

# 过膨胀循环发动机配气相位偏差对充气模型精度的影响

张文韬 冯朋朋 郝伟 徐宁宁 周天鹏 闫涛

(中国第一汽车股份有限公司研发总院, 长春 130013)

【欢迎引用】张文韬, 冯朋朋, 郝伟, 等. 过膨胀循环发动机配气相位偏差对充气模型精度的影响[J]. 汽车文摘, 2025(1): 29-35.

【Cite this paper】ZHANG W T, FENG P P, HAO W, et al. Effect of Over-expansion Cycle Engine Valve Phase Deviation on Air Charge Model Accuracy[J]. Automotive Digest (Chinese), 2025(1): 29-35.

【摘要】为提高过膨胀循环发动机充气模型精度,改善发动机性能及提高整车动态工况混合气控制,需精确控制发动机进气凸轮轴的相位。本文分析了进气凸轮轴的开启时刻与关闭时刻对充气模型的影响原理,从理论上分析了相位偏差对充气模型精度的影响,并通过试验验证不同相位偏差对充气模型精度的影响情况,为满足充气模型的偏差不超过 $\pm 5\%$ 的精度需求,进气相位偏差需要控制在 $\pm 1.5^\circ\text{CA}$ 范围内。提出了通过控制装配机械相位精度及增加ECU相位偏差自学习模型的方式,修正进气相位偏差对充气模型的影响,经过试验验证了相位偏差控制的效果。

关键词: 过膨胀循环; 相位偏差; 模型精度; 相位修正

中图分类号: U464.12+3 文献标志码: A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20230300

## Effect of Over-Expansion Cycle Engine Valve Phase Deviation on Air Charge Model Accuracy

Zhang Wentao, Feng Pengpeng, Hao Wei, Xu Ningning, Zhou Tianpeng, Yan Tao

(General Research and Development Institute, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013)

【Abstract】In order to improve the accuracy of the over-expansion cycle engine air charge model, improve engine performance and improve the dynamic condition mixture control of the vehicle, it is necessary to accurately control the phase of the engine's intake valve. In this paper, the influence of the Intake Valve Open(IVO) timing and Intake Valve Close(IVC) timing on air charge model is analyzed, the influence of valve phase deviation on the accuracy of the air charge model is analyzed theoretically, and the influence of different valve phase deviations on the accuracy of the air charge model is verified by experiments, in order to meet the accuracy requirements of the air charge model deviation of no more than  $\pm 5\%$ , the intake valve phase deviation needs to be controlled within the range of  $\pm 1.5^\circ\text{CA}$ . The influence of the intake phase deviation on the air charge model is corrected by controlling the phase accuracy of the assembly machinery and adding the Electronic Control Unit(ECU) phase deviation adaptive model, and the effect of phase deviation control is verified by experiments.

Key words: Over-Expansion cycle, Phase deviation, Model accuracy, Phase correction

## 0 引言

随着全球能源短缺和环境污染问题的日益严重,节能减排已成为汽车产业发展的重要趋势。混合动力汽车作为一种节能环保的新型汽车,具有广泛的应用前景。混合动力车型更加追求经济性,其专用发动机通常采用米勒循环(小包角进气凸轮轴凸轮)或者

阿特金森循环(大包角进气凸轮轴凸轮),结合高压压缩和液冷废气再循环(Exhaust Gas Recirculation, EGR)提高发动机的理论热效率<sup>[1-4]</sup>。传统发动机采用奥托循环,即等膨胀循环,其膨胀行程与压缩行程相同。在奥托循环基础上进行气门正时调整,进气门早关(Early Intake Valve Closing, EIVC)为米勒循环,进气门晚关(Late Intake Valve Closing, LIVC)为阿特金

森循环。此2种循环均属于过膨胀循环技术<sup>[5-6]</sup>,其膨胀行程大于压缩行程。米勒循环由于进气门早关,导致缸内滚流减弱,无法充分利用惯性进气。而阿特金森循环由于进气门晚关,使得缸内较高温混合气可以回流至进气道<sup>[7]</sup>。

过膨胀循环工作过程中,进气门开启、关闭时刻的偏差对缸内进气流量具有较大影响,微小偏差也可能导致气缸内进气充量出现较大差异,严重偏差可能影响发动机性能一致性<sup>[8-9]</sup>。在实际生产中,发动机进、排气凸轮轴的安装存在偏差,且偏差方向及大小均不稳定,导致发动机进气量出现偏差,降低了充气模型精度,影响混动工况的充电策略,对整车动态性能产生负面影响。

本文通过分析充气模型原理,研究了相位偏差对充气模型精度的影响并通过试验进行验证,提出通过控制装配机械相位精度及增加电子控制器单元(Engine Control Unit, ECU)相位偏差自主学习模型的方式,修正进气相位偏差对充气模型的影响。

## 1 充气模型原理

通过进气门流入气缸的瞬时空气流量很难直接测量,多数现有方法利用进气歧管上的传感器收集的信息建立发动机充气模型,充气模型来源于对从进气门开启到进气门关闭过程中进气状态的物理分析<sup>[10]</sup>。根据理想气体方程,相对进气量可表示为:

$$rl = \frac{m_i}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $rl$ 为相对进气量, $m_i$ 为进气门关闭时缸内进气量, $m_0$ 为标准状态下缸内进气量。缸内气体成分主要包括新鲜空气和残余废气,其中残余废气包括滞留废气与回流废气,则缸内新鲜气体相对量<sup>[11]</sup>可以表示为:

$$rl_{fresh} = rl_{inner} - rl_{resi} - rl_{recy} \quad (2)$$

式中: $rl_{fresh}$ 为缸内新鲜气体相对量, $rl_{inner}$ 为缸内总气体相对量, $rl_{resi}$ 为缸内滞留废气相对量, $rl_{recy}$ 为缸内回流废气相对量。

缸内总气体相对量可表示为:

$$rl_{inner} = A \cdot \frac{P_{im}}{P_0} \cdot \frac{V_a}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_a} = P_{im} \cdot f_{p2ch} \quad (3)$$

$$f_{p2ch} = A \cdot \frac{1}{P_0} \cdot \frac{V_a}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_a} \quad (4)$$

式中: $P_{im}$ 为进气歧管压力, $f_{p2ch}$ 为进气歧管压力到相对进气量的转化的系数, $A$ 为歧管压力到缸内气体压力的修正, $P_0$ 为标准状态气体压力, $T_0$ 为标准状态气

体温度, $V_0$ 为标准状态缸内气体容积, $V_a$ 为缸内气体容积, $T_a$ 为缸内气体温度。

缸内进气量主要受进气门关闭角影响<sup>[12]</sup>。根据膨胀循环的原理可知,进气门关闭角度的提前或延迟将主要影响缸内气体容积 $V_a$ ,进而作用于进气歧管压力与相对进气量的转化系数 $f_{p2ch}$ ,影响整体进气效率。缸内滞留废气量可表示为:

$$rl_{resi} = B \cdot \frac{V_r}{V_0} \cdot \frac{P_r}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_r} \quad (5)$$

式中: $B$ 为对滞留废气体积的修正, $P_r$ 为缸内滞留废气压力, $T_r$ 为缸内滞留废气温度, $V_r$ 为表示排气门关闭时缸内气体体积。

缸内的滞留废气主要受排气门关闭时缸内气体体积 $V_r$ 影响, $V_r$ 主要受排气门关闭角影响。回流废气可表示为:

$$rl_{resi} = C \cdot \frac{V_e}{V_0} \cdot \frac{P_e}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_e} \quad (6)$$

式中: $C$ 为对回流废气体积的修正, $P_e$ 为缸内回流废气压力, $T_e$ 为缸内回流废气温度, $V_e$ 为回流气体体积。回流气体体积 $V_e$ 除受进排气压比影响外,主要受进气门开启角与排气门关闭角之间的重叠角影响<sup>[13]</sup>。

## 2 进气相位偏差对充气模型的影响原理

与等膨胀循环(奥托循环)发动机相比,过膨胀循环(米勒循环和阿特金森循环)发动机在进气门提前关闭或延迟关闭时,活塞运动速度非常快。即便进气门关闭角存在较小偏差,也可能导致缸内相对进气量出现较大的差异。进气歧管压力和相对进气量的转化系数与进气门关闭角之间的关系如图1所示,当进气门关闭角 $A_{IVC}$ 存在偏差,ECU中进气门关闭角 $A_{IVCSW}$ 可表示为:

$$A_{IVCSW} = A_{IVCact} + \Delta A_{IVC} \quad (7)$$

式中: $A_{IVCact}$ 为实际进气门关闭角, $\Delta A_{IVC}$ 为进气门关闭角相位偏差进气门关闭角偏差 $\Delta A_{IVC}$ 引起的歧管压力和相对进气量的转化系数偏差可表示为:

$$\Delta f_{p2ch} = f_{p2chSW} - f_{p2chact} \quad (8)$$

式中: $f_{p2chSW}$ 为ECU中歧管压力和相对进气量的转化系数, $f_{p2chact}$ 为实际歧管压力和相对进气量的转化系数, $\Delta f_{p2ch}$ 歧管压力和相对进气量的转化系数偏差。由歧管压力和相对进气量的转化系数偏差导致的缸内相对充气量的偏差可表示为:

$$\Delta rl = \Delta f_{p2ch} \cdot P_{im} \quad (9)$$

式中: $\Delta rl$ 为相对充气量的偏差。

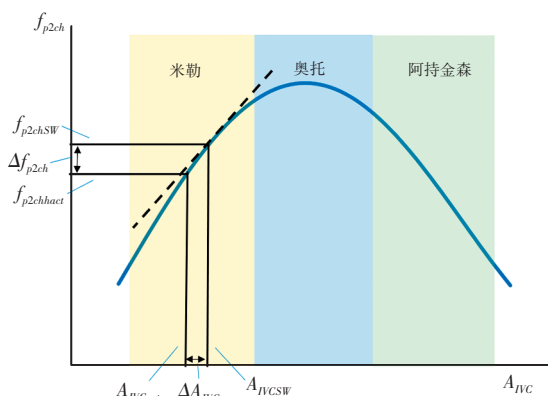


图1 压力和相对进气量的转化系数与进气门关闭角的关系  
进气相位偏差对回流废气量的影响与传统发动机相同,本文不做具体分析。

### 3 气相位偏差对充气模型精度影响试验分析

#### 3.1 试验方案

为充分验证不同进气相位偏差对发动机充气模型的影响程度,在保持排气门关闭时刻不变的情况下,机械调整不同进气门相位偏差方案(相对原机进气相位分别提前 $6^{\circ}\text{CA}$ 、 $3^{\circ}\text{CA}$ 、 $1.5^{\circ}\text{CA}$ 和滞后 $1.5^{\circ}\text{CA}$ 、 $3^{\circ}\text{CA}$ 、 $6^{\circ}\text{CA}$ ),进行发动机充气模型精度对比试验。

#### 3.2 试验设备

试验设备主要包括 Horiba 电力测功机、AVL 主控系统、AVL 740 瞬态油耗仪、Horiba MEXA-7500DEGR 排放分析仪、ETAS-ES630 空燃比测量仪、ETAS 592、深度米勒增压直喷发动机及开发 ECU。试验中使用的设备及系统构成如图 2 所示。

### 3.3 试验对象

本次试验采用某款 2.0 L 深度米勒增压直喷发动机,发动机具体参数如表 1 所示。

表 1 发动机参数

项目	参数
排量/L	1.999
最大净功率/kW	120.0(4 500 r·min <sup>-1</sup> )
最大扭矩/N·m	260(1 750~4 500 r·min <sup>-1</sup> )
压缩比	13.5
燃油标号	95#
点火次序	1-3-4-2
技术特点	直喷增压、深度米勒、液冷 EGR
电控系统	开发 ECU

#### 3.4 试验结果分析

不同进气门相位偏差方案对发动机充气模型精度的影响如图 3 ~ 图 9 所示。相对进气量偏差定义为 ECU 计算相对进气量与实际相对进气量的比值。图 3 为标准相位(进气相位偏差为 $0^{\circ}\text{CA}$ )时充气模型精度,模型精度在 $\pm 2\%$ 以内。图 4、图 5 为进气相位提前与延迟 $1.5^{\circ}\text{CA}$ 的充气模型精度,模型精度较标准相位时变差,模型精度在 $\pm 5\%$ 以内。图 6、图 7 为进气相位提前与延迟 $3^{\circ}\text{CA}$ 充气模型精度,模型精度较标准相位时变差,模型精度在 $\pm 10\%$ 以内。图 8、图 9 为进气相位提前与延迟 $6^{\circ}\text{CA}$ 充气模型精度,模型精度较标准相位时变差,模型精度在 $\pm 20\%$ 以内。试验结果表明,进气相位偏差越大,模型精度越差。

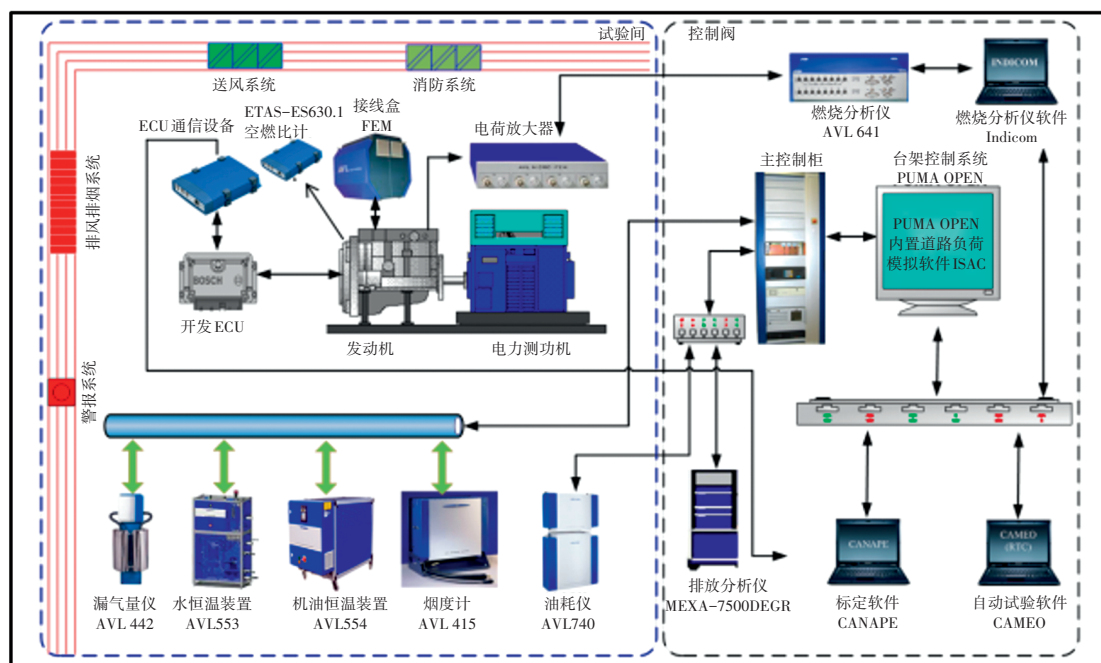
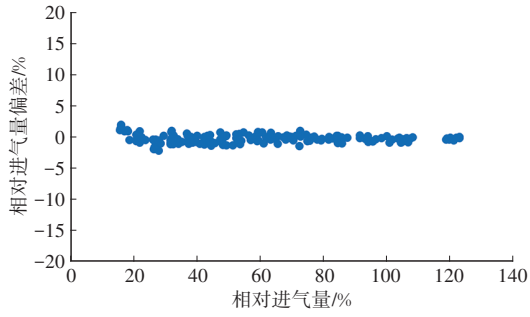
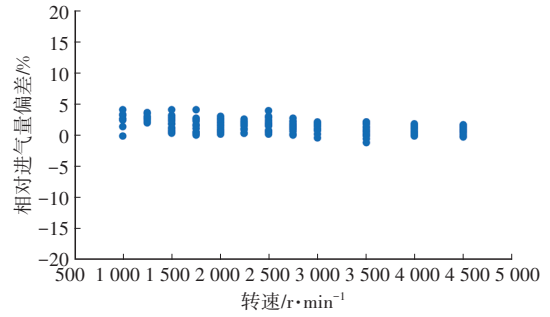


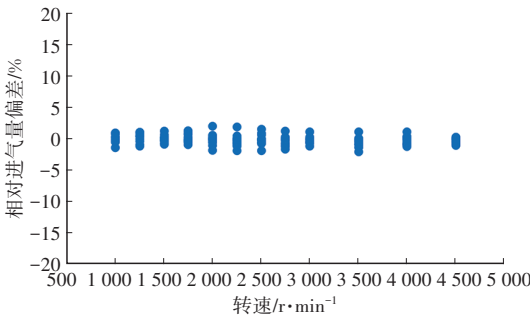
图 2 试验装置及系统构成



(a)不同相对进气量下相对进气量偏差



(b)不同转速下相对进气量偏差



(a)不同相对进气量下相对进气量偏差

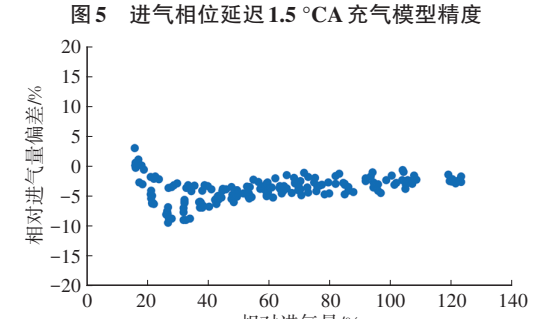
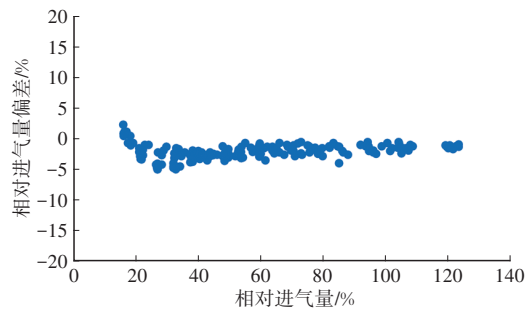
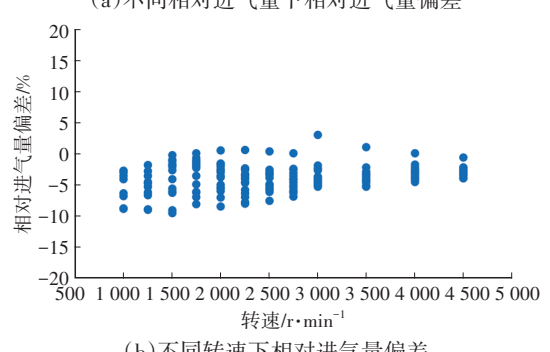


图5 进气相位延迟 1.5 °CA 充气模型精度

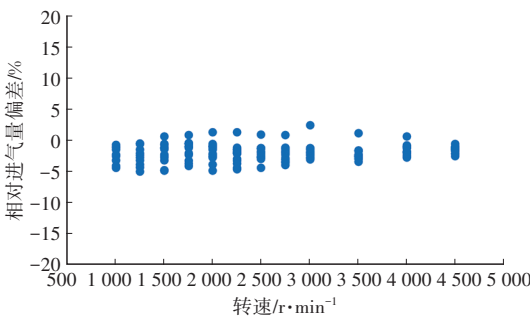
图3 进气相位偏差为 0 °CA 充气模型精度



(a)不同相对进气量下相对进气量偏差



(b)不同转速下相对进气量偏差



(a)不同相对进气量下相对进气量偏差

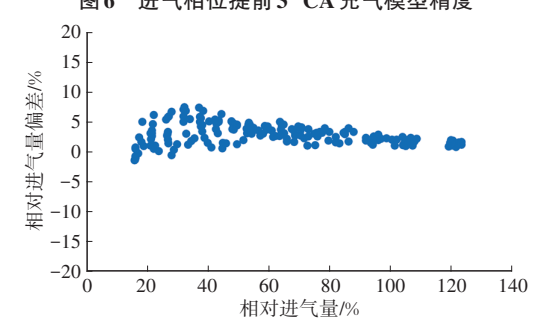
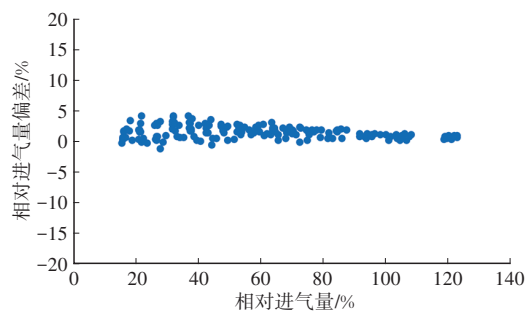
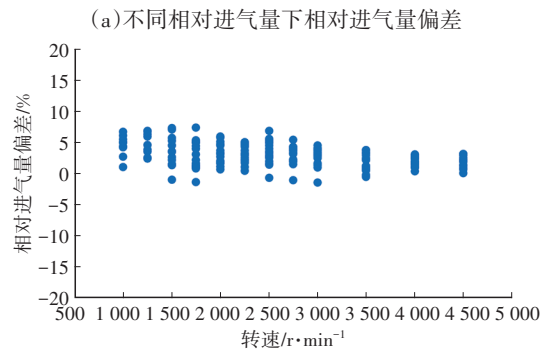


图6 进气相位提前 3 °CA 充气模型精度

图4 进气相位提前 1.5 °CA 充气模型精度

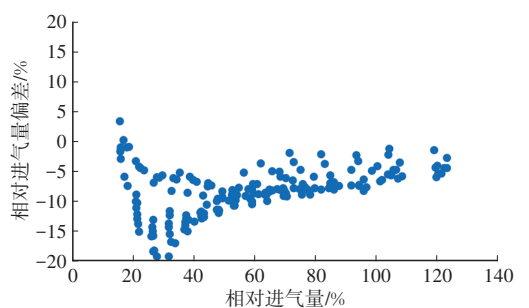


(a)不同相对进气量下相对进气量偏差

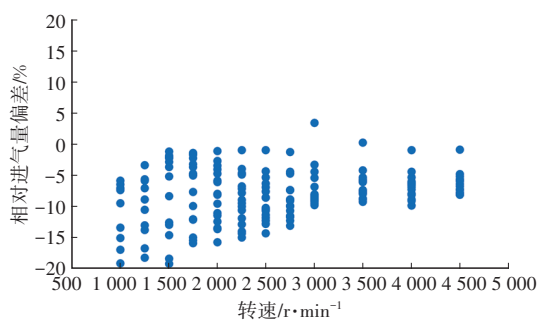


(b)不同转速下相对进气量偏差

图7 进气相位延迟 3 °CA 充气模型精度

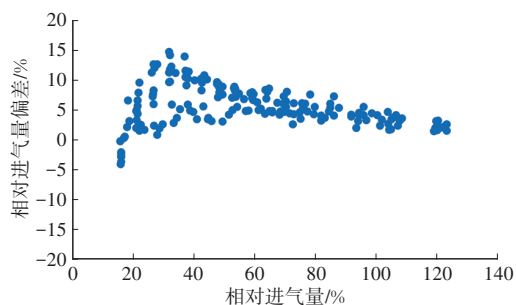


(a)不同相对进气量下相对进气量偏差

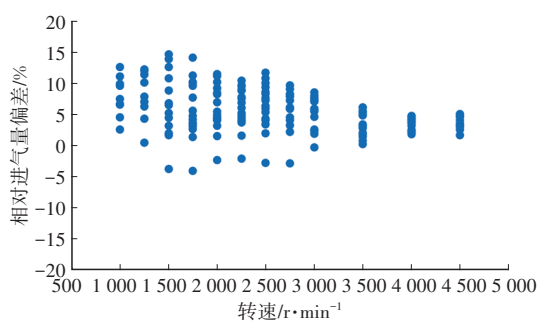


(b)不同转速下相对进气量偏差

图8 进气相位提前6°CA充气模型精度



(a)不同相对进气量下相对进气量偏差



(b)不同转速下相对进气量偏差

图9 进气相位延迟6°CA充气模型精度

## 4 相位偏差控制方法

### 4.1 相位偏差来源

发动机进气相位设计值是指进气门开启时刻对应的曲轴转角,通过控制单元中读取到的凸轮轴位置传感器测量值和曲轴位置传感器测量值的相对关系计算可以获得相位计算值,相位计算值和设计值的偏差称作相位偏差。相位偏差的主要来源包括3

个方面:(1)零部件尺寸偏差,包括曲轴、凸轮轴、信号齿以及缸盖安装孔等。(2)装配过程导致的偏差,如链条状态和拧紧力矩不一致产生的偏差、工装辅具精度不同导致的偏差。(3)传感器测量偏差,主要包括凸轮轴位置传感器和曲轴位置传感器测量偏差<sup>[14-16]</sup>。

### 4.2 相位偏差控制方法

为了降低进气相位偏差对米勒循环发动机实际进气的影响,一方面可以提高零部件的加工精度,但相位偏差的尺寸链影响因素众多,并且过高的尺寸要求必然带来零部件成本的上升。另一方面可以改善装配工艺过程及工装辅具,通过模拟发动机实际运转的链条状态等手段,配合精度更高的工装辅具,将相位偏差控制在 $\pm 3^\circ\text{CA}$ 范围内,但是无法达到米勒循环发动机的相位控制要求<sup>[17-18]</sup>。

在实际装机条件下,由于进气相位偏差控制无法进一步优化,部分汽车制造商和控制系统供应商提出了相应补偿方案。例如大众采用一机一数据的方式,将测量得到的机械相位偏差写入控制单元<sup>[19]</sup>。大陆汽车电子通过开发软件算法,对各气门正时及其进气歧管压力所产生的影响之间的物理关系进行精确建模,并将其用于气门关闭正时的计算过程,补偿特定参考发动机和量产发动机之间的气门正时偏差<sup>[20]</sup>。本文通过对多台样机的相位偏差和凸轮轴位置传感器测量值进行分析,发现凸轮轴位置传感器测量到的偏差和实测相位偏差的方向一致。如图10所示,对其中3台样机进行机械相位调整,并记录机械相位调整后的凸轮轴位置传感器测量值。如图11所示,调整机械相位时,凸轮轴位置传感器的实测值和机械相位偏差在 $\pm 1^\circ\text{CA}$ 内,且具有较好一致性。

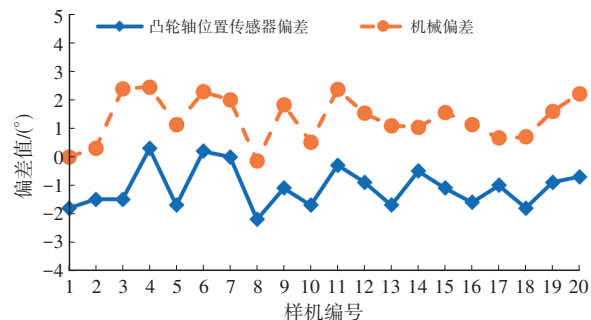


图10 相位偏差统计

综上所述,本研究探索了采用凸轮轴位置传感器的测量值对相位进行修正的方法。在发动机运行过程中,凸轮轴相位传感器负责读取凸轮轴位置信号,

得到凸轮轴位置实测值。通过将凸轮轴位置实测值和目标值进行对比得到凸轮轴位置实测值与标准值的偏差,并根据凸轮轴位置偏差修正表得到偏差修正值。该修正值可以直接对控制单元中充气计算表坐标进行修正,也可以直接修正实际相位。修正逻辑如图 12 所示。

### 4.3 相位偏差控制效果

在不增加系统成本的情况下,通过相位偏差修正算法将 $\pm 5^\circ\text{CA}$ 以内的机械与电信号综合偏差控制在 $\pm 1^\circ\text{CA}$ 以内,提高充气模型计算精度。

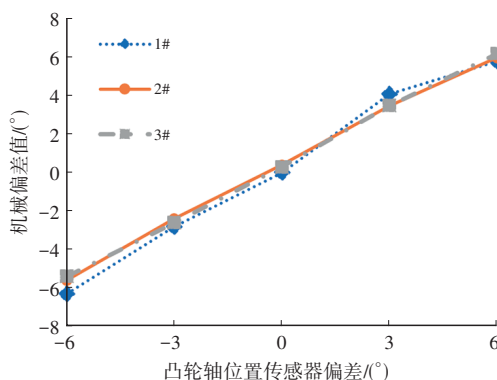


图 11 电信号相位偏差与机械相位偏差

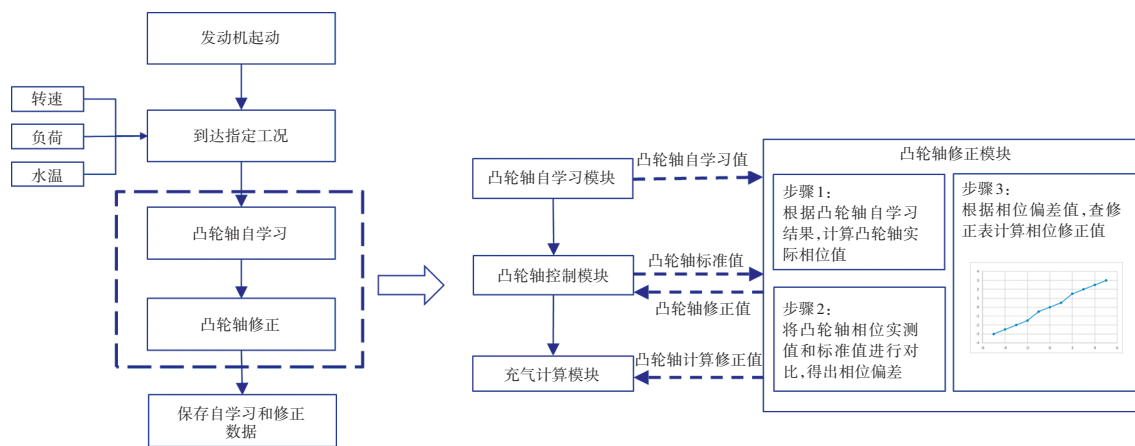


图 12 相位偏差修正逻辑

## 5 结论

通过分析进气门关闭角对充气模型的影响原理,从理论上分析了相位偏差对充气模型精度的影响,并通过试验验证不同相位偏差对充气模型精度的影响情况。

(1)与等膨胀循环发动机相比,过膨胀循环发动机充气模型精度对相位偏差更加敏感。

(2)发动机相位偏差来源于零件的制造偏差、发动机装配过程产生的偏差和传感器读取偏差,为满足模型偏差在 $\pm 5\%$ 以内的需求,相位偏差需要控制在 $\pm 1.5^\circ\text{CA}$ 范围内。

(3)通过机械相位控制与ECU相位偏差自适应算法,修正相位偏差对充气模型的影响,通过试验验证了相位偏差控制的效果。

### 参考文献

[1] KARGUL J, STUHL DREHER M, BARBA D, et al. Benchmarking a 2018 Toyota Camry 2.5-Liter Atkinson Cycle Engine with Cooled-EGR[J]. SAE Int J Adv Curr Pract Mobil, 2019, 1(2): 601-638.

[2] COOPER A, HARRINGTON A, BASSETT M, et al. Application of the Passive MAHLE Jet Ignition System and Syner-

gies with Miller Cycle and Exhaust Gas Recirculation[J]. SAE Technical Paper, 2020-01-0283, 2020.

[3] CAO L, TENG H, MIAO R, et al. A Comparative Study on Influence of EIVC and LIVC on Fuel Economy of A TGDI Engine Part III: Experiments on Engine Fuel Consumption, Combustion, and EGR Tolerance[J]. SAE Technical Paper, 2017-01-2232, 2017.

[4] KETTERER J E, GAUTIER E, KEATING E J. The Development and Evaluation of Robust Combustion Systems for Miller Cycle Engines[J]. SAE Technical Paper, 2018(1): 2018-01-1416, 2018.

[5] YANG Z, MILLER T, NABER J. Investigation and Optimization of Cam Actuation of an Over-Expanded Atkinson Cycle Spark-Ignited Engine[J]. SAE Int J Adv Curr Pract Mobil, 2019, 1(2): 639-653.

[6] WAN Y, DU A. Reducing Part Load Pumping Loss and Improving Thermal Efficiency through High Compression Ratio Over-Expanded Cycle[J]. SAE Technical Paper, 2013-01-1744, 2013.

[7] DENIS N, FINO S, MATTHIAS D, et al. Miller/Atkinson Valve Timing as Full Load Concept for a Naturally Aspirated Cogeneration Engine[J]. SAE Technical Paper, 2015-32-0713, 2015.

- [8] BRAUN M, KLAAS M, SCHRÖDER W. Influence of Miller Cycles on Engine Air Flow[J]. SAE Int. J. Engines, 2018, 11(2): 161-178.
- [9] LUO X, TENG H, LIN Y, LI B, et al. A Comparative Study on Influence of EIVC and LIVC on Fuel Economy of a TGDI Engine Part II: Influences of Intake Event and Intake Valve Closing Timing on the Cylinder Charge Motion, SAE Technical Paper, 2017-01-2246, 2017.
- [10] WANG Z, ZHU Q, PRUCKA R. A Review of Spark-Ignition Engine Air Charge Estimation Methods, SAE Technical Paper, 2016-01-0620, 2016.
- [11] 徐宁宁, 张文韬, 郑海亮, 等. 基于高斯过程的TGDI发动机充气模型试验研究[J]. 汽车文摘, 2020(4): 49-53.
- [12] QU Z, MA M, ZHAO F. Estimation and Analysis of Crank-Angle-Resolved Gas Exchange Process of Spark Ignition Engines, SAE Technical Paper, 2012-01-0835, 2012.
- [13] YAZDANI A, NABER J, SHAHBAKHTI M, et al. Air Charge and Residual Gas Fraction Estimation for a Spark Ignition Engine Using In-Cylinder Pressure, SAE Technical Paper, 2017-01-0527, 2017.
- [14] 史丁丁, 朱葛明, 羊奎, 等. 浅谈发动机凸轮轴孔和曲轴孔的加工工艺[J]. 机械制造, 2016(2): 75-77.
- [15] 邹开凤, 杨中书, 吴海青, 等. 发动机配气相位误差原因分析及改进措施[J]. 车用发动机, 2020(2): 39-40.
- [16] 王凌志. 霍尔式相位传感器信号精度的影响因素浅析[J]. 佳木斯大学学报, 2020, 38(3): 78-81.
- [17] 李益民, 王三桂, 郑远平, 等. 米勒循环发动机配气相位角装配精度控制的研究[J]. 机械装备, 2018(5): 77-79.
- [18] 李加旺, 朱博铖, 尹子明, 等. 相位偏差对米勒循环发动机性能的影响及其控制[J]. 内燃机与动力装置, 2022, 39(5): 16-21.
- [19] 王越, 杜学军, 瞿晓君. 基于多层次递进式检测原理的发动机故障集成判别方法[P]. 中国专利: CN116754243A, 2023-09-15.
- [20] BRAUN T, BURKHARDT T, DINGL T. 针对米勒循环和阿特金森循环的发动机配气机构公差在线调节[J]. 汽车与新动力, 2021(2): 35-38.

(责任编辑 梵玲)

## 《汽车文摘》2025年专项征稿启事

尊敬的汽车及相关技术领域专家学者、研发工程师、高校师生：

在全球汽车产业迎来深刻变革的今天,2025年将成为汽车技术发展的关键节点,新技术、新材料、新理念将不断涌现,推动汽车行业向更智能、更环保、更安全的方向发展。《汽车文摘》期刊作为中国汽车工程学会会刊,秉承“览全球汽车技术文献,指中国汽车技术之道”的使命,致力于成为汽车领域最具影响力的综述类期刊。在此,我们特别发布2025年专项征稿启事,聚焦以下十大技术方向,旨在征集具有前瞻性、综述性的高质量文章,以期在汽车技术的创新与进步提供创新的方向和理论的支持。

- 人工智能在汽车创新发展中的应用综述:**征集探讨人工智能技术在车辆自动驾驶、智能座舱、智能控制以及仿真和优化中的应用综述文章。
- 智能网联汽车信息安全技术综述:**征集分析智能网联汽车面临的信息安全挑战及解决方案的综述文章。
- 环境感知与智能决策技术综述:**征集研究环境感知技术的未来发展,包括新型传感器技术、多模态感知融合算法的最新进展等前瞻综述。
- 氢能技术在汽车产业中的应用综述:**征集探讨氢能技术在汽车产业中的应用,包括氢燃料电池、氢内燃机以及氢能汽车能源系统中的整合等综述文章。
- 固态电池技术发展综述:**征集研究固态电池技术的最新进展,包括材料科学、电化学性能和系统集成等方面的综述。
- 汽车动力总成电动化技术综述:**征集探讨电动化动力总成设计、控制和集成技术的综述文章。
- 智能底盘技术发展综述:**征集探讨智能底盘技术的最新进展,包括底盘控制系统、悬挂系统和驱动系统的智能化技术综述。
- 自动驾驶法规与伦理问题综述:**征集分析自动驾驶技术发展中的法规和伦理问题的综述文章。
- 汽车共享经济与商业模式创新综述:**征集探讨汽车共享经济的发展及其对传统汽车产业影响的综述。
- 智能交通系统(ITS)技术发展综述:**征集研究智能交通系统技术如车路协同、交通流量管理等综述。

**征稿要求:**

- 投稿请注明“\*\*\*\*\*”技术方向专项征稿字样,本刊对符合征稿技术方向的稿件将优先审核,一经录用优先发表;
- 综述篇幅在8000~15000字,图文并茂,图、表和公式非原创要求标注引用文献;
- 请按科技论文要求撰写文章摘要,摘要中文字数在200字左右;
- 文章必须附有公开发表、体现本领域最新研究成果和高影响力出版物作为参考文献,一般要求参考文献在20篇以上,一半左右为外文参考文献,且在文中标注所引用文献;
- 来稿保密审查工作由作者单位负责,确保署名无争议,文责自负;
- 切勿一稿多投,《汽车文摘》投稿网址: <http://www.qcwz.cbpt.cnki.net>, 邮箱: [autodigest@faw.com.cn](mailto:autodigest@faw.com.cn)。

《汽车文摘》期刊期待您的精彩综述文章,共同探索汽车技术的未来发展。感谢您对《汽车文摘》期刊的支持与贡献,让我们携手推动汽车技术的创新与进步。

《汽车文摘》编辑部