

基于动量守恒的发动机制动道路测试方法及应用研究*

朱江苏^{1,2} 史祥东^{1,2} 李静静^{1,2} 王长通¹ 孙晶晶^{1,2}

(1. 内燃机与动力系统全国重点实验室, 潍坊 261061; 2. 潍柴动力股份有限公司发动机研究院, 潍坊 261061)

【摘要】为准确获得发动机制动功率, 基于动量守恒定律提出了一种发动机制动道路测试方法。构建了基于车速和挡位的整车制动功率方程, 可实现下坡工况手动挡变速器换挡提醒和自动变速器挡位选择, 将所提出的测试方法制动功率测试结果与转鼓测试结果进行对比, 结果表面, 二者差值范围为-2.7%~3.4%, 体现了该方法的准确性及有效性。

关键词: 动量守恒 制动功率 发动机制动 道路测试 换挡提醒

中图分类号: U464.1

文献标志码: A

DOI: 10.20104/j.cnki.1674-6546.20230206

Research on Engine Braking Road Test Methodology and Application Based on Constant Momentum

Zhu Jianguo^{1,2}, Shi Xiangdong^{1,2}, Li Jingjing^{1,2}, Wang Changtong¹, Sun Jingjing^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Engine and Powertrain System, Weifang 261061; 2. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061)

【Abstract】To obtain engine braking power accurately, this paper proposed a method of engine braking road test based on the momentum conservation law. A vehicle braking power equation based on speed and gear was built to provide a warning of downhill shifts and AT gear selection. Braking power test result obtained with the proposed test method was compared with dynamometer test result, with a difference range of -2.7%~3.4%, demonstrating accuracy and effectiveness of this method.

Key words: Constant momentum, Brake power, Engine braking, Road test, Shift reminding

【引用格式】朱江苏, 史祥东, 李静静, 等. 基于动量守恒的发动机制动道路测试方法及应用研究[J]. 汽车工程师, 2023(11): 38-41.

ZHU J S, SHI X D, LI J J, et al. Research on Engine Braking Road Test Methodology and Application Based on Constant Momentum[J]. Automotive Engineer, 2023(11): 38-41.

1 前言

中重型载货汽车在山区等长距离下坡路况行驶时, 频繁制动会导致制动鼓温度升高, 制动性能迅速降低, 严重时会出现制动失效的情况^[1-4]。尽管为制动鼓淋水可以降低制动性能的衰减, 但在冬季行驶时会影响后车的行车安全^[5-8]。因此, 相应的持续制动装置应运而生, 主要包括发动机辅助制动和缓行器制动, 以避免行车制动系统出现热衰退现

象^[9-12]。发动机辅助制动因其成本低、工作可靠、长时间全负荷制动的特点, 已成为应用最广泛的持续制动装置^[13-15]。

发动机制动功率直接影响山区等工况条件下的行车安全性, 准确的发动机制动功率信息可以为手动变速器车辆提醒用户选择合适的挡位, 以及自动变速器车辆选择最佳下坡挡位提供依据, 因此, 制动功率的准确测量至关重要。目前, 发动机制动功率通常利用底盘测功机测试获得, 但对资源及测

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFE0100100)。

试能力等具有一定要求。因此,本文提出一种基于动量守恒定律的发动机辅助制动功率道路测试方法,并通过与转鼓测试结果进行对比,验证道路测试的精度。

2 测试原理及方法

整车在滑行过程中遵守动量守恒定律,即发动机发出的制动功率等于整车减速滑行功率,由此可计算获得发动机制动功率:

$$P = \frac{mav}{3.6 \times 1000} = \frac{mv\Delta v}{3.6 \times 3.6 \times 500\Delta T} \quad (1)$$

式中, P 为道路等速功率; m 为整车试验总质量; a 为整车加速度; v 为车速; Δv 为与车速 v 的速度偏差,建议取 $\Delta v=2.5$ km/h; ΔT 为车速从 $v+\Delta v$ 减速到 $v-\Delta v$ 滑行时间的平均值。

测试流程为:

a. 滑行初始车速选择。根据道路条件,在确保安全的情况下,合理选择最大车速 v_{\max} 。

b. 挡位选择。选择车速 v_{\max} 对应发动机额定转速的挡位 G_N 。

c. 滑行结束车速选择。发动机最低制动转速在挡位 G_N 对应的车速 v_{\min} 。

d. 将车速迅速提高到 v_{\max} ,变速器置于空挡,松开离合器,车辆开始滑行,滑行至车速 v_{\min} 。双向往返测试,至少往返3次。

e. 将车速迅速提高到 v_{\max} ,变速器置于 G_N 挡,松开离合器,车辆开始滑行,滑行至车速 v_{\min} 。双向往返测试,至少往返3次。

f. 将车速迅速提高到 v_{\max} ,变速器置于 G_N 挡,打开发动机辅助制动,松开油门,车辆开始滑行,滑行至车速 v_{\min} 。双向往返测试,至少往返3次。

测试结束后,计算得到不同车速下的整车运行功率 P_v 、发动机摩擦功率 P_E 和发动机辅助制动功率 P_B :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & \eta_E & 0 \\ 1 & \eta_B & \eta_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_v \\ P_E \\ P_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{m \times v \times \Delta v}{3.6 \times 3.6 \times 500 \times \Delta T_v} \\ \frac{m \times v \times \Delta v}{3.6 \times 3.6 \times 500 \times \Delta T_E} \\ \frac{m \times v \times \Delta v}{3.6 \times 3.6 \times 500 \times \Delta T_B} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, η_E 、 η_B 分别为未开启发动机制动和开启发动机制动时的传动系统效率,动力总成某挡位下的传动效率可根据转速和扭矩查表获得; ΔT_v 、 ΔT_E 、 ΔT_B 分别

为空挡滑行、带挡滑行、带挡且开启发动机辅助制动滑行时,车速从 $v+\Delta v$ 减速到 $v-\Delta v$ 滑行时间的平均值。

整车运行功率与车速相关,发动机摩擦功率和发动机辅助制动功率与转速相关,由此建立基于车速和挡位的各功率方程:

$$P_v = f_v(v) \quad (3)$$

$$P_E = f_E(n) = f_E\left(\frac{v i_g i_0}{0.377r}\right) \quad (4)$$

$$P_B = f_B(n) = f_B\left(\frac{v i_g i_0}{0.377r}\right) \quad (5)$$

式中, f_v 为根据试验测得的整车运行功率 P_v 与车速 v 的拟合方程; f_E 为根据试验测得的发动机摩擦功率 P_E 与发动机转速 n 的拟合方程; f_B 为根据试验测得的发动机辅助制动功率 P_B 与发动机转速 n 的拟合方程; i_g 为变速器挡位速比; i_0 为驱动桥速比; r 为车轮半径。

建立任意车速和挡位下的发动机制动功率方程为:

$$P_{EB} = P_E + P_B = f_E\left(\frac{v i_g i_0}{0.377r}\right) + f_B\left(\frac{v i_g i_0}{0.377r}\right) \quad (6)$$

任意车速和挡位下的整车制动功率 P_{VEB} 为:

$$P_{VEB} = P_v + P_E + P_B = f_v(v) + f_E\left(\frac{v i_g i_0}{0.377r}\right) + f_B\left(\frac{v i_g i_0}{0.377r}\right) \quad (7)$$

整车制动力应不小于整车重力沿坡道方向的分力,以实现下坡时不踩制动踏板且车速稳定:

$$3600P_{VEB}/v \geq mgsin\alpha \quad (8)$$

式中, g 为重力加速度; α 为道路实际坡度,坡高与坡长之比。

根据式(7)、式(8)即可计算得到变速器挡位,从而实现下坡工况手动挡变速器车辆的换挡提醒和自动变速器车辆的挡位选择。

3 测试精度分析

测试车辆选取重汽豪沃6×4牵引车,配备12挡手动变速器,满载质量49 000 kg,整车配置如表1所示。在实际道路测得整车滑行阻力系数如表2所示,可计算得到滑行阻力为:

$$F = F_0 + F_1 v + F_2 v^2 \quad (9)$$

式中, F_0 为常数项; F_1 为一次项; F_2 为二次项。

表1 试验车辆参数

项目	参考内容	技术参数
整车	整车整备质量/kg	8 800
	整车试验质量/kg	49 000
发动机	型号	WP10.5H460E62
	额定功率/kW	338(1 900 r/min)
	最大扭矩/N·m	2 100(1 000~1 400 r/min)
	型号	HW25712XSTL
	各挡速比	14.941/11.611/8.986/6.987/ 5.514/4.318/3.46/2.689/ 2.081/1.618/1.277/1
后桥	主减速比	3.36
轮胎	轮胎规格	12R22.5
	滚动半径/mm	525.5

表2 滑行的整车阻力系数

项目	取值
常数项 F_0/N	2 454.0
一次项 $F_1/N \cdot (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})^{-1}$	5.29
二次项 $F_2/N \cdot (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})^{-2}$	0.28

按照上述步骤,选取滑行车速区间为73~30 km/h,挡位采用10挡,分别进行空挡滑行测试、10挡带挡滑行测试和10挡带挡且开启辅助制动滑行测试,根据式(2)计算不同车速下的整车运行功率、发动机摩擦功率和发动机辅助制动功率,结果如图1所示。

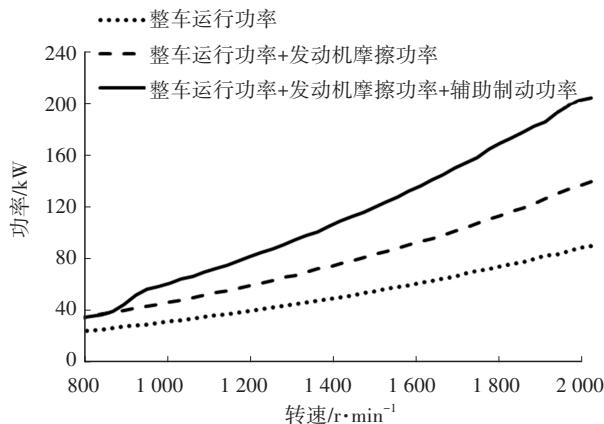


图1 实际道路制动性能测试结果

在底盘测功机上按照表2所示的滑行阻力系数设置参数,热车并滑行。分别倒拖测试空挡滑行功率和10挡带挡且开启辅助制动功率,两者差值为发动机制动功率,与道路测试的发动机制动功率对比结果如图2所示,各转速条件下两者差值在-2.7%~3.4%范围内。

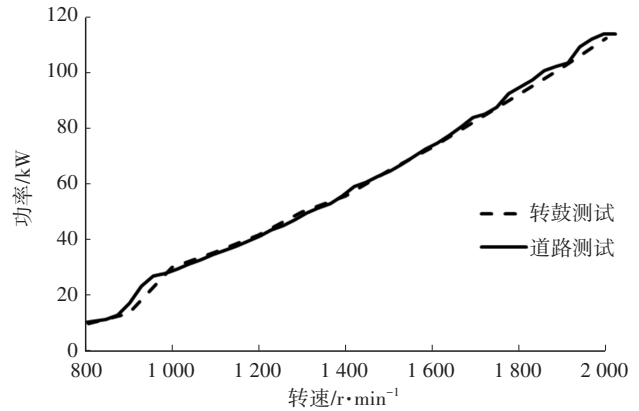


图2 道路与转鼓发动机制动功率对比

4 结束语

本文基于动量守恒定律提出了一种发动机制动功率的道路测试方法,构建了基于车速和挡位的整车制动功率方程,可实现下坡工况手动变速器换挡提醒和自动变速器挡位选择,有利于提升山区等长距离下坡工况车辆运行安全性。利用转鼓台架试验对本文提出的实车道路试验方法进行验证,2种方法测试结果差值在-2.7%~3.4%范围内,说明本文方法满足测试精度的需求。

参考文献

- [1] 夏基胜. 发动机辅助制动试验研究[J]. 车用发动机, 2010(8): 70-73.
XIA J S. Study of Engine Auxiliary Braking Test[J]. Vehicle Engine, 2010(8): 70-73.
- [2] 董颖, 何仁. 发动机制动技术的研究与展望[J]. 车用发动机, 2006(6): 1-5.
DONG Y, HE R. Study and Development of Engine Braking Technology[J]. Vehicle Engine, 2006(6): 1-5.
- [3] 王作函. Jake Brake 发动机辅助制动装置[J]. 商用汽车, 2002(12): 48-49.
WANG Z H. Jake Brake Engine Assisted Braking[J]. Commercial Vehicle, 2002(12): 48-49.
- [4] 周兆鹏, 丁晓辉, 王慧, 等. 某轻型柴油机辅助制动系统开发[J]. 内燃机与动力装置, 2021, 38(1): 93-98.
ZHOU Z P, DING X H, WANG H, et al. Development of Auxiliary Brake for a Light Diesel Engine[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2021, 38(1): 93-98.
- [5] 裴承政. 汽车辅助制动系统的应用和分析[J]. 黑龙江交通科技, 2014, 37(11): 144+146.
PEI C Z. Application and Analysis of Vehicle Assisted Braking System[J]. Communication Science and Technology, 2014, 37(11): 144+146.
- [6] 王丽萍, 殷波, 李春梅. 商用车辅助制动系统简介[J]. 汽

- 车实用技术, 2017(6): 142-143+176.
WANG L P, YIN B, LI C M. Introduction of Assistant Brake System[J]. Automobile Applied Technology, 2017(6): 142-143+176.
- [7] 吴国伟. 发动机压缩释放制动技术研究[J]. 现代车用动力, 2019(4): 11-15.
WU G W. Research on Engine Compression Release Brake Technology[J]. Modern Vehicle Power, 2019(4): 11-15.
- [8] 肖殿东. 牵引车辅助制动研究[J]. 汽车实用技术, 2019(10): 64-65+81.
XIAO D D. Research on Auxiliary Braking of Traction Vehicle[J]. Automobile Applied Technology, 2019(10): 64-65+81.
- [9] 薛亮. 重型商用车辅助制动系统制动性能台架试验研究[D]. 西安: 长安大学, 2019.
XUE L. Bench Test Study on Braking Performance of Heavy Commercial Vehicle Auxiliary Braking System[D]. Xi'an: Chang'an University, 2019.
- [10] 孟丽, 张志鹏, 杜飞飞, 等. 浅析发动机辅助制动技术及选用[J]. 内燃机与配件, 2022(22): 88-91.
MENG L, ZHANG Z P, DU F F, et al. Analysis of Engine Assisted Braking Technology and Selection[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2022(22): 88-91.
- [11] 孙晓鹏, 杨正, 任宪丰, 等. 基于发动机辅助制动功能的智能车重预估方法[J]. 电子技术与软件工程, 2021(21): 85-87.
SUN X P, YANG Z, REN X F, et al. Intelligence Weight Estimation Method Based on Engine Assisted Braking[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2021(21): 85-87.
- [12] 何麒, 代洪. 用于重型车辆辅助制动发动机排气节流装置[J]. 农村牧区机械化, 2016(3): 47-48.
HE Q, DAI H. For Heavy Duty Vehicle Assisted Brake Engine Exhaust Throttle[J]. Mechanization of Rural Pastoral Areas, 2016(3): 47-48.
- [13] 范岚岚, 刘冰, 姜峰, 等. 发动机辅助制动满足机动车运行安全条件的对策和未来发展趋势[J]. 重型汽车, 2018(3): 24-26.
FAN L L, LIU B, JIANG G, et al. Engine-Assisted Braking Countermeasure and Future Trends to Meet the Safe Operating Condition of Motor Vehicle[J]. Heavy Truck, 2018(3): 24-26.
- [14] 罗礼培. 车用发动机辅助制动技术概述及压缩释放式发动机制动技术分析[J]. 汽车维修, 2016(1): 4-5.
LUO L P. Overview of Vehicle Engine Assisted Braking Technology and Analysis of Compression Release Engine Braking Technology[J]. Automobile Maintenance, 2016(1): 4-5.
- [15] 彭德彪, 倪计民. 重型卡车发动机辅助制动系统匹配方法的研究[J]. 柴油机设计与制造, 2017, 23(2): 18-22.
PENG D B, NI J M. Research on the Matching Method of Engine Auxiliary Braking System of Heavy Trucks[J]. Design and Manufacture of Diesel Engine, 2017, 23(2): 18-22.

(责任编辑 斛 畔)

修改稿收到日期为2023年5月20日。