

文章编号: 1002-0268 (2005) 06-0151-04

汽车轮边功率特性快速测试方法的研究

马岳峰, 刘昭度, 齐志权, 崔海峰
(北京理工大学机械与车辆工程学院, 北京 100081)

摘要: 按照一定的测试过程使用底盘测功机测试汽车轮边功率特性, 在底盘测功机的转鼓速度同车轮转速没有达到相对稳定时测取底盘测功机的吸收功率, 作为该速度下不准确的轮边功率, 对此不准确的轮边功率进行修正, 获得准确的轮边功率, 解决了传统汽车轮边功率特性测试时间过长的的问题, 对汽车动力性能测试和柴油车加载减速工况烟度排放测试具有重要的实际意义。

关键词: 轮边功率; 吸收功率; 递推最小二乘法

中图分类号: U467

文献标识码: A

Research on Rapid Vehicle Wheel Power Scan

MA Yue-feng, LIU Zhao-du, QI Zhi-quan, CUI Hai-feng

(Faculty of Mechanical and Vehicle Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: This article presents the study on the measurement of dynamometer's absorption power by using dynamometer to test wheel power according to special procedures when drum speed is not equal to wheel speed, to correct the absorption power and to get more accurate wheel power value. This method solves problems of traditional method in wheel power scan and has great contribution for vehicle dynamics performance test and diesel vehicles smoke emission inspection under loading deceleration mode.

Key words: Wheel power; Absorption power; Recursive least squares method

0 前言

进行汽车动力性测试和柴油车加载减速工况烟度排放测试时, 获取汽车轮边功率特性是最重要的测试项目。采用底盘测功机测试车辆轮边功率特性主要有两种方法: 速度调节和力矩调节。速度调节通过设定测功机转鼓速度, 在车轮转速同转鼓速度达到相对稳定时测量底盘测功机吸收功率作为轮边功率。设定不同的测功机转鼓速度可使车速稳定在不同速度, 从而得到车辆不同速度的轮边功率。力矩调节是通过设定测功机的阻力矩, 当车辆轮边驱动力矩同底盘测功机阻力矩平衡时, 车轮转速也同转鼓速度相对稳定, 此时轮边功率同测功机阻功率相等。改变底盘测功机阻

力矩可使车辆稳定在不同车速, 得到不同速度点的车辆轮边功率^[1,2]。

目前, 国内外进行汽车轮边功率特性测试过程的持续时间普遍较长, 严重影响到发动机、汽车传动系和轮胎的使用寿命, 在测试过程中汽车会产生剧烈颠簸, 甚至驶出底盘测功机, 降低了测试安全性。国内外迄今为止, 为解决功率扫描持续时间过长而造成的发动机和轮胎过热及传动系工作不正常的问题所采用的技术是: 发现发动机或轮胎过热后, 迅速松开油门踏板, 关闭发动机, 冷却风机使发动机和轮胎强制冷却, 待发动机和轮胎冷却到一定程度后, 再进行测试, 这种方法测试时间过长, 并且对柴油车加载减速工况烟度排放测试也是不可行的, 因此快速测试汽

收稿日期: 2004-04-12

基金项目: Ford—中国研究与发展基金资助项目 (编号 50122148)

作者简介: 马岳峰 (1977—), 男, 辽宁大连人, 博士, 主要研究方向为汽车安全系统。 (mayuefeng@bit.edu.cn)

车轮边功率特性是很重要的。

1 汽车轮边功率特性快速测试方法

传统的汽车轮边功率测试方法都是通过使车轮转速同底盘测功机转鼓转速达到相对平衡,读取底盘测功机的吸收功率来获得车辆轮边功率的。图1(a)为平衡时底盘测功机转鼓受力图,此时作用于底盘测功机转鼓上的车辆轮边驱动力矩和底盘测功机转鼓上的阻力矩平衡,底盘测功机转鼓处于匀速转动状态,可以得到力矩平衡方程

$$T_w = T_p \quad (1)$$

式中, T_w 为车轮对转鼓的驱动力矩, Nm; T_p 为底盘测功机转鼓的阻力矩, Nm。

车辆轮边功率与测功机吸收功率相等, 即

$$P_w = T_w \times \omega = T_p \times \omega \quad (2)$$

式中, P_w 为车辆轮边功率, W; T_w 和 T_p 的意义同式(1); ω 为转鼓转动角速度, rad/s。

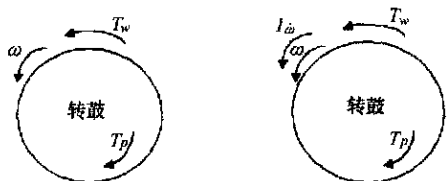
无论采用力矩调节还是速度调节都要使车轮速度同测功机转鼓速度处于相对稳定状态后,测取测功机的吸收功率得到汽车在该速度下的轮边功率。因为达到该稳定状态需要很长时间,由此需要较长的采集周期,使得整个测试过程过长。为缩短轮边功率性测试时间,应采用较短的采集周期。由于采集时间较短,底盘测功机阻力矩增加时,车辆在底盘测功机上不能马上达到相对平衡状态,转鼓具有一定的角加速度 ω ,如图1(b)所示,此时力矩和功率平衡方程为

$$T_w = T_p + I \times \omega \quad (3)$$

$$P'_w = T_p \times \omega \quad (4)$$

$$P_w = (T_p + I \times \omega) \times \omega \quad (5)$$

式(3)~式(5)中, I 为底盘测功机转动部件等效至转鼓处的转动惯量, kgm^2 ; ω 为转鼓角加速度, rad/s^2 ; T_w 为车轮对转鼓的实际驱动力矩, Nm; T_p 为底盘测功机转鼓的阻力矩, Nm; P'_w 为测功机吸收功率,即未经修正的轮边功率, W; P_w 为修正的轮边功率, W; ω 的意义和式(2)一样。



(a)平衡时底盘测功机转鼓受力图 (b)未平衡时底盘测功机转鼓受力图

图1 底盘测功机转鼓受力图

由于底盘测功机的等效转动惯量很大,当转鼓具

有一定的角加速度时,力矩平衡方程式(3)和功率平衡方程式(5)中第2项的值较大,不能忽略不计,因而不能通过直接读取底盘测功机的吸收功率来得到车辆的轮边功率,而必须考虑到第2项修正项的影响。实际测量中得到的转鼓角速度是离散值,用角速度的差分代替力矩平衡方程式(3)和功率平衡方程式(5)中的导数项

$$\omega_n = \frac{d\omega}{dt} \approx \frac{\omega_n - \omega_{n-1}}{\Delta t} \quad (6)$$

式中, ω_n 为当前时刻转鼓角速度, rad/s ; ω_{n-1} 为前一时刻转鼓角速度, rad/s ; Δt 为采集周期, s。

当测量数据受到噪声干扰时,测量的当前转鼓角速度值可表示为

$$\omega'_n = \omega_n + \Delta\omega_n \quad (7)$$

式中, ω'_n 为带有噪声干扰的转鼓角速度的测试值, rad/s ; ω_n 为准确的角速度值, rad/s ; $\Delta\omega_n$ 为噪声项, rad/s 。将 ω_n 代入式(6)得到

$$\omega_n \approx \frac{\omega_n - \omega_{n-1}}{\Delta t} + \frac{\Delta\omega_n}{\Delta t} \quad (8)$$

式中,各参数的意义和式(6)、式(7)相同。由式(8)中的第1项 $\frac{\Delta\omega_n}{\Delta t}$ 可知,当采集周期 Δt 较小时,很小的角速度采样误差 $\Delta\omega_n$ 都会带来较大的角加速度误差。为此对采集到的角速度值用递推最小二乘法进行三次多项式进行拟合,对拟合后的多项式进行求导。拟合后的三次多项式如式(9)

$$\omega(t) = a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \quad (9)$$

式中, a_3 、 a_2 、 a_1 、 a_0 为三次、二次、一次、常数项系数。

设已经采集到 n 组数据 (t_n, ω_n) 、 $(t_{n-1}, \omega_{n-1}) \dots (t_1, \omega_1)$, 当采样间隔一定时,时间 $t_1, t_2, \dots, t_n$ 可以取 1, 2, $\dots, n$ 。此时有

$$\theta_n = T_n \cdot A_n \quad (11)$$

式中, $\theta_n = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix}$ 为采集点数为 n 时的角速度矩阵;

$T_n = \begin{bmatrix} t_1^3 & t_1^2 & t_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_n^3 & t_n^2 & t_n & 1 \end{bmatrix}$ 为采集点数为 n 时的时间矩

阵; $A_n = \begin{bmatrix} a_3 \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{bmatrix}$ 为采集点数为 n 时的多项式系数矩阵。

采用最小二乘法确定系数矩阵 $A_n^{[34]}$, 有

$$A_n = (T_n^T \cdot T_n)^{-1} \cdot T_n^T \cdot \theta_n \quad (12)$$

为实时在线拟合, 即如果采集到 n 个点时多项式系数矩阵为 A_n , 则采集第 $n+1$ 个点后应能快速计算多项式系数矩阵 A_{n+1} , 并避免计算时间矩阵的逆矩阵, 采用递推最小二乘法, 递推算法为式 (13) 和 (14)^[3]

$$P_{n+1} = P_n - \frac{P_n \cdot a_{n+1} \cdot a_{n+1}^T \cdot P_n}{1 + a_{n+1}^T \cdot P_n \cdot a_{n+1}} \quad (13)$$

$$A_{n+1} = A_n + P_{n+1} \cdot a_{n+1} \cdot (\omega_{n+1} - a_{n+1}^T \cdot A_n) \quad (14)$$

式中, A_{n+1} 为采集 $n+1$ 个点后的拟合多项式的系数

$$\text{矩阵, } P_n = (T_n^T \cdot T_n)^{-1}; \quad a_{n+1} = \begin{bmatrix} t_{n+1}^3 \\ t_{n+1}^2 \\ t_{n+1} \\ 1 \end{bmatrix}.$$

得到拟合多项式后, 对该多项式求导得到转鼓角加速度, 即

$$\omega(t) = 3a_3 t^2 + 2a_2 t + a_1 \quad (15)$$

据此, 可以计算式 (5) 中的修正项, 把采集到的底盘测功机吸收功率同修正项相加得到修正后比较准确的轮边功率值。

2 实际应用

使用 MAHA ASM P 型底盘测功机对 JETTA GTX 轿车进行轮边功率测试, 该测功机转动部件等效至转鼓处的转动惯量 (转鼓直径为常数, 这里用质量表示) 为 907kg, 轮胎的转动惯量为 0.87kgm², 具体的测试过程为:

(1) 通过油门踏板限位装置把车辆油门踏板行程限定在不同位置得到不同的发动机节气门开度, 对底盘测功机采用力矩调节方式, 施加一较小恒力矩载荷, 选择好某一档位, 使汽车在底盘测功机上加速, 油门踏板逐渐踩到限定位置, 当车速稳定后, 记录下此时底盘测功机的阻功率和对应车速, 此车速为进行该节气门开度下轮边功率特性测试时该档位所能达到的车辆最大行驶速度。选择不同档位, 依次获取各油门开度下各档最大行驶速度和对应的小负荷阻功率。

(2) 选定油门开度和档位, 对底盘测功机施加步骤 (1) 中得到的对应的小负荷阻功率, 车辆加速直至车速达到能达到的最高车速, 稳定 3s。

(3) 开始进行轮边功率特性测试, 采集周期为 500ms, 在每个采集周期都在初始小负荷载荷的基础上对底盘测功机施加相等递增量的力矩载荷, 力矩增量根据发动机额定功率大小而定, 通过采集底盘测功

机的吸收功率得到该档位和该节气门开度下车辆不同速度时未经修正的轮边功率。采用上面提出的方法对该轮边功率值进行修正得到较准确的轮边功率。

(4) 随着测功机载荷的增加车速不断降低, 当车速降低到 8km/h 后, 停止该档位和该节气门开度下轮边功率特性测试。

(5) 重复步骤 (2) ~ (4) 可以进行其它油门开度和档位的轮边功率扫描。

根据底盘测功机的技术参数, 其稳定时间为 3s, 为比较缩短采集周期前后轮边功率扫描结果, 同时采用 5s 的采集周期, 此时车辆同底盘测功机之间保证已经达到相对平衡状态, 以此时得到的测功机吸收功率作为轮边功率的准确值。

图 2 为 JETTA GTX 轿车一档油门开度 30% 时修正前后的车辆轮边功率特性曲线, 曲线 1 为采样周期 500ms, 修正前的轮边功率特性曲线, 曲线 2 为采样周期 500ms, 修正后的轮边功率特性曲线, 曲线 3 为采样周期 5s, 即车速充分稳定后的轮边功率特性曲线。

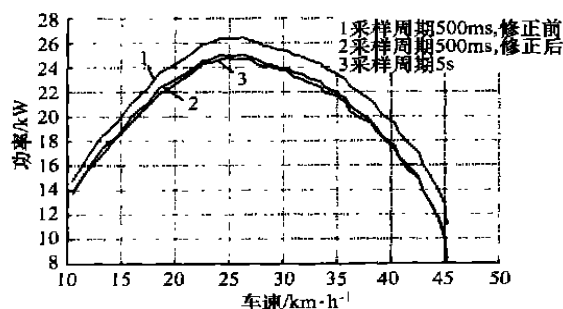


图 2 JETTA GTX 一档油门开度 30% 轮边功率曲线

表 1 为 JETTA GTX 轿车一档、油门开度 30% 时修正前后轮边功率的误差对比, 以采样周期 5s, 即车速充分稳定后的轮边功率作为准确值, 修正前的测试平均相对误差为 10.54%, 修正后的测试平均相对误差只有 1.46%, 而扫描时间缩短了 90%。该方法在实际的柴油车加载减速工况烟度排放测试中已经应用, 取得了很好的效果。

3 结论

本文提供了一种全新的车辆轮边功率特性快速测试方法, 使用底盘测功机进行车辆轮边功率特性测试, 采用递推最小二乘法对原始采样数据进行处理得到比较准确的转鼓角加速度, 根据底盘测功机等效转动惯量和转鼓角加速度之积对实测轮边功率进行修正, 在提高测试速度的同时保证了车辆轮边功率特性测试的准确性。测试时, 发动机、传动系和车轮工作

稳定，消除了原方法测试时发动机、传动系和车轮过热问题，对汽车动力性能测试和柴油车加载减速工况烟度排放测试具有重要的实际意义。

表 1 节气门开度为 30% 时一档轮边功率测试误差对比

车速值 /km·h ⁻¹	准确功率 值/kW	修正前功 率值/kW	修正后功 率值/kW	修正前功率 相对误差/%	修正后功率 相对误差/%	车速值 /km·h ⁻¹	准确功率 值/kW	修正前功率 值/kW	修正后功率 值/kW	修正前功率 相对误差/%	修正后功率 相对误差/%
10 47	13 73	14 77	13 85	7 57	0 87	31 01	23 20	24 99	23 53	7 72	1 42
11 92	15 64	16 76	15 77	7 16	0 83	31 84	23 03	24 92	23 44	8 21	1 78
13 29	16 91	18 45	17 40	9 11	2 89	32 31	22 80	24 62	23 13	7 98	1 45
14 64	18 36	19 55	18 45	6 48	0 49	33 45	22 41	24 33	22 82	8 57	1 83
16 07	19 65	21 24	20 09	8 09	2 24	33 84	21 91	23 89	22 36	9 04	2 05
17 41	20 82	22 27	21 08	6 96	1 25	34 77	21 71	23 52	21 96	8 34	1 15
18 50	21 89	23 59	22 37	7 77	2 19	35 74	21 20	23 08	21 50	8 87	1 42
19 53	22 38	24 03	22 78	7 37	1 79	36 14	20 45	22 49	20 88	9 96	2 10
20 50	22 96	24 55	23 27	6 93	1 35	36 94	19 90	21 98	20 33	10 45	2 16
21 64	23 63	25 28	23 98	6 98	1 48	38 07	19 44	21 32	19 63	9 67	0 98
22 48	24 32	25 87	24 55	6 37	0 95	38 58	18 72	20 8	19 07	11 11	1 87
23 30	24 41	26 02	24 68	6 59	1 11	39 23	18 22	20 07	18 30	10 15	0 44
24 10	24 60	26 31	24 96	6 95	1 46	40 39	17 31	19 40	17 58	12 07	1 56
24 76	24 84	26 39	25 02	6 24	0 72	40 71	16 57	18 60	16 72	12 25	0 91
25 47	24 65	26 31	24 93	6 73	1 13	41 54	15 58	17 86	15 92	14 63	2 18
26 23	24 65	26 46	25 07	7 34	1 70	42 61	14 88	16 98	14 98	14 11	0 67
26 87	24 69	26 24	24 84	6 28	0 61	42 96	13 86	16 02	13 95	15 58	0 65
27 55	24 25	26 02	24 61	7 29	1 48	43 67	12 77	15 07	12 92	18 01	1 17
28 14	24 12	25 80	24 38	6 97	1 08	44 38	11 60	14 04	11 81	21 03	1 81
28 61	24 12	25 72	24 29	6 63	0 70	44 89	10 27	12 94	10 62	25 99	3 41
29 54	23 85	25 43	23 99	6 62	0 59	45 10	9 17	11 83	9 42	29 01	2 73
30 28	23 74	25 36	23 91	6 82	0 72	45 25	8 17	11 10	8 39	35 86	2 69

参考文献:

[1] 孙业保. 车用内燃机 [M] . 北京理工大学出版社, 1997.

[2] DB11/121-2000, 柴油车加载减速工况烟度排放标准 [S] .

[3] B 威德罗, E 瓦莱斯. 自适应逆控制 [M] . 西安交通大学出版社, 1999.

[4] 丁丽娟. 数值计算方法 [M] . 北京理工大学出版社, 1997.

关于征集《公路交通科技》西部项目专集稿件的通知

为了进一步加快我国西部交通建设事业的发展，促进交通部西部交通建设科技项目科研成果的推广和应用，《公路交通科技》编辑部拟定于 2005 年 8 月出版《公路交通科技》西部项目专集。专集的栏目设置包括：道路工程、桥梁工程、交通工程、运输经济、环境工程。投稿请注明西部专集投稿，并将资助项目名称和编号一并提交给编辑部。投稿的具体要求详见 2005 年版《公路交通科技》征稿简则。

电子信箱: editor@rioh.cn
咨询电话: 010-62079557 转 13

《公路交通科技》编辑部
2005 年 3 月 22 日