

文章编号: 1002-0268 (2000) 01-0066-05

汽油机电控喷油器积炭与汽车动力性、经济性和排放相关性研究

谢素华, 魏显威, 许胜利

(交通部公路科学研究所, 北京 100088)

摘要: 根据电喷车喷嘴积炭的形成机理及影响因素, 采用喷嘴积炭模拟技术, 建立不同级别的喷嘴堵塞率, 通过在AUDI100 2.6E电喷汽车上安装不同堵塞率的喷嘴进行试验, 找出喷嘴堵塞率与汽车加速性能、排放性和燃料经济性的关系。

关键词: 电控喷油器; 积炭; 汽车; 动力性; 排放

中图分类号: U464.136

文献标识码: A

Effect of a Injector Deposits on Power Fuel Economy and Emission of Motor Vehicle

XIE Su-hua, WEI Xian-wei, XU Sheng-Li

(Research Institute of Highway, Beijing 100088 China)

Abstract: According to the mechanism and impact factor of injector deposits, a test method for evaluating the effect of automotive spark-ignition engine fuel on electronic port fuel injector fouling by bench procedure is developed. The test can discriminate gasoline with differing fuel injector fouling tendencies in the bench. The test result is presented. The effect of different fuel injector fouling on performance of automotive is tested on AUDI 100 2.6E car. The test result shows that the more serious the fouling, the worse of power, fuel economy and emission of motor vehicle.

Key words: Electronic port fuel injector; Deposits; Automobile; Performance; Emission

0 前言

随着汽车保有量的增加, 汽车排放对大气的污染日趋严重, 由此, 发达国家相继制定日趋严格的汽车排放法规, 限制汽车排放物中的有害成分CO、HC、NO_x。严格的法规标准不仅限制了汽车排放, 保护大气环境, 而且也促进了汽车技术的飞速发展。

早在50年代, 德国奔驰汽车公司利用制造飞机发动机的经验, 将汽油喷射发动机装置在汽车上。60年代初, 美国发明了电子控制汽油喷射系统, 其后, 德国波许公司将此项技术应用于汽车发动机, 于1967年推出电子控制汽车发动机喷射系统, 并用于大众汽车。此后, 欧美、日本各大汽车厂家也相继采用这种电子燃油喷射装置, 并由单点喷射发展成多

点喷射。这项技术的应用, 大大降低了汽车污染物排放, 提高了汽车燃料经济性和动力性。

由于喷嘴一般都靠近进气阀, 极易受到进气道中各种粉尘和颗粒物的污染。这些污染物在喷嘴上形成积炭, 严重时影响汽车的使用性能。最早发现这类问题的是美国丹佛和科罗拉多地区, 发现汽油喷射汽车有驱动性能下降、失火、怠速不稳和排放增高的现象。因此, 80年代中期, 国外有关电喷系统积炭问题的研究十分活跃。

改革开放以来, 我国进口车中有相当一部分是电喷汽油车, 使用中发现有喷嘴堵塞问题。由于没有经验, 一段时间内, 大多将进口电喷汽车电喷系统换成化油器。近年来, 我国各大汽车制造厂相继引进国外技术, 合资生产电喷汽油小客车, 如奥迪、捷达、桑

塔纳和神龙富康等。随着我国电喷车的增多, 而我国汽油质量又参差不齐, 使用中喷嘴堵塞问题将不可避免地大量出现。因此了解电喷车喷嘴堵塞机理和喷嘴堵塞对汽车使用性能的影响以及解决电喷系统维修问题具有重要意义。

1 喷嘴积炭的形成机理

喷嘴积炭绝对量很小, 大约只有 $10 \sim 15 \mu\text{g}$, 但由于喷油孔隙很小, 很少的积炭也会降低喷嘴流量。据资料介绍, 喷油孔处 $6 \mu\text{m}$ 厚的积炭就使喷嘴流量降低 26% , 而在堵塞的喷嘴上曾发现过有 $15 \mu\text{m}$ 厚的积炭。

大量研究表明, 积炭分为两层: 底层和外层。底层基本上是一层薄薄的碳质(含碳 $60\% \sim 85\%$), 比较光滑; 外层无机物含量较高, 呈颗粒状。

研究发现, 喷嘴积炭的形成与燃油中烯烃含量有很大关系, 特别是象 1, 3 戊二烯和 1, 3 丁二烯这样的配对双烯对积炭形成影响很大。在普通稳定的汽油中加入少量双烯, 喷嘴积炭就会显著增加。将双烯去除后, 发动机的积炭也随之降低。

由于喷嘴一般靠近进气阀上方, 在发动机运行时, 喷嘴不断喷油使积炭不及聚合就被冲掉。发动机熄火后, 喷嘴处于热浸状态。喷嘴顶部的温度骤然升高, 达到 $80 \sim 100^\circ\text{C}$, 见图 1, 在这种情况下燃料的轻质组分挥发, 重质组分滞留在喷针表面, 这些重质的碳氢氧化物在高温环境下发生氧化和聚合反应, 形成胶质和树脂状沉垢。而沉垢又吸附周围的颗粒物质, 如空气中的粉尘, 由 PCV 和 EGR 系统进入进气道的颗粒物等, 这些粘稠物经一定时间高温烘烤变成硬质积炭。常用针阀式喷嘴结构和积炭部位示意图见图 2。

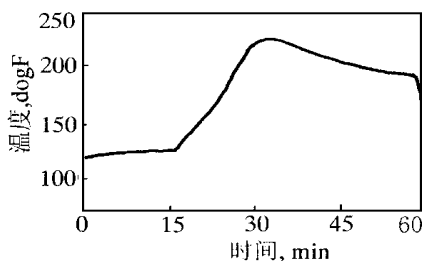


图 1 汽车上喷嘴温度与热浸时间的关系

2 喷嘴积炭的影响因素

喷嘴积炭的产生是一个复杂的过程, 影响因素很多, 主要有喷嘴的质量、汽油的组分、喷嘴工作温度和压力等等。研究喷嘴积炭时我们用自行研制的喷嘴

积炭模拟试验台进行试验, 用喷嘴的堵塞率表示喷嘴积炭的多少, 堵塞率越大说明喷嘴上的积炭越多, 反之亦然。下面分别介绍各种因素对喷嘴积炭的影响。

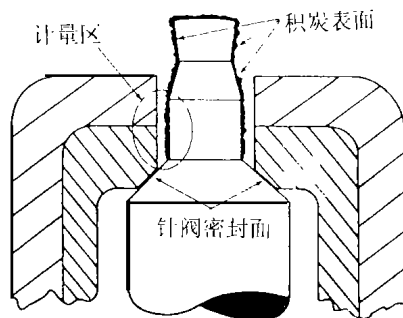


图 2 针阀式喷嘴结构和积炭部位示意图

1. 喷嘴质量的影响

研究喷嘴堵塞时发现, 喷嘴关闭不严, 会导致喷嘴发生渗油现象。喷嘴关闭后渗油速度对喷嘴产生积炭影响很大。图 3 表示无渗油喷嘴和有渗油喷嘴在同样试验条件下的堵塞率。可以看出, 喷嘴有无渗油对生成积炭多少至关重要。而且随着试验时间的增加, 喷嘴渗油的影响就越大。

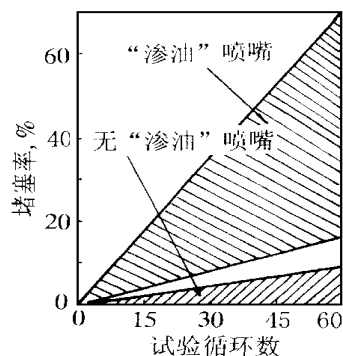


图 3 喷嘴渗油对喷嘴积炭的影响

2 汽油组分的影响

国外许多研究已经表明, 汽油中烯烃含量, 特别是双烯烃含量对喷嘴积炭影响最大。双烯烃在积炭形成的最初阶段有促进积炭生成的作用, 而单烯烃则在积炭的堆积过程中作用最大。为了解汽油中烯烃对积炭影响程度, 对比试验 3 种不同烯烃含量的汽油。3 种汽油的理化性能见表 1。

试验结果见图 4。结果表明, 汽油 A 使喷嘴堵塞最严重, 其次为汽油 B 和 C。从表 1 可以看出, 汽油 A 的烯烃含量最高, 双烯数也最大; 汽油 C 的烯烃含量最低, 双烯数也最小, 不到 0.1。由此验证了汽油中烯烃含量对喷嘴积炭的贡献最大。原因是不稳定的烯烃组分经氧化和聚合后易于生成积炭。

汽油 C 使喷嘴产生的积炭最少。由此, 我们将

表 1

理化指标	汽油 A	汽油 B	汽油 C
API 比重度	60.5	62.7	62.6
雷氏蒸汽压, 磅/英寸 ²	8.5	12.5	10.0
稳定性, min	465	220	—
洗前胶质, mg/ml	8.5	1.2	5.6
洗后胶质, mg/ml	1.4	0.2	0.4
不饱和烃含量, % (Vol)	58	59	75
芳香烃含量, % (Vol)	24	28	21
烯烃含量, % (Vol)	18	13	3.5
双烯数	1.66	1.36	<0.1
硫含量, % (wt)	0.036	0.026	<0.01
馏程, °C			
10%蒸馏温度	52	40	52
50%蒸馏温度	101	82	104
90%蒸馏温度	182	160	154
终馏点蒸馏温度	210	210	204

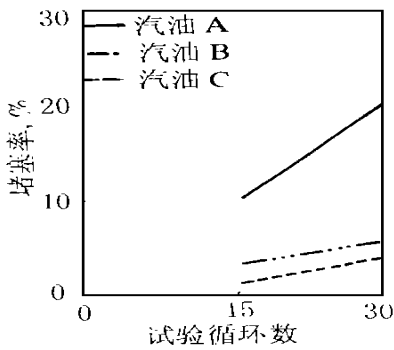


图 4 烯烃含量对喷嘴积炭的影响^[1]

汽油 C 作为基础油，添加 3%（重量比）的单烯烃进行同样的试验，发现喷嘴积炭增加不明显；加 6%（重量比）单烯烃后喷嘴积炭增加显著。另外，我们在添加了 3%（重量比）烯烃的汽油 C 中加入 0.4%（重量比）的双烯烃进行试验，喷嘴堵塞率从原来的 4% 增加到 12%。图 5 表明试验结果。

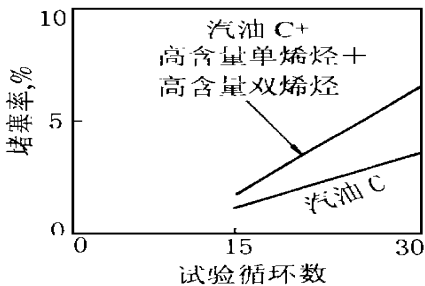


图 5 单烯烃和双烯烃对喷嘴积炭的影响^[1]

3. 喷嘴工作温度的影响

为了评价喷嘴工作温度对积炭生成的影响，选择汽油 A 在模拟台架上设定 3 种温度进行试验，即 104 °C、124 °C、143 °C。试验结果见图 6。由试验结果明显看出，喷嘴工作温度越高，喷嘴产生的积炭也

越多。因此，汽车设计者应注意避免喷嘴处工作温度过高。

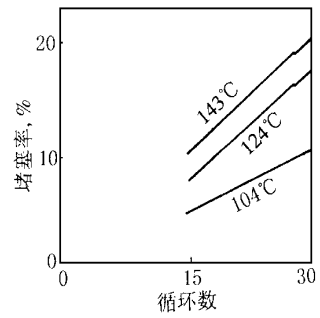


图 6 喷嘴温度对积炭的影响^[1]

4. 喷油压力的影响

为评价喷嘴工作压力对积炭的影响，在模拟试验台上设定 4 组喷油压力，即 0 ~ 0.7 kg/cm²、3.5 ~ 3.85 kg/cm²、5.25 ~ 5.6 kg/cm²、7 ~ 7.7 kg/cm²，考察喷嘴在 4 种压力下积炭的生成情况。结果表明，随着喷油压力的增加，喷嘴堵塞率也增加，见图 7。研究同时发现，随着喷油压力的增加，喷嘴“渗油”现象也越严重。可以说喷油压力与喷嘴关闭不严对积炭的影响是相互关联的，难以区分各自的影响。

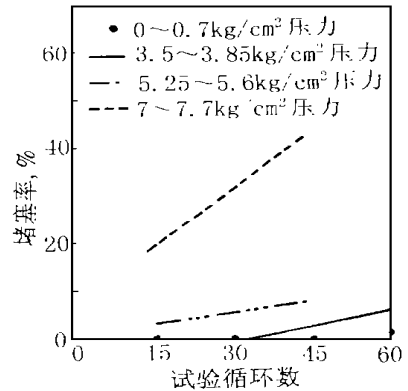


图 7 喷嘴压力对积炭的影响^[1]

3 喷嘴积炭试验模拟方法

电喷车喷嘴积炭不是一朝一夕产生的，如果用实车进行喷嘴积炭累计试验，不仅费钱耗时，而且试验参数和条件不易控制。为此，我们开发了喷嘴积炭模拟机，模拟喷嘴在汽车中的工作环境。模拟机结构示意图见图 8。为在喷嘴快速形成积炭，我们设定模拟机工作程序为：15s 脉动喷油，50min 加热喷嘴（即热浸），10min 自然冷却，如此为 1 个循环。每 22 个循环后测试流量。模拟机上喷嘴温度随时间变化情况与图 1 相似，喷嘴随热浸时间的变化规律相同，但为了加速试验进程，喷嘴在模拟机比在汽车上经历的

热浸温度更高，条件更苛刻。研究中我们采用上述的循环在模拟机上进行喷嘴积炭积累，试验结果见表 2。

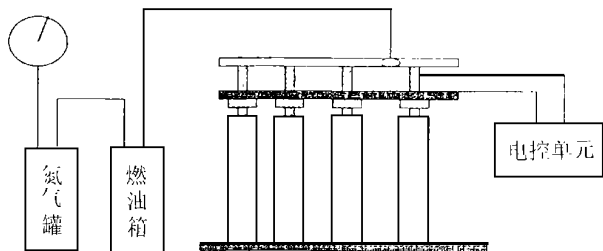


图 8 喷嘴积炭模拟机结构示意图

在积炭模拟机上喷嘴堵塞试验结果 表 2

循环数	喷嘴 1	喷嘴 2	喷嘴 3	喷嘴 4	喷嘴 5	喷嘴 6	平均
22	22.84	3.08	6.94	6.5	0	13.19	8.76
44	30.22	17.1	9.42	11.4	6.9	11.7	14.46
66	35.71	19.64	14.66	19.18	13.65	13.19	19.34

由表 2 可以看出，各喷嘴的堵塞率差别较大，随着试验时间的增加（即循环数增加）各喷嘴积炭均呈增长趋势。这与汽车使用情况吻合：汽车行驶里程增加，喷嘴堵塞随之加重，与表 2 呈现的喷嘴堵塞趋势相似。由此证明，用喷嘴积炭模拟机进行燃油和燃油添加剂对喷嘴积炭影响试验是可行的。

4 喷嘴积炭与汽车使用性能的相关研究

为考察喷嘴积炭对汽车使用性能的影响，1998 年 3 月底至 4 月底，我们进行了喷嘴积炭积累试验和喷嘴积炭后的汽车各种性能试验。试验程序为：先在喷嘴积炭模拟机上将喷嘴进行不同程度的污染（累计积炭），喷嘴堵塞率分别为 8.76%、14.46% 和 19.34%，然后，将有积炭的喷嘴分别装在汽车上，进行汽车加速性能试验和十五工况排放试验。根据十五工况排放结果，计算出喷嘴不同堵塞率时的油耗水平。

试验车为 Audi 100 V6 2.2E 电喷车，车牌号为京 A. L0582。

1. 喷嘴积炭对汽车加速性能的影响

喷嘴积炭对汽车加速性能的影响试验按 GB/T12543-90 进行，汽车最高档从 40km/h 加速到 120km/h。试验在交通部公路交通试验场进行。清洁喷嘴和不同堵塞率喷嘴的加速性能试验结果见表 3。

试验结果表明，随喷嘴积炭增多，汽车加速时间分别增加了 2.36%、10.88% 和 8.0%，说明汽车的

加速性能变差。

喷嘴堵塞率对汽车加速性能影响 表 3

车速 (km/h)	堵塞率 (%)			
	0	8.76	14.46	19.34
40	0	0	0	0
50	3.21	3.28	3.55	3.5
60	6.36	6.43	6.94	6.79
70	9.47	9.62	10.19	10.05
80	12.55	12.56	13.66	13.39
90	15.61	15.89	16.89	16.7
100	18.66	19.03	20.25	20.02
110	21.78	22.26	23.78	23.39
120	25	25.59	27.51	27

2. 喷嘴积炭对汽车排放性能的影响

喷嘴积炭对汽车排放性能的影响试验是在底盘测功机上进行的。依据 GB11642《轻型汽车排气污染物测试方法》测试了不同喷嘴堵塞率时十五工况汽车排放。依据 GB/T3845《汽油车排气污染物的测量怠速法》测试了不同喷嘴堵塞率时 800r/min 和 2000r/min 时汽车怠速排放。测试结果见表 4 和表 5。

喷嘴堵塞率对怠速排放的影响 表 4

堵塞率 (%)	HC ($\times 10^{-6}$)		CO (%)	
	850r/min	2000r/min	850r/min	2000r/min
0	115	50	0.45	0.5
8.76	475	125	1.9	1.35
14.46	275	230	3.4	2.35
19.34	700	220	2.9	2.15

表 4 说明，汽车怠速时，CO 和 HC 的排放随喷嘴积炭而增加，低怠速比高怠速排放浓度高。850r/min 和 2000r/min 时，喷嘴堵塞近 20% 后，CO 分别增加了 6.5 倍和 3.7 倍，HC 分别增加了 6.3 倍和 3.4 倍。

表 5 数据说明，汽车十五工况 CO 和 HC 的排放随喷嘴堵塞率增加而增加，变化趋势与汽车怠速时相同。与清洁喷嘴相比，堵塞率 8.76%、14.46%、19.34% 后，CO 分别增加了 123%、194%、207%；HC 分别增加了 49%、53%、75%；NO_x 排放变化趋势与 CO 和 HC 相反，随喷嘴堵塞率增加而降低。这是因为喷嘴堵塞率增加时，由于各喷嘴堵塞率不同，电喷控制系统只能根据喷嘴的平均堵塞率控制喷嘴的喷油量。由于各喷嘴堵塞率相差较大，堵塞率高于平均值的气缸喷油量必然少，缸内空燃比高，混合气偏稀。反之，缸内空燃比低，混合气偏浓。而形成 NO_x 最佳条件是高温富氧，即空燃比接近理想空燃

比。空燃比过高，虽然氧含量增加，燃烧温度下降，不利于形成 NO_x。气缸内空燃比过低，氧含量不足，也不利于 NO_x 的形成。由此，与清洁喷嘴相比，堵塞率达 8.76%、14.46%、19.34% 后，NO_x 分别降低了 16%、29%、29%。

3. 喷嘴积炭对燃油经济性的影响

喷嘴积炭对汽车燃油经济性的影响用十五工况油耗变化来表示。根据欧共体排放法规中建议的碳平衡法，计算喷嘴不同堵塞率时的油耗。油耗计算公式如下

$$\text{油耗} = \frac{K}{0.866 \times (\text{HC}) + 0.429 \times (\text{CO}) + 0.273 \times (\text{CO}_2)}$$

对于汽油车 $K = 6.40$

由此得到汽车油耗随喷嘴堵塞率的变化趋势，即油耗随喷嘴堵塞率增加而增加。增加幅度分别为 5.73%、4.76%、5.87%，见表 5。

喷嘴堵塞率对十五工况排放和油耗的影响 表 5

堵塞率 (%)	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	CO ₂ (g/km)	油耗 (L/100km)
0	11.5	1.75	2.56	311.5	1.84
8.76	25.77	2.61	2.15	305.6	2.40064
14.46	33.98	2.67	1.81	289.3	2.76544
19.34	35.49	3.06	1.82	289.5	3.07776

5 结论

通过喷嘴积炭对汽车使用性能的影响研究表明，汽油电喷车在使用过程中必然产生积炭。喷嘴积炭达到一定程度后，尤其是各喷嘴堵塞相差较大时，氧传感器只根据所有汽缸废气的平均含氧水平控制空燃比。发动机平均空燃比与各缸实际需要空燃比有一定差距，发动机电控系统对这种差距不能进行有效的补偿，致使影响汽车的使用性能，即汽车驱动性能下降，油耗增加，废气排放大幅度增加。因此，建议：

1. 加强喷嘴质量的监督检验，避免不合格产品进入使用领域；
2. 提高汽油质量，降低汽油中烯烃含量；
3. 开发高质量的汽油清净剂，并加强汽油清净剂的质量监督检查，电喷车应燃用加有清净剂的燃油。

参考文献：

[1] Robert C Tupa. A Vehicle Test Technique for Studying Port Fuel Injector Deposits — A Coordinating Research Council Program. USA: SAE 890213

[2] Gautam T. Kalghatgi Deposits in Gasoline Engines — A Literature Review. USA: SAE 902105

[3] Robert C Tupa. Port Fuel Injector Restriction Effects Studied. USA: Automotive Engineering, 1988

简讯

高科技编织临时道路——专载重型车辆和飞机

由法国 Deschamps 公司开发的 Temp. Trail 临时编织道路，可专门乘载重型车辆和飞机。Temp. Trail 由高质量的强化聚酯覆盖，采用专利的开放式交叉编织技术，波状表面加强了气胎车轮的附着力。该超级负重质料有坚而有力的复合条纹，利于分散重型交通工具的负荷，并且增加地面的承受力。它特别适合铺设在不便于交通运输的地形上，例如飞机场、建筑工地等。

由于 Temp. Trail 的编织结构富弹性且无缝合线，所以能抵抗挤压和撕扯；即使在沙滩、沼泽或草原上，都可以开出畅通无阻的道路，而且免除预先修复地面的工序。铺设 Temp. Trail 后用钢桩或者地锚便可把位置立即固定。

Temp. Trail 是防腐蚀的，能抵抗石油和燃料的喷溅。在 -40 ~ +80 °C 温度下足以保持品质稳定，同时可在任何天气下使用。它无需特别护理，只消利用高压清洗机便可快速清理干净。Temp. Trail 在几分钟之内可被卷起收存，不必特殊的储存条件。

Temp. Trail 共有六种标准长度，分别为 4、5、10、25、50 和 100m，标准宽度有 2.10、3.00 和 4.20m。Temp. Trail 体积轻巧，可由直升机运输，减少后勤工作，并缩短因要建设临时道路而造成的延误。