

高压共轨柴油机喷油器零油量自学习标定策略*

任卫军¹ 史先信² 焦生杰¹ 朱长建² 张琼¹

(1. 长安大学信息工程学院, 西安 710064; 2. 徐州工程机械集团有限公司, 徐州 221004)

【摘要】 提出一种自学习零油量标定方法。引入发动机段加速度的概念,当发动机满足倒拖等工况条件和在标定轨压下,按一定的喷油脉宽控制喷油器进行测试喷射,通过发动机段加速度的变化判断是否有燃油燃烧,调整喷油脉宽的增减进行再次测试喷射,直到相邻两次喷射引起的段加速度的变化位于已定义阈值的两侧,最终获取在该轨压下该喷油器的零油量标定值。喷油实验台与整车实验结果对比表明,这种喷油器零油量自学习标定方法无需增加额外设备,标定精度高,实时性强。

关键词: 柴油机 喷油器 零油量标定 策略

中图分类号: TK422 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)09-0035-05

Zero Fuel Auto-learning Calibration of Injector in High Pressure Common Rail Diesel Engine

Ren Weijun¹ Shi Xianxin² Jiao Shengjie¹ Zhu Changjian² Zhang Qiong¹

(1. School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China

2. Xuzhou Construction Machinery Group Co., Ltd., Xuzhou 221004, China)

Abstract

A zero fuel auto-learning calibration strategy was adopted and the concept of engine segment acceleration was introduced. When the necessary condition for calibration and the rail pressure defined by the calibration were required in overrun phase, zero fuel calibration triggered small injections to a cylinder, and attempted to detect a change in the engine crankshaft segment acceleration. Then, the parameters for the injections were changed in predefined step value for the energizing time until a predefined segment acceleration change was detected between two neighborhood injections. Finally, the energizing time was saved as zero quantity calibration value of the injector in the rail pressure defined. The injection bench and the experimental vehicle test results showed that zero fuel auto-learning calibration strategy does not need to add any components, and it has higher calibration veracity and real-time characteristic.

Key words Diesel engine, Injector, Zero fuel calibration, Strategy

引言

高压共轨柴油机燃油系统的多次喷射是提高燃油经济性、改善排放、降低发动机噪音的重要技术手段^[1-2],预喷油量偏大会增加发动机排放,油量偏小又会使燃烧噪声恶化^[3-5]。随着喷油器的使用,其油嘴喷孔会慢慢出现磨损以及控制阀的控制精度会出现偏差,使其所控制的喷射油量精度出现误差,需

要对喷油器使用过程中的喷射精度进行标定。

目前对喷油器使用过程中喷射精度的标定主要是通过测定喷油器从喷射控制信号发出到喷油器即将喷射燃油所需要的控制时间,即零油量标定^[6]。一种方法是对柴油机系统进行定期保养,在保养时将喷油器从发动机上拆卸下来,在专用的燃油试验台上进行重新标定,虽然标定精度高,但成本较高,标定间隔周期长;另一种方法是在发动机倒拖工况

收稿日期: 2010-11-08 修回日期: 2011-01-21

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2008AA11A116)

作者简介: 任卫军, 博士生, 主要从事内燃机控制策略与电控单元开发研究, E-mail: wjren@chd.edu.cn

下,采用缸压或转速检测方法进行零油量标定,优点是不用拆卸喷油器,可进行实时标定,但缸压检测需要增设缸压传感器,增加了发动机成本^[7],转速检测判断有一定误差,标定精度不高^[8]。本文对高压共轨柴油机喷油器的零油量标定进行研究,提出在发动机倒拖工况下,通过测试发动机段加速度的变化来判断是否有燃油燃烧,实现喷油器零油量标定的新方法,给出标定工况的判断准则以及标定的具体实现过程。

1 标定机理

高压共轨柴油机燃油系统中,采用的喷油器主要有电磁式和压电式,对于喷射油量的控制,主要是在一定的轨压下,通过控制喷油时间宽度来决定,喷射油量与控制时间的对应关系,依据喷油器特性通过标定建立脉谱(MAP)数据进行控制,该脉谱数据在柴油机系统出厂时已标定完成。随着喷油器使用时间的加长,由于油嘴喷孔的磨损以及控制阀的老化等原因,会使喷油器的工作特性发生变化,如图1所示。因此,需要实时地对喷油器的特性进行重新标定,测定在某一轨压下,喷油器即将打开喷油时所需要的控制时间,即喷油器的零油量标定。

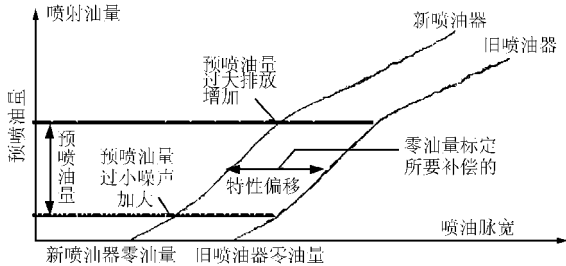


图1 喷油器工作特性变化示意图

Fig. 1 Change of injector characteristic

当发动机处于倒拖工况时,因车辆运动惯性拖动其运转,发动机的转速相对比较平稳,但从微观角度来看,当发动机处于压缩冲程时,由于需要压缩空气而作功,阻碍发动机的运转,发动机的转速就会降低,而在作功冲程,由于压缩气体的推动,发动机的转速就会升高,因此发动机的转速就会出现波动,如图2a所示^[8]。

若在此时,在发动机控制单元(ECU)的控制下,在一定轨压下有针对地向某一缸发送喷油控制脉冲,进行测试喷射,精确测量由于这次喷射所引起的转速变化,如图2b所示。若转速变化没有超过一定的阈值,说明该喷油器在该喷油时间下没有喷射燃油或喷射的燃油过少不足以引起燃烧,以一个步进量增加喷油时间,测量转速变化,若转速变化超

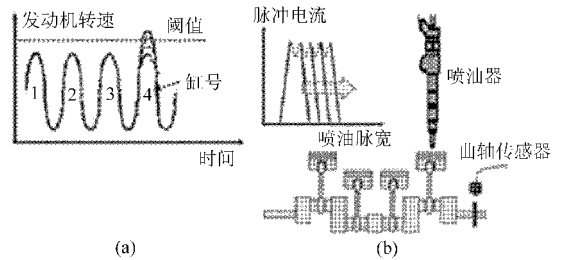


图2 零油量自学习标定原理图

Fig. 2 Principle of zero fuel auto-learning calibration

过该阈值,说明此次喷射油量足以引起在该缸内燃烧作功,再以一个较小的步进量减少喷油时间,进行测试喷射,直到转速变化又低于该阈值,则此时的喷油时间就认为是能引起该缸内喷油器即将喷油的控制时间,也就是零油量时间。因此,转速变化的精确测量是零油量标定精确度的关键。

2 标定过程

零油量自学习标定过程如图3所示:①依据软件系统开关,判断零油量标定功能是否被激活,在一个汽车驾驶循环中,只需进行一次零油量标定即可。②判断当前发动机工况是否适合进行零油量自学习标定。③由于喷油器在不同的轨压下,零油量的标定值是不同的,因此,在标定过程中,要设定不同的标定轨压值,并等待轨压控制稳定,其波动值在一定范围内。④针对当前工况,选定喷油角度,以一定的喷油时间进行测试喷射。⑤根据转速的变化,判定是否找到在当前轨压下该缸喷油器的零油量喷油时间,若没有找到,修改喷油参数再次进行测试喷射,若找到,将该轨压下的零油量标定值进行存储。

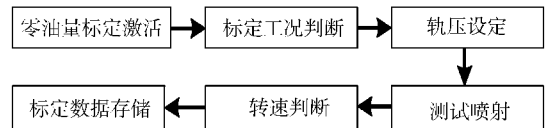


图3 零油量自学习标定过程框图

Fig. 3 Process of zero fuel auto-learning calibration

2.1 标定工况判断

为了保证零油量标定的精度,只有发动机在满足以下条件的工况下,才能进行零油量标定:①发动机处于倒拖工况下。②进气温度不能过低,高于 -20°C 。③燃油温度不能过高或过低,在 $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$ 之间。④发动机温度不能过低,高于 40°C 。⑤为了保证良好的燃烧效率,燃烧室不能完全冷却下来。⑥蓄电池的电压不能过低,应高于 10V ,即应能打开喷油器。⑦离合器没有被踩下,保证发动机由车辆惯性带动其运转。⑧车辆应在低挡位,传动比不能过高。⑨发动机的转速应在一定的范围内,在 $1\ 600\sim 2\ 600\text{r/min}$ 之间。⑩车速不能过低,应大于

一定的阈值,大于 40 km/h。此外,轨压波动不能过大,波动值不应超过 2%,并且保持稳定的时间不能过短,应大于 300 ms。

为了使标定过程在系统的某一稳定状态下进行,在满足上述条件后,系统稳定的时间应该大于一定的阈值,大于 500 ms,如果上述条件有一个不满足,则停止进行零油量标定,重新进行满足条件判断,若条件再次满足,则在上次零油量标定的基础上,继续进行。

2.2 测试喷射

发动机当前工况满足上述标定条件后,系统转入零油量标定自学习过程的测试喷射。对于高压共轨柴油机来说,燃油喷射必须是在事先定义好的参数下进行,下述 4 个参数被采用。

轨压值:在不同的共轨压力下,喷油器的零油量喷射时间是完全不同的,需要在不同的共轨压力下,对其进行标定,因此,首先要设定轨压标定点值。维持共轨压力,要消耗扭矩,共轨压力越大,需要消耗的扭矩就越大,因此,需要依据当前车速,选定起始轨压标定点。轨压标定点选定后,等待轨压到达轨压标定点,在当前轨压标定点,轨压的波动值应小于一定阈值,并且稳定一定的时间后,开始当前轨压下的零油量标定。在当前轨压下所有喷油器均标定完成后,按一定的步进值,进入下一个轨压标定点进行标定,轨压的标定值采用上升序列,步进值在低轨压时小一些,取 2 MPa,在高轨压时大一些,取 4 MPa。

发动机缸号:对于不同的喷油器,其零油量的喷射时间是不同的,因此,需要对每个喷油器进行单独标定。针对当前标定喷油器所在的缸号,依据曲轴和凸轮轴信号进行的发动机位置同步来判断。

喷射角度:燃油喷射的角度,是影响燃油燃烧效率和排放非常重要的参数。零油量标定所喷射的油量均很小,因此,可依据当前发动机转速,通过查询已标定好的喷射角度脉谱图的方法,获取喷射角度。

喷射时间:某缸喷油器开始标定时,首先初始定义一个比较小的喷油时间进行测试喷射,对发动机转速进行精确测量,如果发动机的转速变化没有超过一定的阈值,按较大的步进值(10 μ s)增加喷油时间进行测试喷射,直到发动机的转速变化超过该阈值,若在此过程中,喷油时间由于步进值的增加,已经超出一定限值,则立即停止该喷油器的零油量标定;然后在该喷油时间基础上再按较小的步进值(2 μ s)减少喷油时间进行测试喷射,直到发动机转速的变化又低于该阈值。此时该相邻两个喷油时间的均值就作为该喷油器在当前轨压下的零油量标定值。

当前一缸喷油器标定完成后,转到下一缸进行重新标定,当目前轨压标定点下所有缸的喷油器的零油量标定完成后,则轨压转到下一个轨压标定点;当所有轨压标定点均完成零油量标定后,标定任务结束,在本次汽车驾驶循环中将不再进行零油量标定。

2.3 转速判断

喷油器零油量标定中,转速变化的判断主要是通过计算发动机曲轴转速的段加速来进行的。一个内燃机循环中,曲轴旋转两周共计 720°CA,按照内燃机的缸数,把一个内燃机循环分成若干等长的段,如四缸机就分成 4 段。每个段对应某一缸的压缩和膨胀过程。当压缩到上止点附近时,曲轴转速较低,燃烧膨胀接近结束时,曲轴转速较高,因此,再把每个段分成两个等长的低子段和高子段,分别计算此段内曲轴转速的低点和高点,如图 4 所示。针对四缸内燃机,每个段的长度为 180°CA,每个子段的长度为 90°CA。

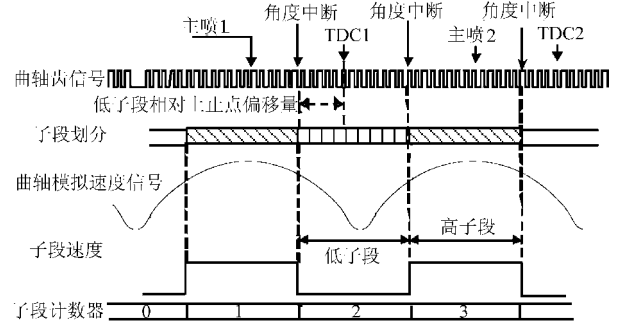


图 4 段加速度计算示意图

Fig. 4 Calculation of crankshaft segment acceleration

依据内燃机曲轴和凸轮轴信号完成正时同步后,每缸上止点对曲轴的位置就可完全确定。为扩大低子段和高子段的速度差异,最好使每缸的上止点能落在该缸所对应的低子段中间附近,让燃烧膨胀过程落在高子段的中间附近。因此,低子段的起始位置相对上止点有一定的偏移量,具体值可针对内燃机的缸数标定,对四缸内燃机,本文取 32°CA。此时每个子段的长度,每个子段相对于曲轴缺齿的起始与结束位置就被确定下来。

在每个子段的起始位置采用角度同步的静态中断方式,如图 4 所示,用内燃机电控单元中微处理器的时间处理单元(如 MPC 系列芯片的 TUP, TMS 系列芯片的 HET),对该子段运行时间进行精确测量。因子段长度已知,可计算出子段速度。对应上止点的低子段,若该子段运行的时间为 t_l ,则速度可计算为 v_l ,对应燃烧膨胀的高子段,若该子段运行时间为 t_h ,则速度计算为 v_h ,则段加速度计算公式为

$$a_{\text{seg}} = (v_h - v_l) / (t_h + t_l) \quad (1)$$

在零油量标定时,在一个内燃机循环中,只有标定缸的喷油器进行了测试喷射,其余缸未进行测试喷射,因此,首先计算未测试喷射缸的平均段加速度,以每两个内燃机循环计算一次平均值。针对四缸内燃机而言,共计6个段加速度,平均段加速度计算公式为

$$a_{avr} = \frac{\sum_{i=1}^6 a_{seg}(i)}{6} \quad (2)$$

式中 $a_{seg}(i)$ 为未进行测试喷射缸的6个段加速度中某一个。若标定缸所喷射的燃油足以引起燃烧,由于燃烧做功,则该缸段加速度 a_{zfc} 应比其余各缸的段加速度都大,与平均段加速相比,至少应增加一个阈值,本文取阈值为1.2,即

$$a_{zfc}/a_{avr} \geq 1.2 \quad (3)$$

若上述条件不满足,则说明标定缸喷油器在当前喷油时间下,没有喷射燃油或喷射燃油过少,未引起燃烧。

2.4 预喷零油量修正

当对所有轨压标定点的零油量自学习标定完成后,其标定数据会被存储到脉谱图中,在下一次ECU初始化后,各缸预喷喷油时间的零油量修正就会基于新的脉谱图数据被完成,如图5所示。

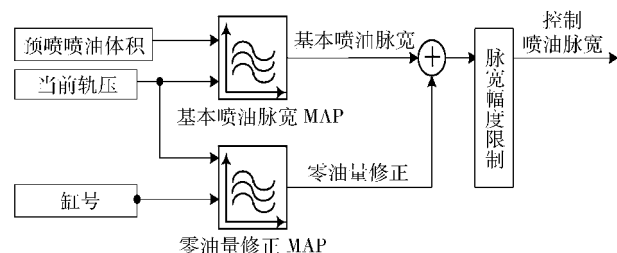


图5 预喷喷油时间的零油量修正

Fig. 5 Zero fuel quantity corrections of pilot injection time

3 实验验证

为了验证零油量自学习标定策略的可用性,首先将一组BOSCH生产的已使用近两年的4个喷油器在山东泰安某厂生产的喷油实验台上进行零油量标定,其标定数据如表1所示。

然后将这4个喷油器全部换装到整车发动机上,然后进行整车实验,在车辆倒拖工况下进行自学习零油量标定,通过标定软件读取其标定脉谱图数据,其标定数据如表2所示。

从两组测试数据来看,喷油实验台采用手动进行的零油量标定数据与在整车发动机倒拖工况下采用自学习标定的零油量数据比较接近,总体上数据平均偏差没有超过5%,说明采用自学习零油量标

定的策略是正确的、可用的。

表1 喷油实验台上喷油器零油量标定数据

Tab. 1 Zero fuel calibration data of injector in the injection bench

标定轨压 /MPa	1号喷油 器/ μs	2号喷油 器/ μs	3号喷油 器/ μs	4号喷油 器/ μs
20	557	538	540	562
30	178	180	184	176
40	156	164	152	148
50	128	120	130	124
60	96	92	100	94
70	74	78	72	76
80	48	52	46	50
90	40	42	38	40
100	32	34	30	32
110	26	28	24	26
120	22	24	20	22
130	18	20	16	20

表2 倒拖工况下自学习标定的喷油器零油量数据

Tab. 2 Zero fuel calibration data of injector by auto-learning strategy in overrun phase

标定轨压 /MPa	1号喷油 器/ μs	2号喷油 器/ μs	3号喷油 器/ μs	4号喷油 器/ μs
20	545	526	554	568
30	182	186	178	184
40	152	166	158	154
50	124	126	124	118
60	96	98	94	94
70	78	74	78	70
80	50	54	48	52
90	42	40	38	42
100	34	32	30	36
110	24	26	28	26
120	22	24	24	22
130	20	20	18	16

同时也看到,因每个喷油器的特性不同,其零油量标定数据也不同,因此,对每个喷油器的零油量标定要单独进行;在轨压20 MPa时,喷油器的零油量数据很大,因此,在一般工况时,为保证喷油的精确性,共轨压力应保持在30 MPa以上。

4 结论

(1) 在高压共轨柴油机系统中,喷油器的零油量标定值是决定预喷油量精确性的重要因素。

(2) 在发动机倒拖工况下,采用测试喷射,通过对发动机曲轴段加速度变化的判断,实现喷油器零油量自学习标定。

(3) 通过对标定条件的优化判断,保证了标定工况的稳定性,确保了标定的精度。

(4) 该自学习标定方法,无需增加发动机部件,实时性强,标定成本低。

参 考 文 献

- Hotta Yoshihiro, Inayoshi Minaji, Nakakita Kiyomi. Achieving lower exhaust emissions and better performance in an HSDI diesel engine with multiple injections[C]. SAE Paper 2005-01-0928, 2005.
- 丁晓亮,张幽彤,熊庆辉. 压电式高压共轨喷油系统喷油量波动特性试验[J]. 农业机械学报, 2010,41(7): 11~14.
Ding Xiaoliang, Zhang Youtong, Xiong Qinghui. Investigations into multiple injection fuel quantity fluctuation for high pressure common rail system with piezo-actuated injector [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 11~14. (in Chinese)
- 董伟,于秀敏,张斌,等. 预喷射对高压共轨柴油机起动特性的影响[J]. 内燃机学报, 2008, 26(4): 313~318.
Dong Wei, Yu Xiumin, Zhang Bin, et al. Effect of rail pressure on start-Up characteristic of a high-pressure common rail diesel engine [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering,2008, 26(4): 313~318. (in Chinese)
- 祝轲卿,王俊席,卢成委,等. GD-1 电控柴油机主预喷时间间隔的影响[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1): 34~37.
Zhu Keqing, Wang Junxi, Lu Chengwei, et al. Study of time gap between pilot and main injections of GD-1 electronically controlled diesel engine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1): 34~37. (in Chinese)
- 王平,宋希庚,薛冬新. 预喷射对柴油机燃烧噪声的影响[J]. 燃烧科学与技术, 2008, 14(6): 496~500.
Wang Ping, Song Xigeng, Xue Dongxin. Effect of pilot injection on combustion noise of diesel engines [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2008, 14(6): 496~500. (in Chinese)
- Steffen Digeser, Mario Erdmann, Franz-Paul Gulda. The new Mercedes Benz 3-cylinder diesel engine for smart and mitsubishi [J]. MTZ Worldwide, 2005, 66(1):2~5.
- Johan K Onig. Cylinder-pressure based injector calibration for diesel engines [D]. Sweden Stockholm: SKH Electrical Engineering, 2008.
- Bosch Automotive Diesel System Co., Ltd.. EDC B training materials [M]. Bosch Automotive Diesel System Co., Ltd., 2009.

欢迎订阅 2012 年《中国农业科学》中、英文版

《中国农业科学》中、英文版由农业部主管、中国农业科学院主办。主要刊登农牧业基础科学和应用基础科学研究论文、综述、简报等。设有作物遗传育种;耕作栽培·生理生化;植物保护;土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境;园艺;园林;贮藏·保鲜·加工;畜牧·兽医等栏目。读者对象是国内外农业科研院(所)、农业大专院校的科研、教学人员。

《中国农业科学》中文版影响因子、总被引频次连续多年居全国农业科技期刊最前列或前列位次。1999年起连续10年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”资助;2001年入选中国期刊方阵双高期刊;1999年获“首届国家期刊奖”,2003、2005年获“第二、三届国家期刊奖提名奖”;2004—2006年连续荣获第四、五届全国农业优秀期刊特等奖;2002年起7次被中信所授予“百种中国杰出学术期刊”称号;2008年获中国科技信息研究所“精品科技期刊”称号,及武汉大学中国科学评价中心“权威期刊”称号;2010年荣获“第二届中国出版政府奖期刊提名奖”。在北京大学《中文核心期刊要目总览(2008年版)》中位居“农业综合类核心期刊表”首位。2010年1月起中文版改为半月刊,将有更多最新农业科研成果通过《中国农业科学》及时报道。

《中国农业科学》英文版(Agricultural Sciences in China)2002年创刊,2006年1月起正式与国际著名出版集团 Elsevier 合作,海外发行由 Elsevier 全面代理,全文数据在 ScienceDirect 平台面向世界发行。2010年1月起英文版页码增至160页。2010年 Agricultural Sciences in China 被 SCIE 收录,拟于2012年1月更名为 Journal of Integrative Agriculture。

《中国农业科学》中文版大16开,每月1、16日出版,国内外公开发行。每期224页,定价49.50元,全年定价1188.00元,国内统一刊号:CN11-1328/S,国际标准刊号:ISSN0578-1752,邮发代号:2-138,国外代号:BM43。

《中国农业科学》英文版大16开,每月20日出版,国内外公开发行。每期160页,国内订价36.00元,全年432.00元,国内统一刊号:CN11-4720/S,国际标准刊号:ISSN1671-2927,邮发代号:2-851,国外代号:1591M。

地址:北京中关村南大街12号《中国农业科学》编辑部 邮编:100081

电话:010-82109808,82106280,82106281,82106282 传真:010-82106247

网址:www.ChinaAgriSci.com E-mail:zgnykx@mail.caas.net.cn