

Improved Fuel Saving Strategy of Engine Start-Stop System under Operation Condition of the Urban Road

Cuizhu Bao¹, Hailin Kui¹, Mingda Li^{1,2}, Hongxue Li¹

¹College of Transportation, Jilin University, Changchun Jilin

²School of Mechatronics Engineering, Changchun Institute of Technology, Changchun Jilin

Email: baocuizhu@163.com, khl69@163.com

Received: Sep. 7th, 2017; accepted: Sep. 21st, 2017; published: Sep. 28th, 2017

Abstract

With the vehicle fuel consumption limits becoming more and more strict, many vehicles are equipped with an idle start-stop system to reduce fuel consumption and meet standards. However, analysis of real urban running conditions shows that, vehicle frequently stop during early morning peak and evening peak hours and frequently start and stop engine, what resulting in not only bad driving comfort but also a loss of fuel economy. Therefore, according to the analysis of real urban driving cycle, the improved start-stop control strategy, which determines to shut down the engine or not based on cycle type determination, is proposed. The proposed improved start-stop control strategy could decrease frequent start-stop and achieve better fuel economy. Fuel saving analysis of the real urban driving condition showed that improved start-stop strategy can get better fuel economy.

Keywords

Start-Stop System, Idle Time, Control Strategy, Traffic Efficiency

城市道路工况下改进的发动机起停节油控制策略

包翠竹¹, 隗海林¹, 李明达^{1,2}, 李洪雪¹

¹吉林大学, 交通学院, 吉林 长春

²长春工程学院, 机电工程学院, 吉林 长春

Email: baocuizhu@163.com, khl69@163.com

收稿日期：2017年9月7日；录用日期：2017年9月21日；发布日期：2017年9月28日

摘要

随着车辆油耗限值标准越来越严格，为了降低燃油消耗率、满足标准，很多车辆装有怠速起停系统。但实际城市运行工况下的分析表明，在早晚高峰时期车辆频繁地短时怠速停车，导致起停系统频繁起停，这不仅会影响驾驶舒适性更不能实现起停系统应有的节油效果。因此对实际工况的行驶情况进行分析，找到早晚高峰等频繁短时怠速停车的工况特点，提出了改进的起停控制策略。改进方法先根据工况的特点判断工况类别，再判断是否需要关闭发动机。所提出的改进的控制策略，能够有效地减少起停系统在早晚高峰时段的频繁起停，提升起停系统的节油效果。实际行驶工况的节油分析表明改进后的起停系统确实能够实现更好的节油效果。

关键词

起停系统，怠速时间，控制策略，节油效果

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

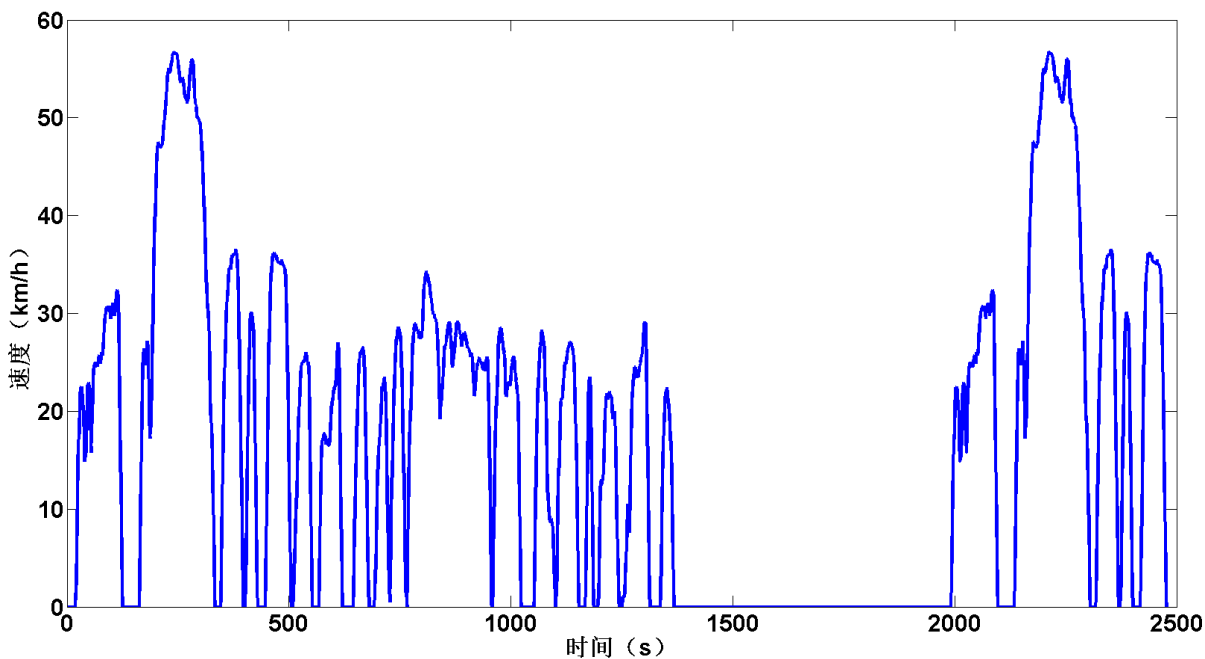
1. 引言

随着汽车保有量的持续快速增长，交通拥堵问题日益严重，道路上行驶的车辆频繁处于怠速状态。为了减少怠速时的油耗，很多研究机构和汽车厂商都致力于研究车辆怠速起停系统，以期通过在车辆怠速时关闭发动机来减少车辆怠速时的油耗[1] [2] [3]。美国西南研究院的 Bishop J 对怠速起停系统具体的机械结构进行了研究，并在美国的 FTP 工况和城际公路工况上进行了油耗测试，燃油经济性分别提升了 5.3% 和 4.0% [1]。上海交通大学的李聪聪等人分析了起停系统对微混动车辆性能的影响，在欧洲的 NEDC (New European Driving Cycle, NEDC) 工况下燃油经济性能提升 5.04%，ECE (Economic Commission for Europe, ECE) 工况下能达到 8.61% [4]。陈汉玉等人介绍了发动机智能起停系统工作原理、结构和控制策略以及发动机启动过程的受力情况，并在 NEDC 工况下进行了测试，百公里油耗比没有配备起停系统的传统汽车油耗降低 3.63% [5]。逯家鹏等人制定了 BSG 起停系统关闭控制策略、发动机停机控制策略、发动机自动启动控制策略，实车道路模拟 NEDC 综合工况 BSG 系统节油 5% [6]。刘巨江对起停控制策略进行研究，并采用起停技术进行了整车的 NEDC 循环试验，采用起停技术后车辆平均节油可以降低 3% [7]。Yang L. 为了优化发动机的起停控制策略，提出了模糊逻辑控制策略，通过 AVL CRUISE 和 MATLAB/SIMULINK 的联合仿真证明，油耗比传统控制策略减少 4.6% [8]。Chen H. 对控制策略进行了研究，在 NEDC 工况下，仿真实验的节油率能够达到 3.52%，实验测试的节油率能够达到 3.63% [9]。

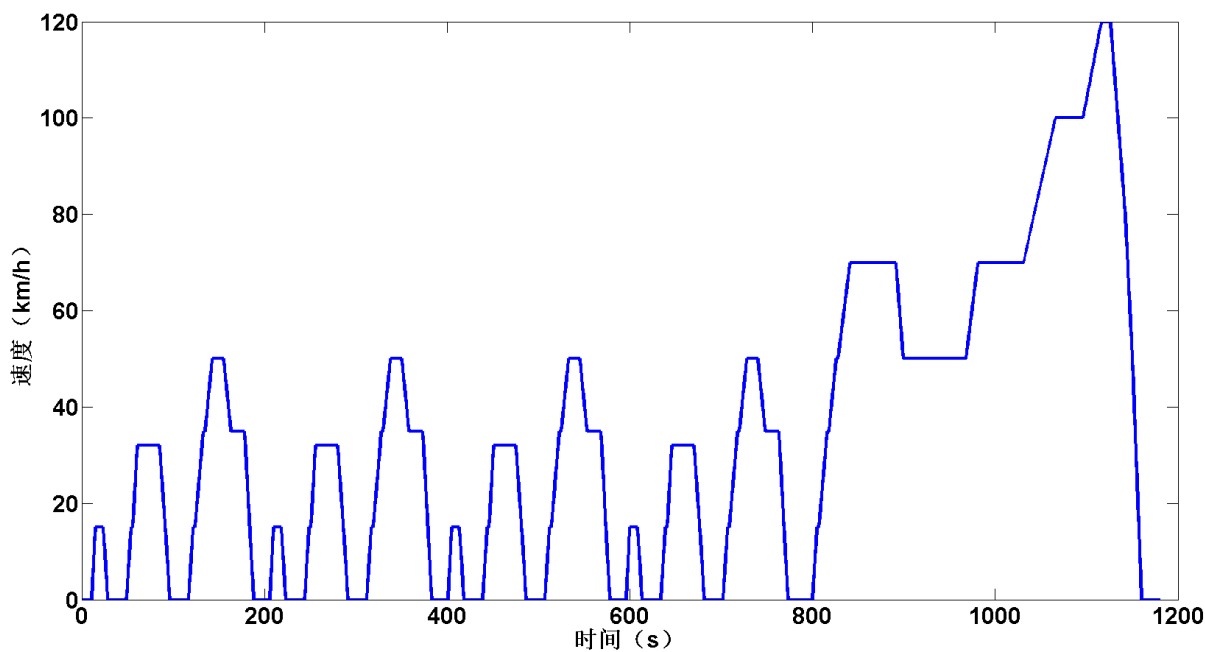
目前起停系统都是在如 NEDC、ECE 以及 FTP 等标准工况下进行油耗测试，但是标准工况和实际工况有着明显不同，尤其是在早晚高峰时段。在实际运行工况中车辆频繁地处于短时怠速状态，短时怠速使得起停系统并不能起到预期的节油效果。针对这一问题，对起停策略进行优化，提出了智能起停控制策略，在实际运行工况下进行油耗仿真分析，所提出的策略能够起到更好的节油效果。

2. 模态工况与城市道路运行工况对比分析

国外在对起停系统进行评价时经常使用 FTP、NEDC 等模态工况。FTP-75 工况是美国的瞬时工况，如图 1(a)所示，整个运转循环分为三个部分，第一部分为冷启动阶段，耗时 505 s；第二部分为瞬态阶段，耗时 864 s；随后熄火浸车 9~11 min，再进行第三部分，热启动阶段，耗时 505 s，全程时长约为 2474 s。NEDC 工况是欧洲模态工况，如图 1(b)所示，由 ECE 工况和 EUDC 工况组成，其中 ECE 工况为市内运行工况，由四个相同的工况循环组成，每个循环持续 195 s，而 EUDC 工况是郊区工况，持续时间 400 s。图 1(c)、图 1(d)



(a) FTP-75 工况



(b) NEDC 工况

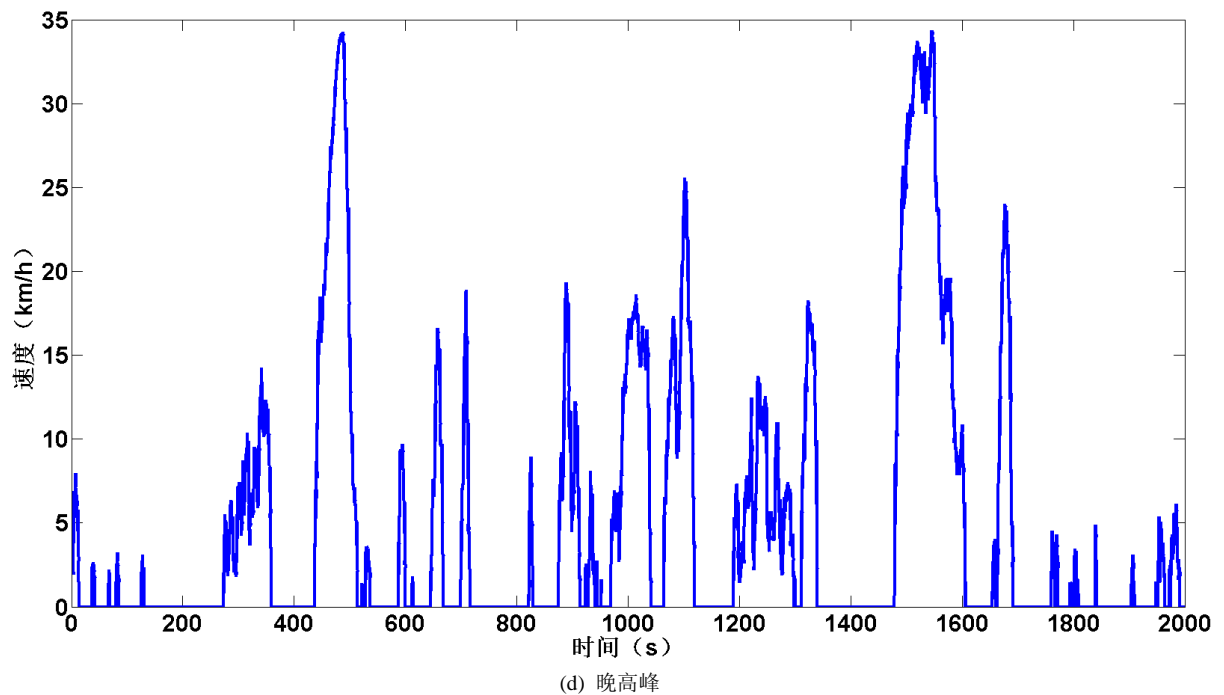
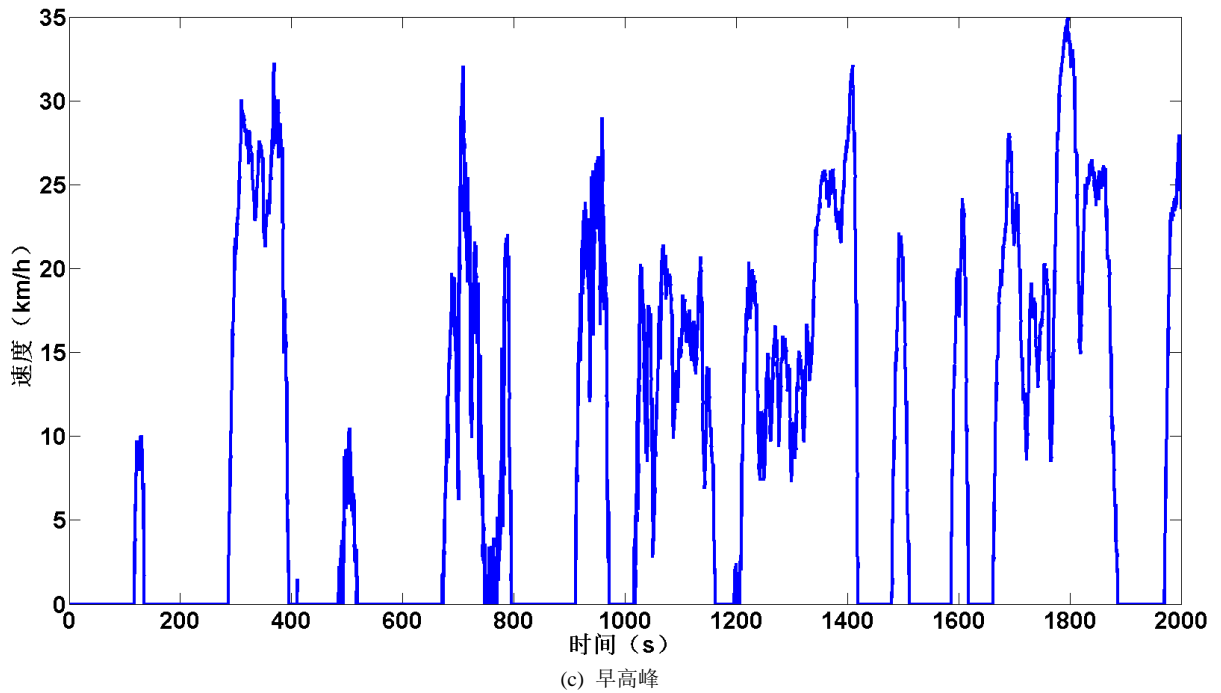


Figure 1. Comparison of modal cycle and actual driving cycle

图 1. 模态工况与实际工况对比图

为城市早高峰和晚高峰实际行驶工况。如图 1 所示，FTP-75 工况和 NEDC 工况相比，FTP-75 工况的怠速时间比 NEDC 工况的怠速状态出现的更频繁，整体怠速时间更长。但与实际工况相比，早高峰、晚高峰时段的实际城市道路工况的怠速次数明显增加，平均每次怠速时间明显较短。模态工况与实际工况的怠速对比分析如表 1 所示。 N_{idle} 表示起停的次数， P_{idle} 表示怠速时间占总行程时间的比例， V_{mean} 表示平均速度， T_{idle} 表示平均怠速时间长度。表 1 中早、晚高峰和平峰工况的时间长度与 FTP 工况完全相同，表 2 中早、晚高

峰和平峰工况的时间长度与 NEDC 工况完全相同。

如表 1, 表 2 所示, 实际的城市工况下, 怠速时间占总行程时间的比例明显增多, 平均速度明显下降, 早高峰、晚高峰情况下的平均怠速时间长度明显较短均小于 10 s。设定小于 10 s 的怠速工况为短时怠速工况, 大于 10 s 的怠速工况为长时怠速工况, 则模态工况与实际工况下的短时怠速分布如图 2 所示。图 2 中, 模态工况的短时怠速分布较少, NEDC 模态工况完全没有短时怠速分布; 实际城市怠速工况中, 几乎近 70% 及以上的工况为短时怠速工况, 尤其是早高峰期间 80% 以上的工况为短时怠速工况。频繁的短时怠速工况, 使得自动起停系统频繁地关闭启动发动机, 加剧了设备的磨损; 同时短时怠速工况关闭发动机使得节油效果变差。以一台排量 1,489 mL、直列 4 缸 16 气门的发动机为例, 怠速油耗是 0.18 mL/s, 表明该发动机热启动一次的油耗为 1.2 mL, 怠速时间 6.7s 以上才能节约燃油消耗[10]。

3. 智能起停控制策略

行驶工况的拥挤程度不同, 汽车的怠速分布情况不同。在城市上下班出行的早高峰和晚高峰阶段, 平均速度普遍偏低, 频繁处于短时怠速状态, 这种时候应该减少发动机关闭的次数。很多研究机构和汽车开发厂商都通过速度来判断当前行驶工况的拥挤程度。但通过表 1 可以发现, 通过速度来判断这种方法是不准确的, 在有些情况下, 虽然整体速度偏慢, 但是交通依然畅通, 短时怠速停车较少。为了能够更准确地判断当前行驶工况的拥挤程度, 除了根据 5 分钟内的平均速度外, 还考虑了 30 分钟内的平均怠速时间长度。具体的起停控制流程如图 3 所示, 在行驶过程中不间断地采集并统计车辆行驶数据, 统计当前时刻前 5 分钟的平均速度和前 30 分钟的平均怠速时间长度; 当制动踏板踩下时, 如果平均速度 $V_{mean} \leq 15$, 平均怠速时间长度 $T_{idle_mean} \leq 10$, 则说明当前处于拥堵状态无需关闭发动机, 否则关闭发动机; 每次判断结束后将开始下一循环重复这一过程。

4. 实验及分析

4.1. 油耗仿真模型

为了分析改进后的起停系统的节油效果, 建立油耗仿真模型, 并通过油耗仿真模型分析改进前后的油耗。在城市道路工况下, 坡度阻力忽略不计, 在汽车行驶过程中作用在驱动轮上的有效功率为

Table 1. Idle cycle analysis of FTP and actual driving cycle

表 1. FTP 模态工况与实际工况的怠速分析

$T_{section}$	N_{idle}	P_{in} (%)	V_{mean} (km/h)	T_{idle} (s)
FTP	23	19.05%	21.21	15.52
城市早高峰	85	45.04%	24.50	9.93
城市晚高峰	135	43.13%	24.47	6.16
城市平峰	41	41.54%	27.77	18.99

Table 2. Idle cycle analysis of NEDC and actual driving cycle

表 2. NEDC 模态工况与实际工况的怠速分析

$T_{section}$	N_{idle}	P_{in} (%)	V_{mean} (km/h)	T_{idle} (s)
NEDC	14	24.83%	33.64	20.93
城市早高峰	76	58.00%	18.84	9.01
城市晚高峰	87	54.17%	25.79	7.62
城市平峰	25	51.09%	22.00	24.12

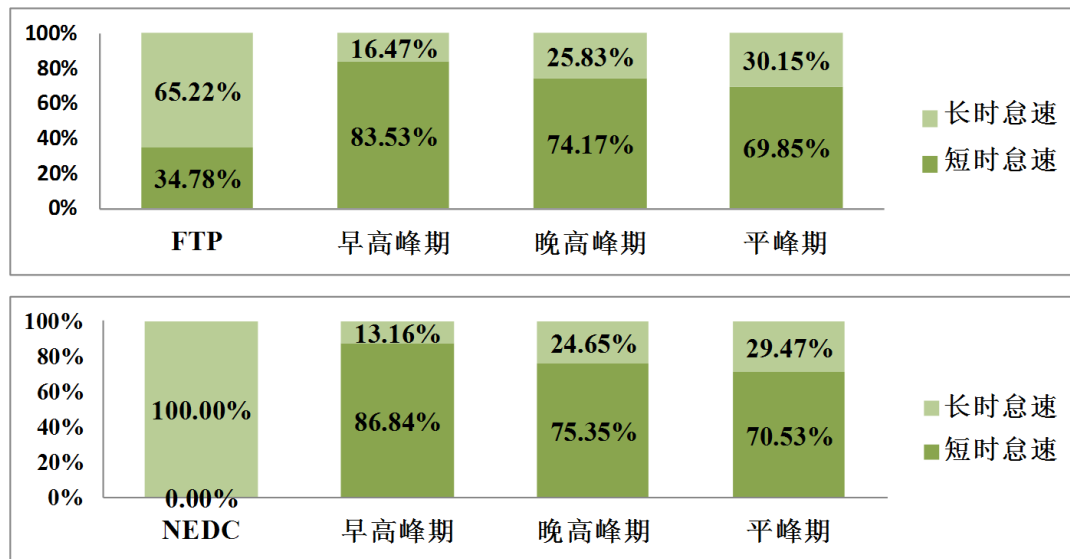


Figure 2. Comparison of short-time idle distribution between modal and actual driving cycle

图 2. 模态工况与实际工况短时怠速分布对比图

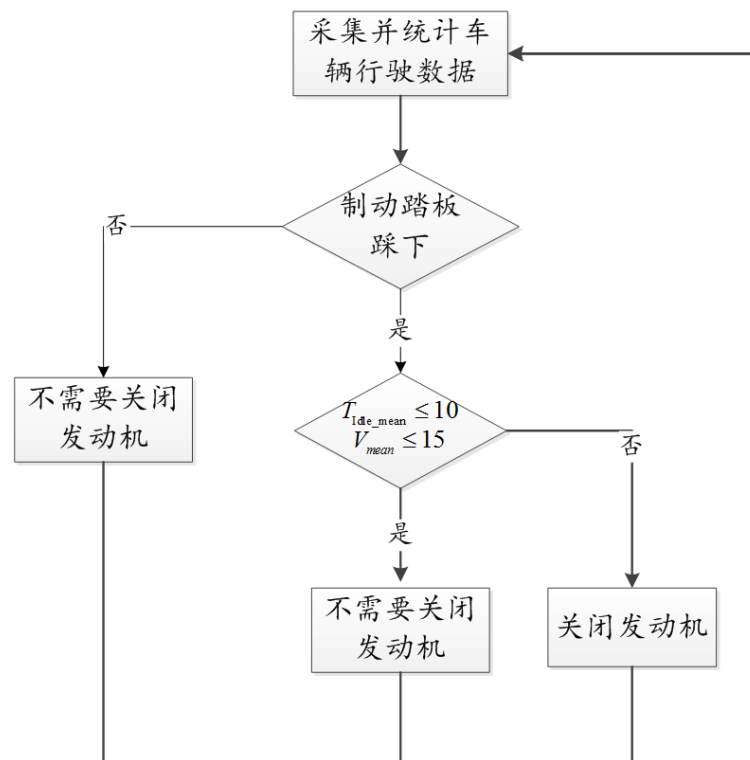


Figure 3. Flow chart of start-stop control

图 3. 起停控制流程图

$$\begin{aligned}
 P &= Fv \\
 &= (F_f + F_w)v + F_j v \\
 &= Gf \int_0^T v dt + \frac{C_w}{21.15} \int_0^T v^3 + \delta m \int_0^T \dot{v} v dt
 \end{aligned} \tag{1}$$

其中, F 为所受到阻力的总和, F_f 为滚动阻力, F_w 为空气阻力, F_j 为加速阻力, v 为行驶速度, G 为汽车车轮负荷, 作用于汽车上的重力, m 为汽车质量, f 为滚动阻力系数, A 为迎风面积, C_D 为空气阻力系数。

驱动轮上的功 W_R 是由功率 P 在时间间隔 T 内的积分求得

$$W_R = \int_0^T P dt \quad (2)$$

W_R 和燃油消耗量 B 的关系为

$$W_R = \bar{\eta}_M \bar{\eta}_K B H_u \quad (3)$$

$\bar{\eta}_M$ 为内燃机的平均效率, $\bar{\eta}_K$ 为发动机飞轮到车轮的平均效率, B 为燃油消耗量, H_u 为汽油低热值。整个行程时间 T 内的燃油消耗量为

$$B = \frac{1}{\bar{\eta}_M \bar{\eta}_K H_u} \int_0^T F v dt \quad (4)$$

由公式(2)和公式(4)得到

$$B = \frac{1}{\bar{\eta}_M \bar{\eta}_K H_u} \int_0^T (F_f + F_w) v dt + F_j v dt \quad (5)$$

在进行油耗仿真时, 汽车整体参数如下表 3 所示。

4.2. 智能起停控制策略节油效果对比

根据上述油耗模型, 在实际的城市早高峰、晚高峰时段的实际运行工况下, 计算改进前后的起停系统的节油效果。如图 4 所示, 图 4(a)为早高峰的节油效果图, 图 4(b)为晚高峰的节油效果图, 随着短时怠速停车次数的增加, 短时怠速关闭启动发动机次数减少, 节油效率逐渐增加。图中所示为 2000 s 早晚高峰工况的节油效果, 随着使用时间的增加, 节油效果会更加明显。而且, 减少频繁启动关闭发动机的次数, 也有利于减少设备的磨损, 增加设备的使用寿命。

5. 结论

为了减少怠速时的油耗, 绝大多数车辆都安装了起停系统, 通过怠速时关闭发动机减少油耗。现有的起停系统的控制策略均在标准工况下进行测试, 并不能完全适用于国内的城市道路行驶工况。交通拥堵导致的频繁起停使得起停系统并不能达到应有的节油效果。通过对不同工况进行分类提出了改进的起停控制策略, 实现在高峰期拥堵时段, 减少短时怠速时关闭发动机的次数。在长春实际城市道路工况下,

Table 3. Parameters of experiment vehicle

表 3. 试验车辆整体参数

车辆整备质量	1105 kg
汽车装载总质量	205 kg
地面摩擦阻力系数	0.014
空气阻力系数	0.34
汽车最小离地间隙	137
车宽	1668
车高	1438
发动机飞轮到车轮的平均效率为 $\bar{\eta}_k$	0.887
怠速油耗	0.82 L/h

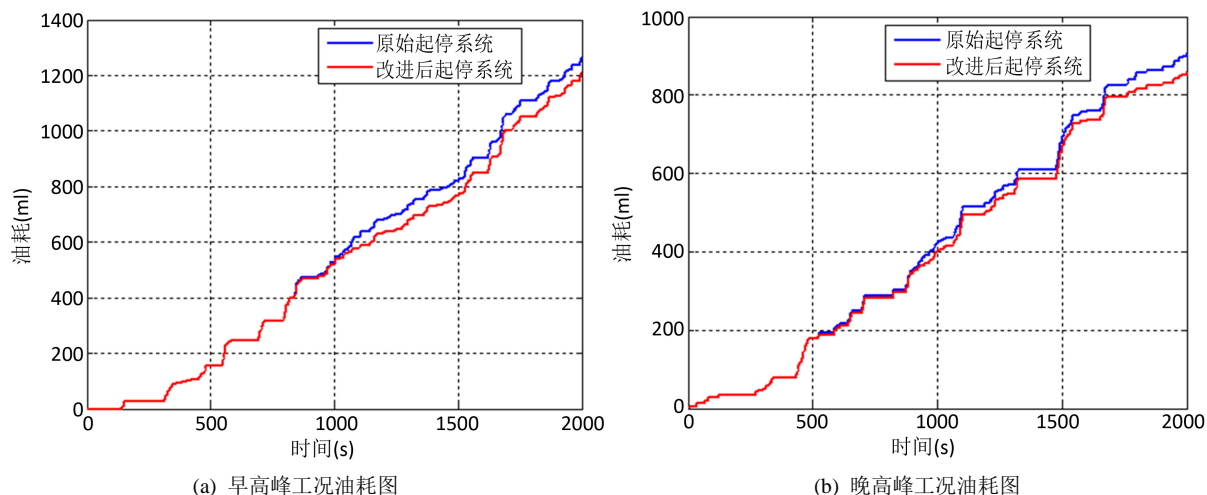


Figure 4. Fuel efficiency under intelligent control strategy

图 4. 智能控制策略节油效果图

早晚高峰的仿真试验表明,随着短时怠速起停的增加,节油效果将逐渐明显,行驶 2000 s 能够节约 50 ml 以上的燃油。

基金项目

吉林省科技厅重点科技攻关项目 20150204052GX。

参考文献 (References)

- [1] Bishop, J., Nedungadi, A., Ostrowski, G., *et al.* (2007) An Engine Start/Stop System for Improved Fuel Economy. SAE Technical Paper 2007-01-1777. <https://doi.org/10.4271/2007-01-1777>
- [2] Fonseca, N., Casanova, J. and Valdés, M. (2011) Influence of the stop/start System on CO₂ Emissions of a Diesel Vehicle in Urban Traffic. *Transportation Research Part D: Transport & Environment*, **16**, 194-200. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.10.001>
- [3] 徐德富. 发动机起停系统的开发与应用[J]. 内燃机, 2013(1): 9-11.
- [4] 李聪聪, 陈强, 喻凡, 等. 一种微混电动车起停系统及其对车辆性能影响的分析[J]. 汽车工程, 2012, 34(10): 878-884.
- [5] 陈汉玉, 俞小莉, 左承基. 发动机智能起停系统控制策略的研究[J]. 汽车工程, 2014(9): 1145-1150.
- [6] 逯家鹏, 李幼德, 吕景华, 等. BSG 怠速起停系统车辆控制策略研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(2): 316-322.
- [7] 刘巨江, 吴坚, 黄锐景, 等. 起停系统控制策略开发及试验研究[J]. 车用发动机, 2012(5): 15-18.
- [8] Yang, L., He, H., Sun, F., *et al.* (2010) Research of Fuzzy Logic Control Strategy for Engine Start/Stop in Dual-Clutch Hybrid Electric Vehicle. *Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, IEEE*, Yantai, 10-12 August 2010, 912-917. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2010.5569120>
- [9] Chen, H., Zuo, C. and Yuan, Y. (2013) Control Strategy Research of Engine Smart Start/Stop System for a Micro Car. SAE Technical Papers 2013-01-0585, 2.
- [10] 何仁, 刘凯, 黄大星, 等. 发动机智能怠速停止起动系统控制策略的研究[J]. 汽车工程, 2010, 32(6): 466-469.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3431，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：oitt@hanspub.org