

汽油机排气成分的连续测量分析

李兴虎¹, 崔海龙¹, 张西振², 张博彦¹, 韩爱民¹, 金克成¹

(1. 北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100022; 2. 辽宁交通高等专科学校机械系, 沈阳 110122)

摘 要: 测量并分析了点燃式发动机起动、加速及若干稳定工况运行时排气中 CO₂、CO、HC、NO、O₂ 的体积成分。结果表明:在发动机起动时,CO 排放曲线上有一个峰值存在,在加速时,有一个峰谷存在;在排气的各成分中,HC 的变化幅度较大;在发动机处于宏观稳定工况时排气中各成分亦呈现出一定波动。CO₂、CO、HC、NO、O₂ 的波动系数的变化分别为 0.007~0.020、0.049~0.288、0.1~0.883、0.03~0.077、0.024~0.123。

关键词: 汽油机; 空燃比; 排气成分; 汽车排放测量仪

中图分类号: TK 411.5

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2002)02-0173-05

点燃式发动机火焰的高速摄影研究表明^[1,2]不同工作循环燃烧过程的初期(火核形成阶段)就出现了差异,即不同循环(同一稳定工况下)的燃烧过程在点火后的同一时刻(同一曲轴转角)其火焰照片的大小、几何中心位置是不同的;从缸内燃烧压力等得到的表征燃烧过程进展的初期燃烧期、火焰发展期、总燃烧期的数值亦随着循环的不同而异^[3-6]。燃烧循环变动的存在,将导致循环间的最高燃烧温度、压力、排气温度等的不同,而排气中的有害成分 NO 受这些因素的影响非常明显,CO、HC 的排出量也同燃烧过程的好坏密切相关。因此不难推断,各循环的排气的有害成分必然存在着某种程度的差异。作者针对这个问题进行了点燃式发动机排气成分的连续采样记录,并对记录的数据进行了分析研究。

1 试验装置及方法

试验系统主要由发动机、测功器、废气取样分析系统、数据采集分析系统4部分组成。发动机为四缸水冷四冲程 492QBW 型,缸径为 92 mm,冲程为 92 mm,发动机安装的化油器为 209A1 型,测功器为电涡流测功器。废气取样分析系统为 AVL4000 型五气分析仪,排气成分中 CO₂、CO、HC 的测量方法采用红外光分析法,NO、O₂ 为电化学法。数据采集分析系统为奔月 2000 计算机及自编的程序。

试验时,首先按照发动机制造厂的规范调整发动机。试验中采集的主要参数有发动机转速(由 1 缸点火信号获取)、排气中的 CO₂、CO、HC、NO、O₂ 的体积分数(由发动机第 4 缸的排气道出口中心取样)以及水温、排气温、发动机转矩、燃油消耗率等。

由于仪器的响应时间等限制,有害成分及发动机转速的采样时间间隔为 0.7 s。另外考虑到试验用 492QWB 发动机存在着严重的缸间排放差异^[7,8],因此取样探头的位置选为发动机第 4 缸的排气道出口中心。

2 试验结果与讨论

2.1 常温起动、加减速试验结果

起动试验是指水温为室温(试验时为 25℃)时所进行的起动试验,在起动前把 AVL4000 的取样探头插入取样管,并使采样程序运行,然后迅速起动发动机。由于冷机时,润滑油温度低,粘度大,其稳定怠速

收稿日期: 2001-07-11。

基金项目: 北京市科技新星计划资助项目(XD1002K01)。

作者简介: 李兴虎(1962-),男,教授,博士生导师。

仅为 450 r/min 左右。

冷起动时,由发动机第 4 缸排气道出口中心附近采集到的 CO_2 、CO、HC、NO、 O_2 及过量空气系数 ϕ ,如图 1 所示。由于转速信号由 1 缸点火信号(每 2 r 一个信号)的时间间隔计算,排气中的 CO_2 、CO、HC、NO、 O_2 的体积分数是由发动机第 4 缸的排气道出口中心取样,转速信号与 CO_2 、CO、HC、NO、 O_2 的排放信号相比有一滞后时间,故在转速为 0 时已能测得 CO_2 、CO、HC、NO、 O_2 的排放。该结果表明,发动机起动后 O_2 体积分数迅速下降, CO_2 迅速升高,而 CO 及 NO 则是先升高再趋于稳定。特别值得一提的是,起动瞬间的 CO 排放峰值接近为冷起动后稳定值的 2 倍。

为了使冷机很快热起来,有时司机在发动机冷起动后且变速器位于空档时“轰油门”,为了在发动机台架试验中模拟这种操作过程,作者进行了下述“冷加减速”试验,即待发动机冷起动稳定运转后,在无负荷的情况下迅速将节气门开大至 3 000 r/min 左右,然后将节气门回位至怠速位置。

发动机“冷加减速”时, CO_2 、CO、HC、NO、 O_2 的测试结果见图 2。HC、 CO_2 、NO、 O_2 的变化过程相似,是先增加再减少,之后, CO_2 、NO、 O_2 变动幅度较小,HC 变动幅度较大。CO 的变化过程为先减少而后增加。

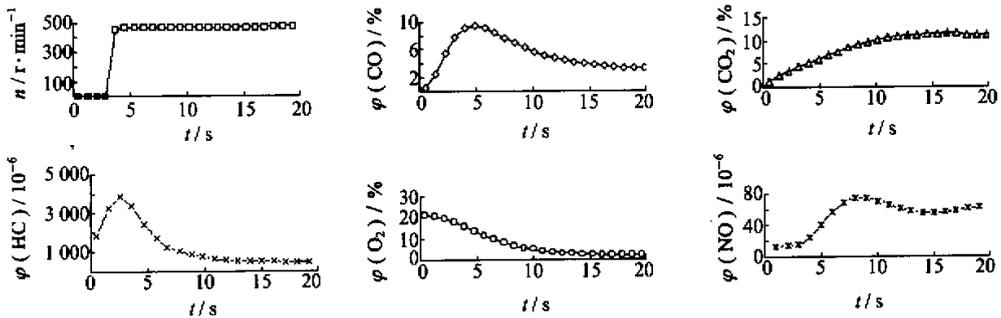


图1 冷起动排放曲线

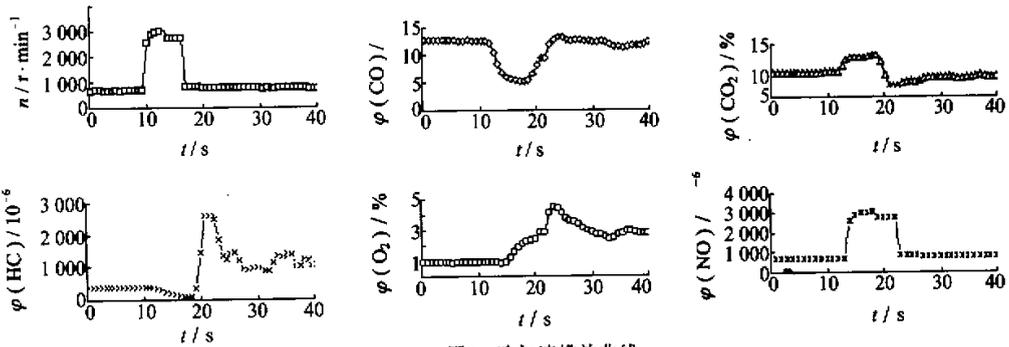


图2 冷加速排放曲线

2.2 热起动及热加减速时的试验结果

作者测量了特殊工况下(汽车在高速行驶时临时停车或行车时熄火后重新起动再加速前进,以及行驶的车辆突然减速或怠速的运行工况)汽车的排气组成的变化,在发动机运转到正常水温之后,发动机起动时及起动后加速、减速时排气中 CO_2 、CO、HC、NO、 O_2 的变化过程。热起动时排气成分的变化见图3。

CO_2 、CO 逐渐增加并趋于稳定,HC 增大后成较大幅度变动。热加减速时的操作过程为在无负荷条件下将发动机节气门突然开大后并迅速关闭。热加减速过程中排气组成的变化如图 4 所示。其变化趋势与冷加减速时相似。另外,由转速曲线可见热启动后的怠速转速较冷启动后高。

2.3 稳定工况时测试结果

为了弄清试验发动机在常见的稳定工况下排气成分的变化情况,作者进行了两组试验,第 1 组采用

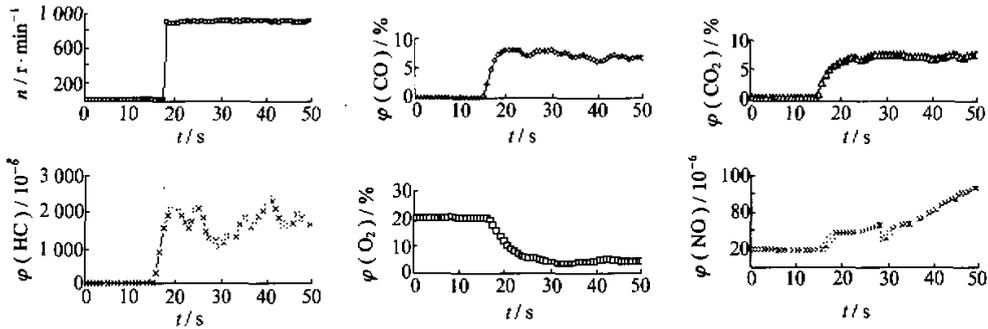


图3 热起动排放曲线

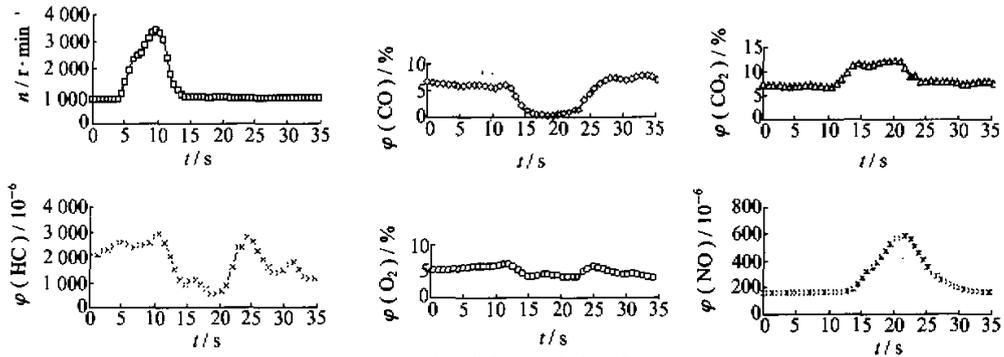


图4 热加速排放曲线

固定转速改变节气门开度(转矩)的方法进行;第2组采用固定节气门开度,改变发动机转速的方法进行,转速分别固定为 $n = 1\,800, 2\,200$ 和 $2\,500\text{ r/min}$, 改变发动机转矩的实验结果见图5~7。

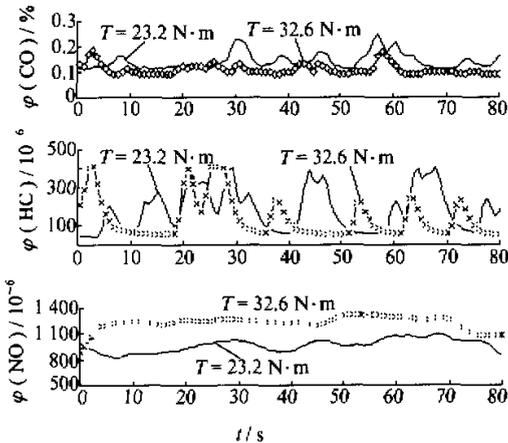


图5 $n = 1\,800\text{ r/min}$ 时排放曲线

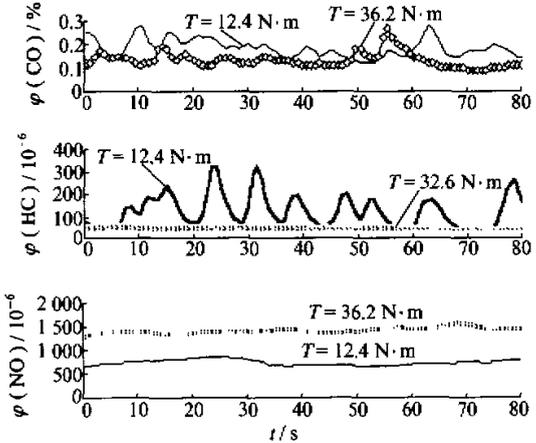


图6 $n = 2\,200\text{ r/min}$ 时排放曲线

由图5~7可知,发动机处于宏观稳定工况时,发动机的排气成分是随时间变化的,在某些情况下变化非常剧烈。为了评价比较变化的剧烈程度,此处采用的各工况下的排气成分变动的平均值(每 N 个采样值 x_i 的算术平均值),标准方差 σ_x , 变动系数 δ_x (定义为标准方差 σ_x 与平均值的比值)见表1。

表1为排气成分 $\text{CO}_2, \text{CO}, \text{HC}, \text{NO}, \text{O}_2$ 及过量空气系数 ϕ 的均值、标准方差及变动系数。由表1可见,转速固定不变时(表中1~9号工况);随着发动机转矩的增加, $\text{CO}_2, \text{CO}, \text{HC}$ 呈降低趋势, NO 的均值呈递增趋势。

节气门开度固定不变,转速变化(表中工况 10~11)时的测量结果如图 8 所示.两种工况下各参数的均值、标准方差及变动系数的值如表 1 所示,可见,在试验范围内,转速对 CO_2 、 CO 、 HC 、 NO 、 O_2 及过量空气系数 ϕ_a 等的影响不明显.

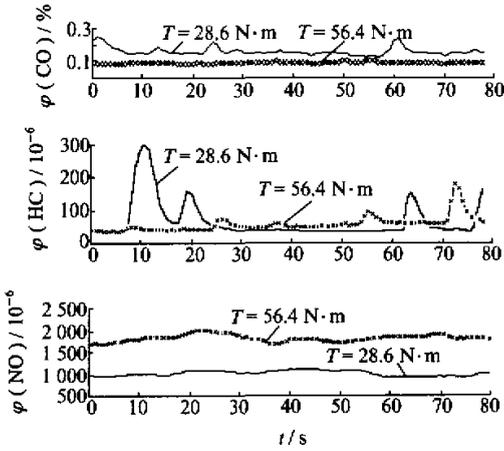
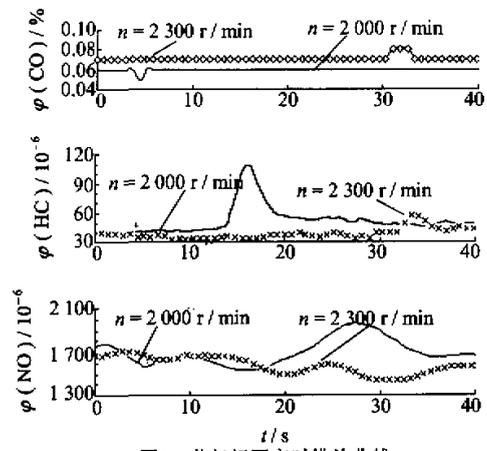
图7 $n = 2500 \text{ r/min}$ 时排放曲线

图8 节气门不变时排放曲线

表1(a) 排气成分 CO_2 、 CO 、 HC 、 NO 、 O_2 、 ϕ_a 的均值

编号	$T/\text{N}\cdot\text{m}$	$n/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	$\varphi(\text{CO}_2)/\%$	$\varphi(\text{CO})/\%$	$\varphi(\text{HC})/10^{-6}$	$\varphi(\text{NO})/10^{-6}$	$\varphi(\text{O}_2)/\%$	ϕ_a
1	10.4	1800	13.195	0.201	509.25	535.45	2.246	1.086
2	23.2	1800	13.293	0.141	182.81	961.5	2.149	1.093
3	32.6	1800	13.052	0.107	137.58	1236.56	2.599	1.128
4	12.4	2200	13.168	0.184	122.38	734.6	2.052	1.096
5	36.2	2200	12.548	0.132	42.98	1403.32	2.911	1.154
6	61.6	2200	12.036	0.076	51.12	1949.56	3.687	1.208
7	28.6	2500	12.28	0.159	64.34	1025.57	3.242	1.174
8	56.4	2500	11.772	0.089	57.30	1822.5	4.9997	1.230
9	74.1	2500	11.043	0.082	55.81	1692.95	4.533	1.266
10	78.3	2300	11.600	0.070	39.00	1668.00	4.600	1.275
11	93.1	2000	11.500	0.060	50.00	1694.00	4.500	1.266

表1(b) 排气成分 CO_2 、 CO 、 HC 、 NO 、 O_2 、 ϕ_a 的标准方差

编号	$T/\text{N}\cdot\text{m}$	$n/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	$\varphi(\text{CO}_2)/\%$	$\varphi(\text{CO})/\%$	$\varphi(\text{HC})/10^{-6}$	$\varphi(\text{NO})/10^{-6}$	$\varphi(\text{O}_2)/\%$	ϕ_a
1	10.4	1800	0.259	0.058	163.596	19.335	0.207	0.012
2	23.2	1800	0.161	0.033	110.303	70.616	0.188	0.010
3	32.6	1800	0.139	0.015	94.282	37.357	0.319	0.015
4	12.4	2200	0.134	0.038	71.129	56.407	0.172	0.010
5	36.2	2200	0.082	0.032	4.294	57.567	0.148	0.008
6	61.6	2200	0.118	0.005	15.812	83.250	0.120	0.008
7	28.6	2500	0.117	0.027	56.827	60.427	0.110	0.006
8	56.4	2500	0.117	0.005	23.340	93.065	0.113	0.007
9	74.1	2500	0.085	0.004	6.554	67.684	0.109	0.008
10	78.3	2300	0.104	0.002	5.545	76.502	0.134	0.010
11	93.1	2000	0.101	0.001	10.441	11.528	0.114	0.008

表1(c) 排气成分CO₂、CO、HC、NO、O₂、φ_s的变动系数

编号	T/N·m	n/r·min ⁻¹	CO ₂	CO	HC	NO	O ₂	φ _s
1	10.4	1 800	0.020	0.288	0.321	0.036	0.092	0.011
2	23.2	1 800	0.012	0.233	0.603	0.073	0.087	0.009
3	32.6	1 800	0.011	0.140	0.685	0.030	0.123	0.013
4	12.4	2 200	0.010	0.207	0.581	0.077	0.084	0.009
5	36.2	2 200	0.007	0.242	0.100	0.041	0.051	0.007
6	61.6	2 200	0.010	0.066	0.309	0.043	0.033	0.007
7	28.6	2 500	0.010	0.170	0.883	0.059	0.034	0.005
8	56.4	2 500	0.010	0.056	0.407	0.051	0.028	0.005 7
9	74.1	2 500	0.008	0.049	0.117	0.040	0.024	0.006 3
10	78.3	2 300	0.009	0.029	0.142	0.046	0.029	0.008
11	93.1	2 000	0.009	0.017	0.269	0.066	0.025	0.006

3 结 论

1) 在发动机常温及热启动过程中, 排放 $\varphi(\text{CO})$ 出现一个峰值. 峰值的最高值约为怠速排放 $\varphi(\text{CO})$ 的 2 倍, 有效地控制该峰值的大小无疑是降低发动机启动工况 CO 排放的一个重要方法. 在发动机加速过程中, CO 的排放曲线出现一个峰谷, NO 的排放曲线也有一峰谷存在.

2) 在发动机处于宏观稳定工况时, 排气中 CO₂、CO、HC、NO、O₂ 都呈现出一定程度的波动, 其中 NO 波动最小, HC 波动最大. CO₂、CO、HC、NO、O₂ 的波动系数的变化范围分别为 0.007~0.020、0.049~0.288、0.1~0.883、0.03~0.077、0.024~0.123.

参考文献:

- [1] 李兴虎, 蒋德明, 沈惠贤. 火花点火发动机燃烧循环变动特性的高速纹影摄影研究[J]. 西安交通大学学报, 1993(1): 95-101.
- [2] PIACHINGER S, HEYWOOD J B. How heat losses to the spark plug electrodes affect flame kernel development in a spark ignition engine combustion[J]. SAE Paper 900021, 1990.
- [3] HILL P G, KAPIL A. The relationship between cyclic variations in spark ignition engines and the small structure of turbulence[J]. Combustion and Flame, 1989(78): 237-247.
- [4] YAMAMOTO. Analysis of cyclic combustion variation in a lean operating S I engine[J]. SAE Paper 870547, 1987.
- [5] 李兴虎. 丙烷混合气发动机燃烧变动研究[J]. 内燃机学报, 1999(1): 71-74.
- [6] 李兴虎, 蒋德明, 沈惠贤. 火花点火发动机压力循环变动特性研究[J]. 内燃机工程, 1993(4): 1-6.
- [7] 李兴虎, 王婷婷, 邢瑞栋, 等. 492WQB 汽油机排放的缸间差异研究[J]. 内燃机学报, 2000, 18(1): 48-52.
- [8] 李兴虎, 金克成, 王征, 等. 多缸汽油机怠速时 HC、CO 排放的缸间差异研究[J]. 北京工业大学学报, 1999, 25(3): 59-63.

实时动态车辆跟驰数据采集方法可以较好地解决跟车状态下驾驶员行为和车辆运行特征的时间序列实测数据的采集问题,为真实反映我国道路交通条件特性的车辆跟驰模型的研究提供坚实的数据支持。

参考文献:

- [1] 鸠洛夫·丹尼尔. 交通流理论[M]. 蒋璜, 任福田, 译. 北京: 人民交通出版社, 1983.
- [2] BRACKSTONE M. Dynamic behavioral data collection using an instrumented vehicle: TRR 1689[R]. Washington D C: TRB National Research Council, 1999. 9-17.
- [3] 高成发. GPS 测量[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [4] HATIPKARASULU Y. A GPS approach for the analysis of car following behavior[A]. TRB, 79th Annual Meeting[C]. Washington D C: National Research Council, 1998. 1-26.

Dynamic Car-Following Behavioral Data Collection of Instrumented GPS Vehicles

ZHANG Zhi-yong, RONG Jian, REN Fu-tian, LIU Xiao-ming

(Transportation Research Center of Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

Abstract: Based on the history of car-following model research, dynamic car-following behavioral data collection method of instrumented GPS vehicle is established, which solves the problem of collecting time serial car-following behavioral data that has puzzled lots of researchers many years.

Key words: GPS; car-following; data collection

上接第177页

Continual Measurement and Analysis of Exhaust Composition of a Gasoline Engine

LI Xing-hu¹, CUI Hai-long¹, ZHANG Xi-zhen², ZHANG Bo-yan¹, HAN Ai-min¹, JIN Ke-cheng¹

(1. College of Environment and Energy Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Liaoning Provincial College of Communications, Shenyang 110122, China)

Abstract: The volumetric component of CO₂, CO, HC, NO and O₂ in exhaust of spark ignition engine was continually measured and analyzed under the condition of its starting, acceleration, and some steady modes. The results show that: (1)There is a peak value on the curve of CO emission at the starting of engine. (2)The variation of HC is the largest among the exhaust compositions. (3)The coefficients of CO₂, CO, HC NO and O₂ present a proper order, which are sequently 0.007-0.020, 0.049-0.288, 0.1-0.883 0.03-0.077 and 0.024-0.123, while engine is in steady operating mode macrographically.

Key words: gasoline engine; air-fuel ratio; exhaust composition; measuring meter of automotive emissions