和最大升程一定时，丰满度越高，发动机充量系数越高，但是随着丰满度的提高，气门的加速度也增大，这给气门机构的可靠性带来严峻地挑战。设计时应该由阀系动力学分析给出既满足性能要求又满足可靠性要求的最佳丰满系数的升程。关于气门升程的丰满系数的提高的结构分析，已不是本文要讨论的内容。



(a) 6000 rpm

(b) 2000 rpm

图 19.进气门开启持续角和升程对充量系数的影响

iv_lm——进气门升程比例系数； iv_am——进气门开启持续角比例系数；

volef_Engine——发动机充量系数

3 结论

利用 GT-POWER 对气门的两个重要参数气门开启持续角及气门升程作了性能优化,可以得到如下三个结论:

- 一、最大气门升程处于正时优化后位置,且固定不变时,在一定范围内,气门开启持续角较大有利于提高发动机高速充量系数,反之,则对发动机低速充量系数提高有利,并且进气门持续角比排气门持续角对充量系数的影响更明显;
- 二、气门升程达到一定值后,若继续增大升程,对发动机低速充量系数影响较小,对高速充量系数有一定提高,并且进气门升程比排气门升程对充量系数的影响更明显;
- 三、在本机气门升程优化过程中,为了在整个转速范围获得较好的充量系数,进气门持续角变化时,应尽量保证其最大升程位置不变;排气门持续角变化时,应尽量保证气门重叠角不变。

参考文献

- [1] John B.Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill, Inc. 1998
- [2] 周龙保, 内燃机学, 机械工业出版社, 北京, 2005.1
- [3] 张小燕 詹樟松, 发动机可变长度进气系统的优化设计研究, 内燃机, 2007(1)
- [4] 傅秋阳 李自强, 配气正时与凸轮型线优化设计的方法与实现, AVL2007 年用户大会论文集