

文章编号:1671-8879(2017)01-0120-07

# 重型柴油机高原低温起动升速稳定性试验

楼狄明<sup>1</sup>, 阚泽超<sup>1</sup>, 曹志义<sup>2</sup>, 支怀斌<sup>2</sup>, 刘 胜<sup>2</sup>, 胡志远<sup>1</sup>

(1. 同济大学 汽车学院, 上海 201804; 2. 北方发动机研究所, 山西 大同 037036)

**摘 要:**为提高柴油机高原起动过程中的升速稳定性,以某重型高压共轨柴油机为试验样机,在高原低温环境模拟试验台上,研究重型柴油机在海拔高度 1~4 km 条件下,低温起动过程中的升速阶段稳定性问题,并通过调整喷油量和喷油提前角抑制升速阶段滞速现象的出现,改善柴油机高原低温起动性能。研究表明:环境温度为-30 ℃条件下,在海拔高度 2 km 以上,试验样机在升速阶段出现滞速,随着海拔高度的升高,滞速出现转速降低,滞速比例上升,升速阶段稳定性变差,海拔每升高 1 km,滞速出现转速降低 195 r/min,滞速比例升高 30.9%;通过适当减小喷油量或增大喷油提前角可抑制升速阶段滞速的出现,试验样机在环境温度-30 ℃、海拔高度 3 km 下,通过循环喷油量的适当降低,升速阶段滞速比例由方案 A 的 83.7%下降为方案 C 的 68.3%,滞速幅度从 75 r/min 降低为 40 r/min,滞速出现转速从 346 r/min 升高至 385 r/min;通过喷油提前角适当增加,滞速比例由方案 1 的 68.3%下降为方案 3 的 34.8%,滞速幅度从 40 r/min 降低为 24 r/min,滞速出现转速从 401 r/min 升高至 638 r/min,柴油机高原冷起动升速阶段稳定性得到改善。

**关键词:**汽车工程;重型柴油机;高原;低温;冷起动;升速阶段

**中图分类号:**U464.172;TK421

**文献标志码:**A

## Stability test of cold starting speed rising stage for heavy duty diesel engine under plateau environment

LOU Di-ming<sup>1</sup>, KAN Ze-chao<sup>1</sup>, CAO Zhi-yi<sup>2</sup>, ZHI Huai-bin<sup>2</sup>, LIU Sheng<sup>2</sup>, HU Zhi-yuan<sup>1</sup>

(1. School of Automobile, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. China North Engine

Research Institute, Datong 037036, Shanxi, China)

**Abstract:** To improve the stability of diesel engine in the speed rising stage of starting process in plateau, taking a heavy duty diesel with a high pressure common rail system as test prototype, the stability of heavy duty diesel in cold starting speed rising stage was investigated at the altitude from 1 to 4 km by a test platform with simulated environment of plateau and low temperature. Moreover, the cold starting performance of engine in the environment was improved through reducing faltering in the speed rising stage by adjusting the fuel injection mass and the advanced injection angle. The results show that faltering appears in speed rising stage of the test prototype at an altitude of over 2 km, under the temperature of -30 ℃. With the increase of altitude, the speed reduces in faltering stage, the occurrence proportion of faltering rises, and the stability in the speed rising stage becomes poor. With the rising of each 1 km in altitude, speed reduces 195 r/min,

收稿日期:2016-07-10

基金项目:国防 973 项目(613252)

作者简介:楼狄明(1963-),男,浙江东阳人,教授,工学博士,E-mail:loudiming@tongji.edu.cn。

and the proportion of faltering increases 30.9%. The occurrence of faltering in speed rising stage can be prevented by properly reducing injection mass and increasing advanced injection angle. When the cyclic injection mass is properly reduced, for the test prototype under  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  at altitude lower than 3 km, the proportion of faltering reduces from 83.7% in scheme A to 68.3% in scheme C, the range of the faltering stage reduces from 75 to 40 r/min, and the speed increases from 346 to 385 r/min. When advanced injection angle is properly increased, the proportion of faltering reduces from 68.3% in case 1 to 34.8% in case 3, the range of which reduces from 40 to 24 r/min, and the speed increases from 401 to 638 r/min. Therefore the cold starting performance of heavy duty diesel engine in the speed rising stage is improved under plateau environment. 4 tabs, 10 figs, 25 refs.

**Key words:** automobile engineering; heavy duty diesel engine; plateau environment; low temperature; cold starting; speed rising stage

## 0 引言

柴油机由于动力性、经济性等方面的优势,在商用车、工程机械领域应用广泛。然而,冷起动性能一直是制约重型柴油机环境适应性的一个重要问题。柴油机冷起动升速阶段指柴油机开始自行运转,转速持续上升至最高的阶段,升速阶段的稳定性直接影响到柴油机能否起动成功和起动质量<sup>[1-2]</sup>。苏岩通过对柴油机起动工况排放的全过程研究后认为,升速阶段的不稳定燃烧是冷起动过程排放污染物迅速增加的一个重要原因<sup>[3]</sup>。针对柴油机冷起动升速阶段稳定性问题,Kobayashi 等在四缸直列泵柴油机上进行了冷起动试验,研究了直喷柴油机起动时转速变化及相应着火特性,发现在冷起动过程中存在升速和滞速,且滞速是影响冷起动升速稳定性和起动时间的主要因素<sup>[4-5]</sup>;Henein 等研究了不同环境温度、喷油时刻及燃油成分对直喷柴油机冷起动性能的影响,结果表明,着火循环后下一循环燃烧的不稳定性或失火是升速阶段出现滞速的主要原因,且随着环境温度的降低,失火循环数量增加<sup>[6]</sup>;李德桃等对涡流室式柴油机的冷起动过程进行了研究,分析了不同型式起动孔起动过程的转速变化特性,讨论了起动初期及滞速循环的压力变化特性<sup>[7-9]</sup>;Liu 等通过建立 0 维冷起动模型,对一台直喷自然吸气的柴油机进行了数值模拟,并与试验结果进行对比,发现转速与化学反应速率不平衡是冷起动过程滞速的主要原因<sup>[10]</sup>;Han 等在不同温度下对某直列泵四缸重型柴油机进行柴油机平原冷起动试验研究,发现喷油策略与转速不匹配是出现滞速的主要原因<sup>[11-12]</sup>。然而,上述研究均针对柴油机平原低温

起动工况,高海拔的研究多集中在海拔对柴油机在低速高扭矩和高速高扭矩工况点性能和燃烧特性的影响、最佳喷油量的标定、燃用生物柴油、二级增压方案等方面,而对冷起动过程的研究未见报道<sup>[13-21]</sup>。

为此,本文利用高原冷起动模拟试验系统,对不同海拔条件下柴油机冷起动过程进行试验研究,分析高原低温环境下重型柴油机起动升速阶段的稳定性,并通过调整循环喷油量和喷油提前角,探讨抑制升速阶段滞速,改善柴油机高原冷起动升速阶段稳定性的措施。

## 1 试验系统及方案

### 1.1 试验系统

高原低温起动试验系统如下页图 1 所示。该试验系统由环境舱、柴油机试验台架及数据采集系统组成。系统中通过罗茨风机控制发动机进排气压力,可模拟 0~4 km 海拔高度,进排气压力控制范围为 60~101.3 kPa,控制精度  $\pm 0.5\text{ kPa}$ ;此外,舱内环境温度控制范围为  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,温度控制精度小于等于  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,转速采集间隔为  $6\text{ }^{\circ}\text{CA}$ 。

下页表 1 为试验用某型六缸高压共轨增压柴油机的主要技术参数。

### 1.2 试验方案

试验方案如下页表 2 所示。通过高原低温模拟试验台,模拟环境温度为  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,在海拔高度分别为 1、2、3、4 km 下,进行柴油机冷起动试验,相邻 2 次试验的时间间隔大于 6 h。

## 2 试验结果与分析

下页图 2 为柴油机起动过程示意图。本文分析

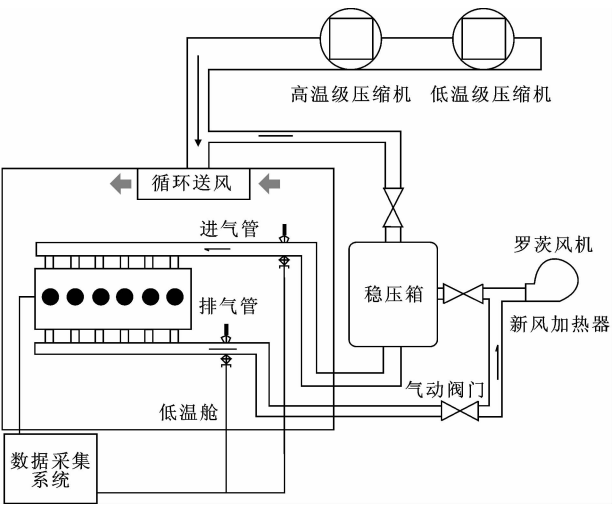


图1 高原低温起动试验系统

Fig. 1 Cold starting test system under plateau environment

表1 试验样机的主要技术参数

Tab. 1 Main technical parameters of test engine

排量/L	11.596
缸径/mm	126
行程/mm	155
额定功率/转速/(kW·(r·min <sup>-1</sup> ) <sup>-1</sup> )	247/1 900
最大扭矩/转速/(N·m·(r·min <sup>-1</sup> ) <sup>-1</sup> )	1 500/1 200±200
发动机形式	水冷,四冲程,带排气门 制动,直喷,增压中冷
汽缸排列形式	直列
进气形式	增压中冷
喷油系统	电控高压共轨系统

表2 不同海拔高度的环境参数

Tab. 2 Environmental parameters at different altitudes

海拔高度/km	进排气压力/kPa	环境温度/℃
1	89.46	-30
2	79.20	-30
3	70.10	-30
4	61.60	-30

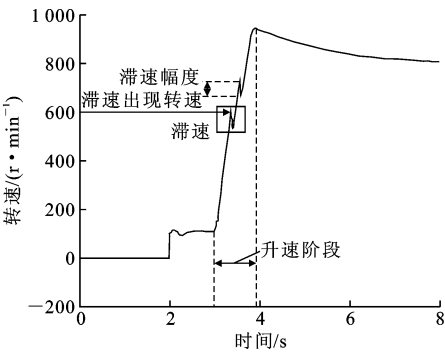


图2 柴油机冷起动过程滞速

Fig. 2 Faltering stage of diesel engine during cold starting

过程中,将柴油机冷起动过程滞速定义为起动过程

升速阶段出现的转速下降后上升的波动。

定义:滞速出现转速为升速阶段内第1次出现转速下降时刻的转速(r/min);滞速平均幅度为升速阶段多次出现的转速波动时最高点与最低点之间距离的平均值(r/min);滞速比例为滞速所占时间与升速阶段总时间的比值(%)。

2.1 海拔高度对柴油机升速稳定性的影响

图3为环境温度为-30℃时,在海拔高度分别为1、2、3、4 km下试验样机起动转速随时间的变化规律。从图3可以看出,海拔高度对柴油机冷起动升速阶段稳定性有明显影响。海拔高度为1 km时,冷起动升速阶段转速迅速上升,0.5 s后达到最高转速954 r/min,起动过程中未出现滞速;海拔高度为2 km时,柴油机转速上升至575 r/min后出现滞速,滞速平均幅度为39 r/min,1.28 s后达到最高转速933 r/min;海拔高度为3 km时,柴油机转速上升至346 r/min后即出现滞速,滞速平均幅度为75 r/min,升速阶段时间延长至6.8 s,最高转速为923 r/min;海拔高度为4 km时,柴油机起动过程滞速出现进一步提前,转速上升至199 r/min即出现滞速,滞速平均幅度为62 r/min,升速阶段时间进一步延长至8.7 s,最高转速为850 r/min。

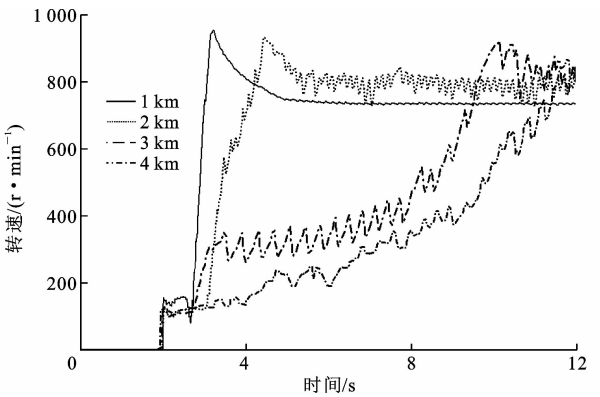


图3 不同海拔高度下柴油机冷起动过程

Fig. 3 Diesel engine cold starting at different altitudes

下页图4为不同海拔高度下柴油机滞速出现的规律。从图4可以看出,随着海拔高度的升高,滞速出现转速降低,而滞速所占转速上升阶段的比例迅速上升;海拔每升高1 km,滞速出现转速平均降低195 r/min,滞速比例平均升高30.9%。

由图3、图4可看出,海拔2 km以上,升速阶段出现滞速;当海拔升高时,柴油机起动过程中滞速出现转速降低,滞速比例升高,升速阶段稳定性变差。

2.2 喷油参数对高原起动升速稳定性的影响

喷油参数是控制柴油机冷起动过程的关键因

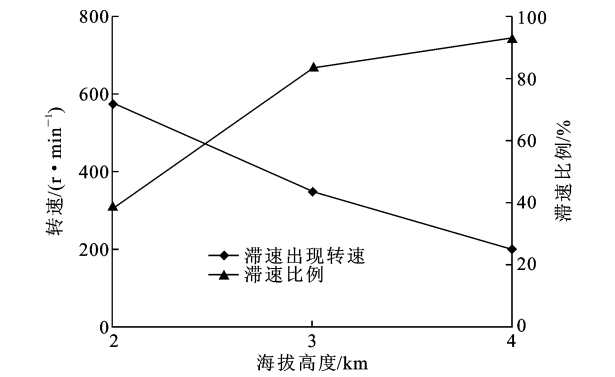


图4 不同海拔高度下柴油机滞速出现的规律

Fig. 4 Faltering stages characteristics of diesel engine at different altitudes

素。Zhong 等通过调整喷油提前角、循环喷油量等参数,改善了不同环境温度下柴油机的平原冷起动性能<sup>[22-25]</sup>。为探索高原条件下抑制柴油机冷起动升速阶段滞速的方法,本文对柴油机不同喷油参数下的高原冷起动过程进行了试验研究。

2.2.1 循环喷油量对高原起动升速稳定性的影响

柴油机冷起动过程瞬时转速的调整主要通过循环喷油量实现,为研究循环喷油量对滞速的影响,针对循环喷油量设计了4种试验方案,见表3、图5。

表3 不同循环喷油量试验方案	
Tab. 3 Test schemes for different cyclic fuel injection mass	
试验方案	描述
方案A (原机)	转速120~165 r/min时循环喷油量为110 mg,转速165~665 r/min时循环喷油量随转速的升高率为2.28 (mg·s)/r,转速665~800 r/min时循环喷油量为129 mg
方案B	转速120~165 r/min时循环喷油量为110 mg,转速165~665 r/min时循环喷油量随转速的升高率为1.68 (mg·s)/r,转速665~800 r/min时循环喷油量为124 mg
方案C	转速120~165 r/min时循环喷油量为110 mg,转速165~665 r/min时循环喷油量随转速的升高率为1.08 (mg·s)/r,转速665~800 r/min时循环喷油量为119 mg
方案D	转速120~165 r/min时循环喷油量为110 mg,转速165~665 r/min时循环喷油量随转速的升高率为2.88 (mg·s)/r,转速665~800 r/min时循环喷油量为134 mg

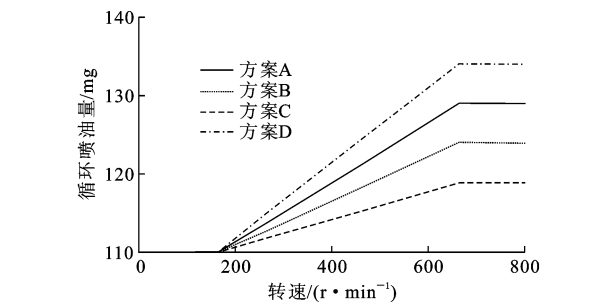


图5 海拔3 km,环境温度-30℃时的循环喷油量

Fig. 5 Cyclic fuel injection mass at 3 km and -30℃

图6为海拔高度3 km、环境温度-30℃时,4种循环喷油量方案下柴油机冷起动过程中转速随时间的变化规律。

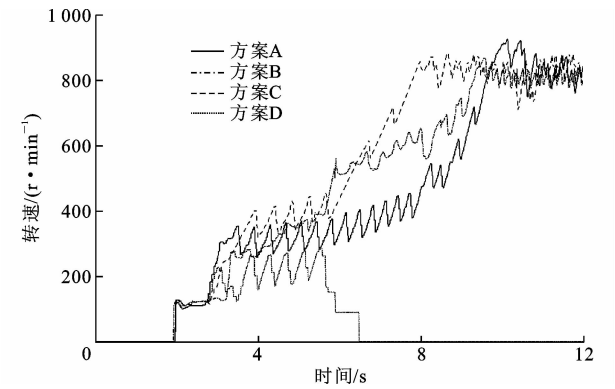


图6 循环喷油量对高原冷起动过程的影响

Fig. 6 Effect of cyclic fuel injection mass on cold starting at plateau

从图6可以看出,循环喷油量采用方案A时,柴油机转速上升至346 r/min后出现滞速,滞速平均幅度为75 r/min;若减少循环喷油量(方案B),柴油机在转速378 r/min时出现滞速,滞速幅度为54 r/min;当循环喷油量进一步减少时(方案C),滞速出现转速上升至401 r/min,滞速幅度下降至40 r/min。可以看出,合理减少循环喷油量,可以抑制柴油机冷起动过程中滞速的出现。而当循环喷油量增加时(方案D),柴油机转速上升至300 r/min时即出现滞速,且滞速幅度达到90 r/min。

下页图7为不同循环喷油量方案下柴油机滞速出现的规律。从图7可看出,随着循环喷油量的减小,升速阶段滞速时间缩短,升速时间稍有增加,滞速比例降低;方案C与原机对比,滞速时间缩短3.32 s,升速时间增加0.31 s,滞速比例从83.7%下降至68.3%。这是由于随着循环喷油量的减小,柴油机起动过程中转速的升高率降低,使得以曲轴转角计的着火延迟期增速减缓,抑制了着火不稳定及失火的出现,升速时间增长,缸内热环境改善,时间计着火延迟缩短,导致滞速出现转速升高,滞速比例下降。

当循环喷油量增加时(方案D),柴油机起动过程中转速的升高率升高,以曲轴转角计的着火延迟期迅速升高,使柴油着火时刻远离压缩上止点,缸内温度、压力低,无法达到燃油的自燃点,导致柴油机出现连续失火,滞速幅度增大。

2.2.2 喷油提前角对高原起动升速稳定性的影响

除循环喷油量外,喷油提前角是决定柴油机着火延迟的关键因素之一,因此本文在循环喷油量为

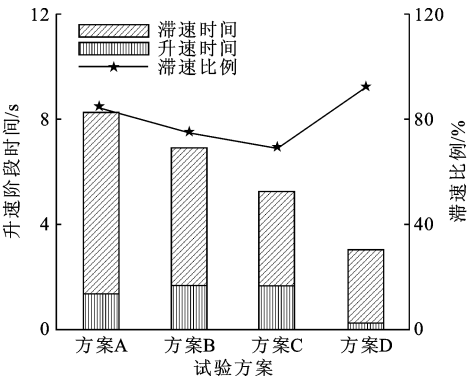


图 7 循环喷油量对滞速的影响

Fig. 7 Effect of cyclic fuel injection mass on faltering stages

方案 C 的基础上,对喷油提前角也设计了 4 种试验方案,如表 4、图 8 所示。

表 4 不同喷油提前角试验方案

Tab. 4 Different injection timings test scheme

试验方案	描述
方案 1	转速 120~400 r/min 时喷油提前角为 5 °CA BTDC, 转速 400~800 r/min 时喷油提前角随转速的升高率为 0.45 (°CA·s)/r
方案 2	转速 120~370 r/min 时喷油提前角为 5 °CA BTDC, 转速 370~800 r/min 时喷油提前角随转速的升高率为 0.7 (°CA·s)/r
方案 3	转速 120~330 r/min 时喷油提前角为 5 °CA BTDC, 转速 330~800 r/min 时喷油提前角随转速的升高率为 0.9 (°CA·s)/r
方案 4	转速 120~400 r/min 时喷油提前角为 5 °CA BTDC, 转速 400~800 r/min 时喷油提前角随转速的升高率为 0.15 (°CA·s)/r

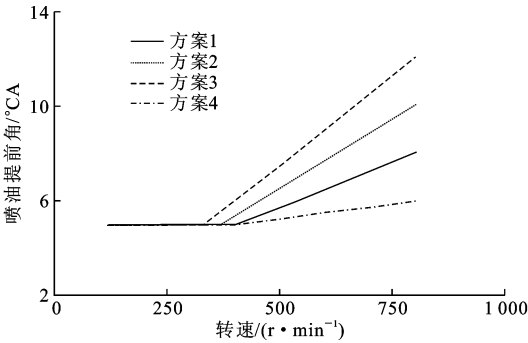


图 8 海拔 3 km,环境温度-30 °C 时的喷油提前角

Fig. 8 Injection timing at 3 km and -30 °C

图 9 为海拔高度 3 km、环境温度-30 °C 时,4 种喷油提前角方案下柴油机起动过程中转速随时间的变化规律。从图 9 中可以看出:喷油提前角采用方案 1 时,柴油机转速上升至 401 r/min 后出现滞速,滞速平均幅度为 40 r/min;若喷油提前角增加(方案 2),柴油机在转速 544 r/min 时出现滞速,滞

速幅度为 32 r/min;当喷油提前角进一步增大时(方案 3),滞速出现转速上升至 638 r/min,滞速幅度下降至 24 r/min。可以看出,合理地增大喷油提前角,可以抑制柴油机冷起动过程中滞速的出现,降低滞速幅度。而当喷油提前角减小(方案 4),冷起动升速滞速出现转速为 403 r/min 时,且滞速幅度达到 53 r/min 时,起动性能变差。

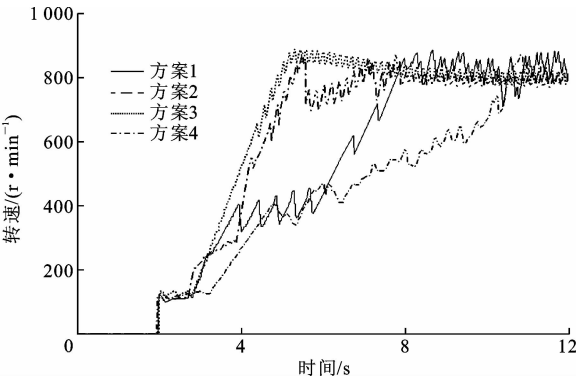


图 9 喷油提前角对高原冷起动过程的影响

Fig. 9 Effect of injection timing on cold start at plateau

图 10 为不同喷油提前角方案下柴油机滞速出现的规律。由图 10 可见,随着喷油提前角的增大,升速阶段滞速时间缩短,升速时间变化幅度小,滞速比例降低。方案 3 与方案 1 对比时,滞速时间缩短 2.69 s,滞速比例从 68.3%下降至 34.8%。这是由于适当的提前喷油有利于燃油的雾化蒸发,故可改善高原环境下的燃烧,避免着火延迟至膨胀行程中,抑制滞速的出现。

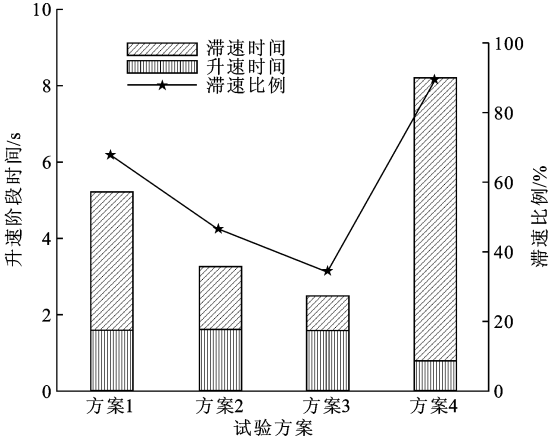


图 10 喷油提前角对滞速的影响

Fig. 10 Effect of injection timing on faltering stages

当喷油提前角减小时(方案 4),由于喷油较晚,着火时刻延后至压缩止点之后,缸内的压力温度、介质密度降低,导致后燃严重,甚至出现失火现象,使得滞速比例增大。

### 3 结 语

(1)环境温度 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,在海拔高度 $2\text{ km}$ 以上的试验样机在升速阶段出现滞速,升速阶段稳定性变差,随着海拔高度的升高,滞速出现转速降低,滞速所占转速上升阶段的比例迅速上升,从海拔高度 $1\text{ km}$ 时的 $0$ 升高到海拔高度 $4\text{ km}$ 时的 $92.8\%$ 。

(2)循环喷油量的适当减小可抑制高原冷起动升速阶段滞速的出现。环境温度为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、海拔高度为 $3\text{ km}$ 时,循环喷油量降低,转速升高率降低,滞速比例由方案 A 的 $83.7\%$ 下降为方案 C 的 $68.3\%$ ,滞速幅度从 $75\text{ r/min}$ 降低为 $40\text{ r/min}$ ,滞速出现转速从 $346\text{ r/min}$ 升高至 $401\text{ r/min}$ 。

(3)适当地增大喷油提前角可抑制高原冷起动升速阶段滞速的出现。环境温度为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、海拔高度为 $3\text{ km}$ 时,喷油提前角增加,滞速比例由方案 1 的 $68.3\%$ 下降为方案 3 的 $34.8\%$ ,滞速幅度从 $40\text{ r/min}$ 降低为 $24\text{ r/min}$ ,滞速出现转速从 $401\text{ r/min}$ 升高至 $638\text{ r/min}$ 。

(4)通过循环喷油量的适当减小,喷油提前角的适当增大,可抑制柴油机高原冷起动升速阶段滞速的出现,改善高原起动性能,但柴油机高原低温起动过程中滞速现象的出现机制还需进一步探讨。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] PAYRI F, BROATCH A, SALAVERT J M, et al. Investigation of diesel combustion using multiple injection strategies for idling after cold start of passenger-car engines[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2010, 34(7): 857-865.
- [2] CHARTIER C, ARONSSON U, ANDERSSON Ö, et al. Effect of injection strategy on cold start performance in an optical light-duty DI diesel engine[J]. SAE Paper 2009-24-0045.
- [3] 苏 岩. 柴油机起动工况燃烧和排放的逐循环和全过程研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.  
SU Yan. Study of diesel engine combustion and emission under start conditions based on cycle-by-cycle control[D]. Changchun: Jilin University, 2007.
- [4] KOBAYASHI A, KURASHIMA A, ENDO S. Analysis of cold start combustion in a direct injection diesel engine[J]. SAE Paper 840106.
- [5] KOBAYASHI A, ENDO S, SOMEYA T. Analysis of the combustion phenomena under the cold starting condition and the improvement of cold startability by

- a programmed control system[J]. SAE Paper 845013.
- [6] HENEIN N A, ZAHDEH A R, YASSINE M K, et al. Diesel engine cold starting: combustion instability[J]. SAE Paper 920005.
- [7] 李德桃, 朱章宏, 贾大锄, 等. 涡流室式柴油机冷起动过程的若干特征[J]. 内燃机学报, 1992, 10(4): 359-363.  
LI De-tao, ZHU Zhang-hong, JIA Da-chu, et al. Cold start behavior of a swirl chamber diesel engine[J]. Transactions of CSICE, 1992, 10(4): 359-363.
- [8] 李德桃. 柴油机冷起动的基础研究和改善措施[M]. 北京: 科学出版社, 1998.  
LI De-tao. Fundamental research and improvement measures of diesel engine during cold start [M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [9] 朱章宏, 李德桃, 贾大锄, 等. 涡流室式柴油机起动孔作用机理的进一步探索[J]. 内燃机工程, 1992, 13(2): 28-31, 86.  
ZHU Zhang-hong, LI De-tao, JIA Da-chu, et al. A further study on the functions of starting throat in swirl chamber diesel engine[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 1992, 13(2): 28-31, 86.
- [10] LIU H Q, HENEIN N A, BRYZIK W. Simulation of diesel engines cold-start [J]. SAE Paper 2003-01-0080.
- [11] HAN Z P, HENEIN N, NITU B, et al. Diesel engine cold start combustion instability and control strategy [J]. SAE Paper 2001-01-1237.
- [12] HAN Z P, HENEIN N A, BRYZIK W. A new ignition delay formulation applied to predict misfiring during cold starting of diesel engines[J]. SAE Paper 2000-01-1184.
- [13] WANG X, GE Y S, YU L X, et al. Effects of altitude on the thermal efficiency of a heavy-duty diesel engine [J]. Energy, 2013, 59: 543-548.
- [14] SZEDLMAYER M, KWEON C B M. Effect of altitude conditions on combustion and performance of a multi-cylinder turbocharged direct-injection diesel engine[J]. SAE Paper 2016-01-0742.
- [15] BENJUMEA P, AGUDELO J, AGUDELO A. Effect of altitude and palm oil biodiesel fuelling on the performance and combustion characteristics of a HSDI diesel engine[J]. Fuel, 2009, 88(4): 725-731.
- [16] LI H L, SHI L, DENG K Y. Development of turbocharging system for diesel engines of power generation application at different altitudes [J]. Journal of the Energy Institute, 2015, 89(4): 1-11.
- [17] 刘瑞林, 周广猛, 李 骏, 等. 高压共轨柴油机高海拔

- 全负荷标定[J]. 燃烧科学与技术, 2012, 18(3): 199-205.
- LIU Rui-lin, ZHOU Guang-meng, LI Jun, et al. Calibration of common-rail diesel engine at high altitudes under full load operating conditions[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2012, 18(3): 199-205.
- [18] 高为群, 韩才林. 调整参数对柴油机性能的影响[J]. 筑路机械与施工机械化, 2012, 29(6): 82-85.
- GAO Wei-qun, HAN Cai-lin. Impact of adjusting parameters on performance of diesel engine[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2012, 29(6): 82-85.
- [19] 朱一德. 进气系统参数对柴油发动机性能的影响分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 2012, 29(10): 89-92.
- ZHU Yi-de. Influence of intake system parameters on performance of diesel engine[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2012, 29(10): 89-92.
- [20] 黄勇成, 田威, 王井山, 等. 直喷式柴油机燃用生物柴油-正丁醇混合燃料时的性能与排放[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2016, 36(2): 105-111.
- HUANG Yong-cheng, TIAN Wei, WANG Jing-shan, et al. Performance and emissions of a direct injection diesel engine operating on biodiesel-n-butanol blends[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2016, 36(2): 105-111.
- [21] 韩志强, 仁川江, 曾东建, 等. 高压共轨柴油机怠速循环波动特性[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2016, 36(5): 95-102.
- HAN Zhi-qiang, REN Chuan-jiang, ZENG Dong-jian, et al. Cycle variations characteristic of high pressure common rail diesel engine at idle condition[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2016, 36(5): 95-102.
- [22] ZHONG L R, HENEIN N A, BRYZIK W. Simulation-based cold-start control strategy for a diesel engine with common rail fuel system at different ambient temperatures[J]. SAE Paper 2007-01-0933.
- [23] HAN Z P, HENEIN N A, BRYZIK W. A new ignition delay formulation applied to predict misfiring during cold starting of diesel engines[J]. SAE Paper 2000-01-1184.
- [24] DINESH K B, MURUGESAN L, NAGARAJAN M, et al. Experimental investigation of six cylinder turbo-charged DI-diesel engine cold startability[J]. SAE Paper 2014-01-1372.
- [25] SAKUNTHALAI R A, XU H M, LIU D, et al. Impact of cold ambient conditions on cold start and idle emissions from diesel engines[J]. SAE Paper 2014-01-2715.
- ~~~~~
- (上接第 99 页)
- [15] DION F, HELLINGA B. A rule-based real-time traffic responsive signal control system with transit priority: application to an isolated intersection[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2002, 36(4): 325-343.
- [16] LIU H C, SKABARDONIS A, ZHANG W B. A dynamic model for adaptive bus signal priority[R]. Berkeley: University of California, Berkeley, 2003.
- [17] 王正武, 夏利民, 罗大庸. 单交叉口自适应公交优先控制[J]. 中国公路学报, 2010, 23(4): 84-90.
- WANG Zheng-wu, XIA Li-min, LUO Da-yong. Adaptive transit priority control at isolated intersection[J]. China Journal of Highway and Transport, 2010, 23(4): 84-90.
- [18] LI M, YIN Y F, ZHANG W B, et al. Modeling and implementation of adaptive transit signal priority on actuate control systems[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2011, 26(4): 270-284.
- [19] ABDY Z R, HELLINGA B R. Analytical method for estimating the impact of transit signal priority on vehicle delay[J]. Journal of Transportation Engineering, 2011, 137(8): 589-600.
- [20] LIU H C, ZHANG J, CHENG D X. Analytical approach to evaluating transit signal priority[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2008, 8(2): 48-57.
- [21] GARROW M, MACHEMEHL R. Development and evaluation of transit signal priority strategies[R]. Austin: The University of Texas at Austin, 1997.
- [22] 李曙光, 许宏科. 具有物理排队的多模式动态网络加载问题研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2009, 9(1): 56-61.
- LI Shu-guang, XU Hong-ke. Physical queue discrete-time dynamic network loading with multiple vehicle types[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, 9(1): 56-61.