

# 多缸汽油机怠速时 HC、CO 排放的缸间差异研究

李兴虎 金克成 王 征 郭常陆 李建国

(北京工业大学环境与能源工程学院, 北京, 100022)

**摘 要** 采用与排放的常规测量方法(通常为排气总管取样)、不同的各缸分别取样测量方法, 对 492QC 发动机怠速时的 HC、CO 排放及其缸间差异进行了研究. 结果表明: 试验用发动机各缸的 CO 排放差异不大, HC 的排放差异很大, HC 排放最大的为 HC 排放最小的 10 倍之多. 如能使各缸的 HC 排放水平都能达到排放浓度最小, 则发动机的 HC 排放可降低为由排气总管测得的 HC 体积分数的 30% 左右.

**关键词** CO 排放, HC 排放, 多缸发动机, 怠速  
**分类号** TK421+.5

## 0 引言

随着我国经济的迅速发展以及人民生活水平的提高, 人们对人类赖以生存的环境的要求越来越高. 大气环境的保护已被列为重点之一, 迄今全国不少城市经常处于轻、中度污染之中, 首都北京的局部地区经常处于中度污染<sup>[1]</sup>. 造成这个后果的首要污染物主要有 NO<sub>x</sub>、总悬浮颗粒物、SO<sub>2</sub>、CO 等. 汽车的有害排放物被认为是构成这些首要污染的一个重要部分, 城市中的 CO 的排放及其浓度与交通量有密切关系, 发达国家城市空气中 CO 有 80% 是汽车排放的, 空气中 HC 化合物的总排出量中汽车的排出约占 48%<sup>[2]</sup>; 我国大城市空气中汽车排出的 HC、CO 也占有很大比例, 如北京市的空气中汽车排出的 HC、CO 分别占 63% 和 73%. 我国大城市中由于道路的发展远远滞后于汽车的增长, 使汽车经常处于怠速工况, 因而怠速时的排放受到制造厂、交通管理、环保部门的高度重视, 制造厂在发动机出厂时也注明怠速时 HC、CO 的排放指标<sup>[3]</sup>. 交通管理、环保部门对汽车的尾气也采取了措施, 如北京市在 1998 年开始对在道路上行驶的汽车怠速时的 HC、CO 排放进行检测, 对不符合排放法规的车辆强制安装净化装置. 对于在用车辆多采用后处理净化, 这无疑有一定的效果. 对于新生产的车辆应该从严要求, 发达国家的新车已能做到排放超标时自动报警, 提示司机修理, 我国由于资金及技术等方面的原因还远落后于发达国家. 我国的车用发动机排放普遍偏高, 在现有的技术条件下改进的余地还很大, 必须加强

机内净化研究,把有害排放物尽可能多地消灭在其形成的发动机工作过程之中。对于汽车排放特性的研究多采用从排气总管取气的分析方法,而对多缸机而言,特别是化油器式多缸汽油机,很难保证各缸的进气条件完全相同,因而各缸混合气很难均匀一致。多缸机各缸的排放有无差异以及究竟有多大差异,带着诸如此类的问题,我们打破了排放测量的常规,采用各缸分别取气的测量方法,在492QC发动机上进行了初步尝试。

## 1 实验装置及缸间差异的评价方法

本研究使用492QC发动机,该发动机为四缸四行程水冷式,缸径为92 mm,行程为100 mm,压缩比为7.4,燃烧室形状为浴盆形。试验中空气流量用孔板式空气流量计测量,燃料消耗量用容积法测量,HC、CO的排放量采用怠速红外线气体分析仪进行测量。在各缸排气道的出口中心附近安装了直径为8 mm的取样管,取样管的安装如图1所示。测量时首先使发动机达到正常的热状况,固定怠速量孔油针不变,通过怠速限位螺钉调试发动机,使发动机达到试验工况。发动机稳定运转后,进行排气中HC、CO的测定,对于HC、CO的指示值在一个范围内缓慢变化的工况,测量时取其读数的平均值,同时测量的参数还有发动机的进气量、燃油消耗量、排气温度、机油温度、水温、点火提前角等。



图1 取样管在排气歧管中的安装位置

为了定量地评价各缸排放等的差别,用下式计算了各缸的HC、CO浓度等的偏差率 $r$ 。

$$r_i = (x_i - x_m) / x_m \quad (1)$$

式中 $i = 1, 2, 3, 4$ 依次表示1, 2, 3, 4各缸。 $x$ 表示HC、CO,  $x_m$ 为各缸的平均值,即

$$x_m = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4 \quad (2)$$

可见, $r$ 的值越大则说明该缸的排放偏离4个缸的排放平均值的程度愈大。

## 2 测量结果及分析

### 2.1 不同发动机怠速时各缸排放的HC、CO体积分数及其偏差率

不同怠速转速时各缸排放的HC、CO的体积分数如图2及图3所示。试验时固定怠速量孔油针不变,通过调整怠速限位螺钉改变发动机怠速转速,点火提前角由发动机自带的离心式、真空式自动调整仪调整。由图2、图3可看出,各缸CO排放的差异不大,而HC的排放差异很大。以图中带有正方形记号(发动机转速 $n = 662 \text{ r/min}$ ,点火提前角 $\theta_{ig} = 10^\circ$ )的怠速工况为例,第1缸的 $\varphi(\text{HC})$ 最大( $2.030 \times 10^{-6}$ )、第4缸的 $\varphi(\text{HC})$ 最小( $1.71 \times 10^{-6}$ ),第2及第3缸的 $\varphi(\text{HC})$ 居中(分别为 $5.975 \times 10^{-6}$ 、 $4.21 \times 10^{-6}$ )。第4缸的 $\varphi(\text{CO})$ 最大(4.87%),第1缸的 $\varphi(\text{CO})$ 最小(3.2%)。第2及第3缸的 $\varphi(\text{CO})$ 居中(分别为4.35%、4.45%)。第1

缸的  $\varphi(\text{HC})$  为第 4 缸的 11.87 倍. 可见, 如果各缸  $\varphi(\text{HC})$  都能达到第 4 缸的水平, 则发动机的  $\varphi(\text{HC})$  可降低为  $171 \times 10^{-6}$ , 仅为由排气总管测得的 ( $700 \times 10^{-6}$ ) 24.4% (参见图 11). 如果各缸的  $\varphi(\text{CO})$  都能达到第 1 缸的水平, 则发动机的  $\varphi(\text{CO})$  可降低为 3.2%, 为由排气总管测得的 (3.4%) 94%, 降低不大.

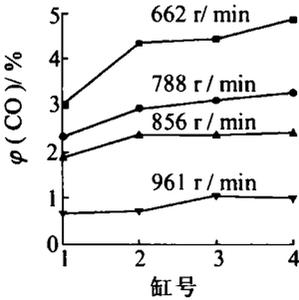


图2 不同怠速转速时各缸排放的CO体积分数

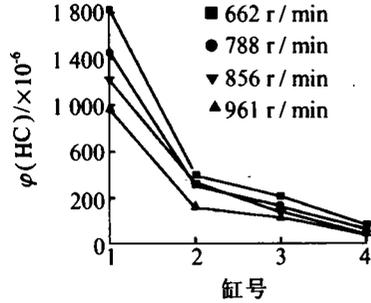


图3 不同怠速转速时各缸排放的HC体积分数

由图 2 及图 3 数据用 (1) 式求出发动机怠速时各缸的 HC、CO 排放的偏差率  $r$  如图 4 及图 5 所示, CO 排放的偏差率的变化范围为  $\pm 25\%$ , 该值远小于 HC 排放的偏差率 ( $-100\% \sim +160\%$ ) 的变化范围.

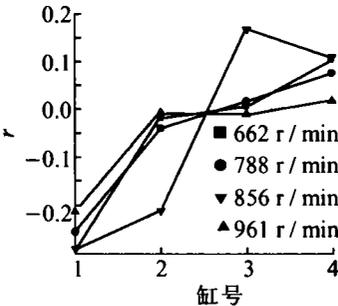


图4 不同发动机怠速时CO排放的偏差率

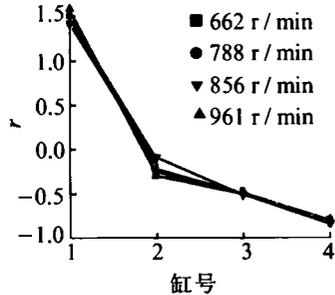


图5 不同发动机怠速时HC排放的偏差率

## 2.2 不同点火提前角时 HC、CO 的排放及缸间差异

为了弄清怠速时不同点火提前角情况下各缸 HC、CO 的排放及其缸间差异, 我们使怠速量孔油针固定不变, 通过转动分电器调整发动机点火提前角, 使点火提前角分别为  $0^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $16^\circ$ , 通过调整怠速限位螺钉使发动机怠速转速 ( $n \approx 650 \text{ r/min}$ ) 不变进行了试验, 其结果如图 6 ~ 图 9 所示. 由此可见, 随着点火提前角减小,  $\varphi(\text{CO})$  呈下降趋势, 这可能是点火提前角减小后, 排气温度升高, CO 进一步氧化的结果. 随着点火提前角减小,  $\varphi(\text{HC})$  的变化趋势不明显, 这可以归结为 CO 与 HC 的产生机理不同. 由图 8 及图 9 可见, CO 排放的偏差率在  $-25\% \sim +20\%$  的范围变化, HC 排放的偏差率的范围受点火提前角影响不大.

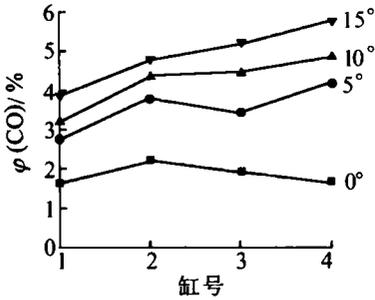


图6 点火提前角对各缸CO排放的影响

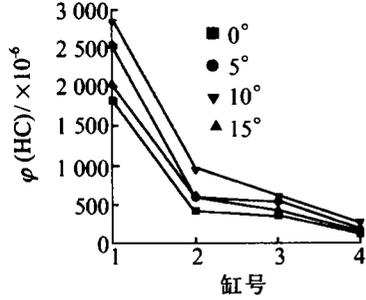


图7 点火提前角对各缸HC排放的影响

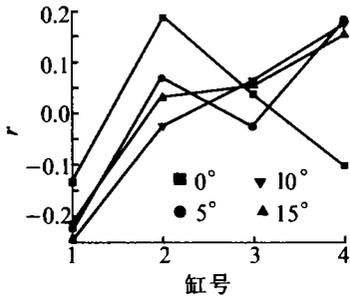


图8 点火提前角对CO排放偏差率的影响

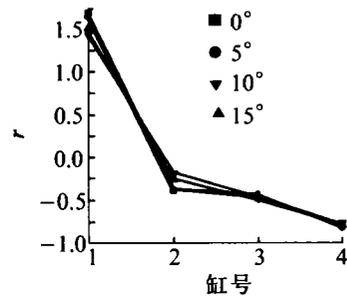


图9 点火提前角对HC排放偏差率的影响

### 2.3 排气总管的排放与各缸的排放均值的关系

由排气总管测得的整机的  $\varphi(\text{HC})$ 、 $\varphi(\text{CO})$  与由各缸的排气道出口处测定的  $\varphi(\text{HC})$ 、 $\varphi(\text{CO})$  的平均值的关系如图 10 ~ 图 13 所示. 在各种怠速转速及点火提前角下, 排气总管的

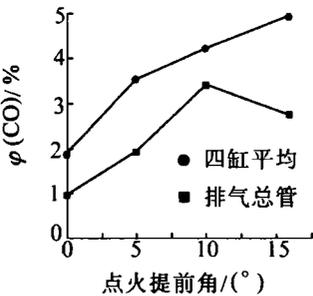


图10 点火提前角对CO排放的影响

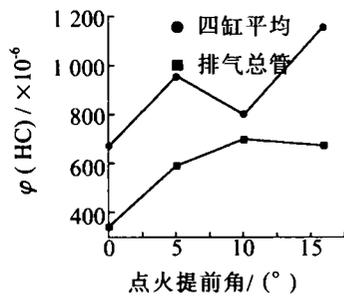


图11 点火提前角对HC排放的影响

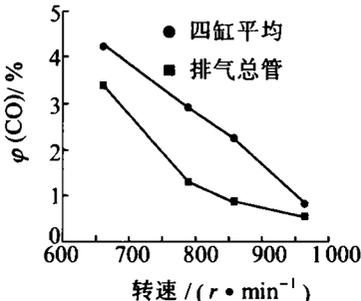


图12 怠速转速对CO排放的影响

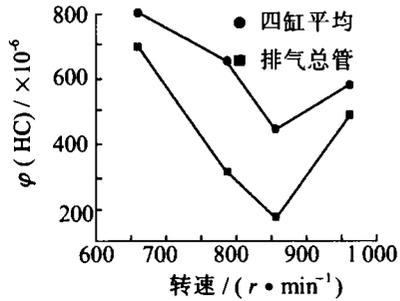


图13 怠速转速对HC排放的影响

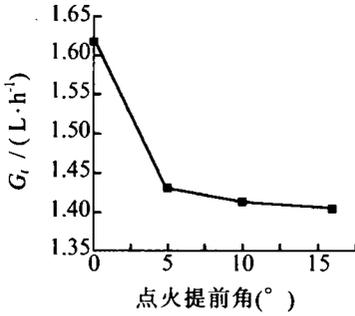


图14 点火提前角对怠速油耗的影响

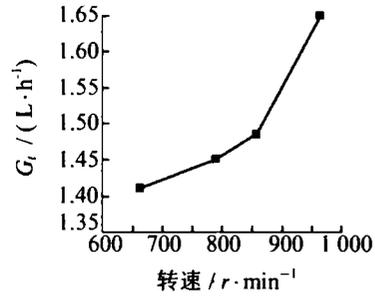


图15 怠速转速对怠速油耗的影响

$\varphi(\text{HC})$ 、 $\varphi(\text{CO})$  总是比各缸的均值小, 这主要是因为排气总管中的 HC、CO 在较高温度中停留的时间较长(本实验中各缸的取气点为各缸排气道出口中心附近, 整机排放的取样点为排放总管出口后约 1 m 处), 因而各缸排出的 HC、CO 会进一步氧化, 使总管的  $\varphi(\text{HC})$  及  $\varphi(\text{CO})$  低于各缸的。由图 10~图 13 还可以看出, 减小点火提前角(常见国产车怠速时的点火提前角多为  $10^\circ$ )或提高发动机怠速转速可有效地降低  $\varphi(\text{CO})$ ; 适当地调整点火提前角或改变发动机怠速转速可降低  $\varphi(\text{HC})$ , 不过应采取谨慎态度, 这由图 14、图 15 可进一步得到说明。如将点火提前角由上止点前  $10^\circ$  推迟到  $0^\circ$  时,  $\varphi(\text{CO})$ 、 $\varphi(\text{HC})$  分别降低到了推迟前的 28.2%、49.1%, 但是每小时耗油量  $G_t$  却增加到了推迟前的 114.5%。又如, 将发动机转速由厂家推荐的 650 r/min 左右提高到 961 r/min 时, 虽然  $\varphi(\text{CO})$  降低到了提高前的 117.4%, 但油耗  $G_t$  却增加到了推迟前的 17.4%。再如将发动机转速由 650 r/min 左右改变为 856 r/min 时, 虽然  $\varphi(\text{HC})$  降低到了改变前的 49.1% (343.5/700), 但是油耗却增加到了改变前的 105.2% (1.486/1.412)。可见, 采用减小点火提前角或提高发动机怠速转速降低  $\varphi(\text{CO})$ 、 $\varphi(\text{HC})$  时, 油耗甚至可增加 17% 之多, 付出的代价非常大。

### 3 结论

- 1) 试验用发动机的各缸 CO 排放的差异不大, HC 的排放差异很大, 第 1 缸的  $\varphi(\text{HC})$  最大, 第 4 缸的  $\varphi(\text{HC})$  最小, 第 1 缸为第 4 缸的 10 倍之多。
- 2) 如能使各缸的  $\varphi(\text{HC})$  都能达到最小, 则发动机的  $\varphi(\text{HC})$  可降低为由排气总管测得  $\varphi(\text{HC})$  的 30% 左右。
- 3) 采用减小点火提前角或提高发动机怠速转速降低  $\varphi(\text{CO})$ 、 $\varphi(\text{HC})$  时, 可能导致油耗增加过大, 应慎重。
- 4) 采用了各缸分别取气的测量方法, 可以有效地了解发动机怠速时的缸间排放差异, 为发动机怠速排放改进提供依据。

### 参 考 文 献

- 1 北京市环境保护检测中心. 北京市空气质量周报. 北京晚报, 1998年2~12月
- 2 Seinfeld J H. 空气污染. 北京: 科学出版社, 1986. 218~248
- 3 王志发, 李桐. 桑塔纳轿车构造与维修. 北京: 北京理工大学出版社, 1997. 6~16

## A Study on the Variational Emission of Unburned Hydrocarbon and Carbon Monoxide from Cylinders in S.I.Engine Under Idle Condition

Li Xinghu Jin Kecheng Wang Zheng Guo Changlu Li Jianguo

( College of Environment and Energy Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing, 100022 )

**Abstract** Experimental study was made on the different emission of unburned hydrocarbon and carbon monoxide from different cylinders in 492QC S.I. engine under idle condition. The sample of the hydrocarbon and carbon monoxide emission was taken from the exhaust port exit of each different cylinder, which shows that the difference of carbon monoxide emission from cylinder to cylinder is not large; while the difference of hydrocarbon emission is very large; in fact the hydrocarbon emission of No.1 cylinder is the largest, and the hydrocarbon emission of No.4 cylinder is the least, if the hydrocarbon emission of all the cylinders can be decreased to the level of No.4 cylinder, the hydrocarbon emission of the experimental engine will at least decrease to 30 % of the volume fraction of HC measured at the general exhaust pipe.

**Keywords** unburned hydrocarbon, carbon monoxide, S.I.engine, idle