

# 汽车排放超标的原因分析与修复 (下)

文/广东 王圉



王圉

(本刊专家委员会委员)

副教授, 高级企业培训师, 西安公路交通大学汽车运用工程专业硕士, 1963年生。广州市汽车摩托车维修行业协会副会长兼技术质量专委会主任; 广州市交通技师学院高级培训导师; 广州市职业技能教学研究会机动车专委会副主任; 广东省职业教育与培训协会专家委员会委员。

(接上期)

## 二、压燃式发动机类

压燃式发动机一般使用柴油作为燃料, 其主要成分为HC化合物。当柴油燃料以雾状喷入燃烧室后, 一边蒸发, 一边与空气混合, 同时由于受压缩高温的作用, 被裂解为C离子和H离子。当温度进一步升高并超过其自燃温度后, 开始点火燃烧, 但燃烧开始后, 喷油仍会持续一段时间。因此, 燃烧区域会很快集中到喷雾与空气的交界处, 喷油器喷出的油雾看起来就变成了“火苗”。在“火苗”区域, 中心部分为燃料, 一边蒸发, 一边向外部扩散; 外部区域为空气及废气, 也向中心部分扩散。两种“扩散”运动的交界区域就是发生剧烈化学反应的区域, 即发生燃烧的区域。燃烧过程中, C离子与O<sub>2</sub>发生反应, 生成CO<sub>2</sub>, H离子与O<sub>2</sub>发生反应, 生成H<sub>2</sub>O。

随着燃烧的进行, 废气越来越多, C离子与O<sub>2</sub>的接触越来越困难, 越来越多的C离子不能与O<sub>2</sub>发生反应, 于是便以游离C的形式随废气排放出来, 从而形成碳烟排放。虽然部分C离子与O<sub>2</sub>反应不彻底, 还会生成CO, 但由于压燃式发动机中混合汽的总体浓度较稀, O<sub>2</sub>比较充足, 生成的CO随后会与O<sub>2</sub>进行进一步反应, 从而转变为CO<sub>2</sub>。因此, 压燃式发动机CO的排放量微乎其微。

由于H离子的活性比C离子大得多, 因此与O<sub>2</sub>的反应也比较彻底。所以, 废气中不会存在游离H离子。

由于燃烧高温的作用, 空气中的N<sub>2</sub>还会与O<sub>2</sub>发生反应, 生成NO<sub>x</sub>。因此, 压燃式发动机排放的污染物中还会存在部分NO<sub>x</sub>。

综上所述, 压燃式发动机排放污染物的主要成分为碳烟和NO<sub>x</sub>。

### (一)压燃式发动机排放的污染物及其形成机理

#### 1.碳烟

压燃式发动机排放的污染物主要是碳烟, 其产生的根源是燃料燃烧不完全或窜机油(机油的不完全燃烧产生碳烟)等。燃料或机油在高温条件下裂解为C离子和H离子, 其中C离子与O<sub>2</sub>不能接触, 或接触时温度不够, C离子便以游离C的形式排出发动机, 从而形成碳烟。

虽然压燃式发动机中混合汽的总体浓度较稀, 但由于其燃烧过程为“扩散式”, 燃料与空气的接触面积

较小, 加上已燃废气的影响, C离子与O<sub>2</sub>的接触范围也较小, 碳烟的产生也就在所难免。

研究表明, 燃烧初期, 产生的碳烟较少, 到了燃烧后期, 碳烟的产生量会增多, 这是由于越到燃烧后期, 废气含量越多, C离子与O<sub>2</sub>的接触越困难所导致的。

由此可见, 喷油雾化情况越好、燃烧室内气流运动越强烈、汽缸压力越高(C离子与O<sub>2</sub>的距离越近)、燃烧室内残余废气越少、喷油量越少(混合汽越稀), C离子与O<sub>2</sub>的接触就越容易, 碳烟的产生量也就越少。除此之外, 燃烧温度越高, 碳烟的产生量也会越少。

目前, 部分电控共轨式发动机采用多次喷射技术, 即将一个工作循环的喷油量分几次喷入燃烧室, 其目的也是为了增大C离子与O<sub>2</sub>的接触机会, 从而大幅降低碳烟的排放。部分共轨式发动机所采用的高压喷射技术, 是利用较高的喷射压力来改善喷油的雾化情况, 从而增大C离子与O<sub>2</sub>的接触机会, 同样也可以大幅降低碳烟的排放。不过, 这种高压喷射技术对喷油器的要求很高, 所谓的“压电式喷油器”就是基于这种高要求而设计的。

一般情况下, 喷油压力越高, 一个工作循环中喷油的次数越多, 碳烟排放就越少, 这是现代压燃式发动机喷油压力越来越高、一个工作循环中喷油次数越来越多的根本原因。

#### 2.CO和HC

由于压燃式发动机中混合汽的总体浓度较稀, 即使在燃烧过程中产生了部分CO和HC, 它们也会在膨胀与排气过程中与残余的O<sub>2</sub>进一步反应, 变成无害的CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O。因此, 压燃式发动机的CO、HC排放要比点燃式发动机小得多。也正因如此, 目前各种排放法规对压燃式发动机CO、HC的排放还没有作出严格的限制。

#### 3.NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub>的形成机理与点燃式发动机的形成机理相同, 即由于燃烧高温的作用, 空气中的N<sub>2</sub>与O<sub>2</sub>发生反应, 生成了NO<sub>x</sub>。但压燃式发动机对NO<sub>x</sub>排放进行控制的技术要比点燃式发动机复杂得多, 这是因为NO<sub>x</sub>排放控制的要求与碳烟控制的要求及其功率、油耗等性能的改善要求是相互矛盾的。比如, 凡是能够降低燃烧温度的措施(如EGR、可变配气技术等)都可以降低NO<sub>x</sub>排放, 但降低燃烧温度必然会带来碳烟排放的增多和功率、油耗等性能的恶化; 反之, 凡是能提高燃烧温度

的措施(如废气涡轮增压技术、喷油雾化状况的改善、喷油速率控制、压缩比的提高等)都可以提高功率、降低油耗及碳烟排放,但提高燃烧温度又必然带来NO<sub>x</sub>排放的增多。因此,为了平衡各方面的要求,压燃式发动机的控制技术变得复杂起来。排放标准越高的压燃式发动机,其控制技术就越复杂。

## (二)压燃式发动机排放控制标准、相关技术措施及检测方法

### 1.压燃式发动机排放控制标准

欧洲、美国、日本世界三大汽车排放控制标准中,对于压燃式发动机排放的控制主要是针对碳烟和NO<sub>x</sub>。我国排放法规主要参照欧洲标准,国I~国V标准基本对应欧I~欧V标准。国III标准与欧III标准的唯一区别是国III标准发动机要求加装OBD系统,而欧III标准却没有这一要求。

虽然欧I~欧V标准对NO<sub>x</sub>排放的限制越来越严格,但考虑到各个地方的实际情况,比如,广州市目前参照实施的DB44/539-2009标准中,只是对压燃式发动机的碳烟排放作了相应的限制,暂时还未限制NO<sub>x</sub>的排放。因此,距离相应的国III标准还有相当的距离。以下仅对碳烟排放控制问题进行探讨。

### 2.压燃式发动机排放控制的技术措施

传统机械高压油泵式发动机只能满足国I、国II标准的要求,国III标准及国III标准以上的发动机则必须采用电控式。目前比较常见的普通电控共轨式发动机、电控EGR式发动机也只能满足国III标准的要求。要满足国IV、国V标准的要求,还需要采取更加特殊的技术措施,如添蓝技术(简称SCR,即向排气管中喷射尿素)、颗粒捕捉技术(即在排气管中收集与处理碳黑)、可变涡轮增压技术、喷油速率控制技术等,其电子控制系统会更加复杂。

### 3.压燃式发动机排放检测方法

2011年6月1日起,广州市对压燃式发动机车辆的排放采用“加载减速法”进行检测,此检测法与以前采用的“自由加速法”的最大区别是“加载减速法”是在有负载(100%、90%、80%三种负载)的情况下进行检测,而“自由加速法”是在空载的情况

下进行检测。显然,“加载减速法”更加接近汽车的真实运行工况,但检测过程需要底盘测功机等昂贵的设备,一般的汽车修理厂不具备这样的条件,只能将车辆送往专业检测线进行检测。

两种检测结果虽然可比性不大,但还是有一定的规律,例如用“自由加速法”检测合格的车辆,再用“加载减速法”进行检测,其结果未必合格。但用“自由加速法”检测不合格的车辆,再用“加载减速法”进行检测,其结果一般也不会合格。因此,在车辆送检之前,可以先在维修厂用“自由加速法”进行初检与维护,这在一定程度上可以提高车辆送检的合格率。

## (三)压燃式发动机排放污染物生成的影响因素

凡是造成燃烧室内C离子与O<sub>2</sub>不能充分接触、燃烧温度降低以及混合汽过浓的因素都会引起碳烟排放的增多。这些因素包括:燃料雾化不良、喷油量过大、喷油正时不良、燃烧室内气流运动不良、汽缸压缩压力不足、进排气不畅、发动机温度过低、窜机油、燃料品质差或牌号不当、冷却系统向燃烧室漏水(会降低燃烧温度)、EGR阀开度过大等。

### 1.燃料雾化不良

燃料的雾化情况直接决定燃料与空气的混合情况,即C离子与O<sub>2</sub>的接触情况。混合不良的直接后果就是碳烟排放增多。造成柴油雾化不良的原因有喷油压力不足、喷油器故障等。

(1)喷油压力不足的原因可能是:①喷油器压力调整不当或喷油器滤芯阻塞(普通机械式柴油机);②供油系统阻塞(包括高低压油路、滤清器);③输油泵或高压油泵磨损或漏油(普通机械式柴油机);④共轨压力过低(共轨式柴油机),主要是因为供油系统阻塞(包括油路、滤清器、滤网)、高低压油泵磨损或其他故障、共轨压力传感器故障、流量控制阀及其控制电路故障、限压阀故障(泄漏)、限流阀故障(犯卡或阻塞)、ECU故障等引起的。

(2)喷油器故障是由喷孔部分堵塞或滴漏,使喷出的燃油不能很好地雾化而引起的;型号不当则可能造成喷油过量。

### 2.喷油量过大

喷油量过大引起混合汽过浓而造成碳烟排放增多,其原因包括:

(1)喷油器压力调整过低或滴漏(普通机械式柴油机)。

(2)高压油泵调速器故障或油量调整螺钉调整不当(普通机械式柴油机)。

(3)共轨压力过高(共轨式柴油机),主要是由共轨压力传感器故障、流量控制阀故障、流量控制阀电路故障、ECU故障等引起的。

(4)水温、气温、空气流量、油门踏板等传感器信号漂移(共轨式柴油机)。

(5)ECU故障(共轨式柴油机)。

### 3.喷油正时不良

喷油过迟,燃烧时汽缸压力已经开始下降,造成燃烧温度过低。

### 4.燃烧室内气流运动不良

这由发动机的设计因素决定的,这里不作讨论。但进排气不畅会导致燃烧室内气流运动减弱(对直喷式燃烧室而言),从而影响燃料与空气的混合。

### 5.汽缸压缩压力不足

导致燃烧温度过低而造成碳烟排放增大。其原因有汽缸及活塞过分磨损、气门密封不严、汽缸垫漏气等。

### 6.进排气不畅

引起混合汽过浓、残余废气过多、燃烧室内气流运动减弱等,综合影响之下造成碳烟排放增大。其原因有进气滤清器阻塞、涡轮增压器不良、中冷器阻塞、排气系统阻塞等。特别注意的是排气系统阻塞一般会出现发动机动力不足、“喘气”及过热等现象。

### 7.发动机温度过低

引起燃烧温度过低而造成碳烟排放增多。其原因有节温器故障、风扇离合器故障、风扇控制电路故障、小循环水路阻塞等。

### 8.窜机油

窜入的机油非常难以燃烧而形成碳烟排出汽缸(冒蓝烟)。其原因有机油加注过量、机油过稀、汽缸及活塞过分磨损;活塞环选择不当或装反、气门及导管间隙过大;曲轴箱通风不良(造成曲轴箱压力过高等)。

### 9.燃料品质差或牌号不当

燃料品质差既影响雾化,又影响燃烧;

牌号不当则对雾化性能影响较大。

### 10. 冷却系统向燃烧室漏水

水蒸气吸收热量, 降低了燃烧温度, 造成碳烟排放增多(冒白烟)。

### 11. EGR 阀开度过大

造成燃烧室内残余废气过多。其原因包括EGR阀犯卡、EGR阀控制管路及杆件故障、EGR阀控制电路故障等。

### (四) 压燃式发动机排放超标的检修程序

1. 用故障诊断仪读取故障码, 根据故障码, 进行针对性维修(电控柴油机)。

2. 用故障诊断仪读取数据流, 判断相关数据是否正常, 不正常则进行有针对性维修(电控柴油机)。这些数据包括: 油门踏板位置、空气流量或进气压力、水温、气温、喷油脉宽、共轨压力、流量控制阀开度、供油提前角等。

3. 用故障诊断仪进行执行元件测试, 根据测试结果进行针对性维修(电控柴油机)。最主要的执行元件为喷油器和流量控制阀。

对于共轨式柴油机, 各缸喷油器的工作情况可以通过拆下喷油器的回油管, 观察其回油情况来判断(有回油, 则说明喷油器能够工作)。当所用的故障诊断仪没有执行元件测试功能时, 可以考虑用此方法。

4. 检查ECU插件是否存在锈蚀、接触不良、松动等现象(电控柴油机)。

5. 检查机油加注是否过量, 机油是否过稀(伴随冒蓝烟时要重点检查)。

6. 检查EGR阀开度是否过大。

7. 检查喷油器的型号是否正确。

8. 检查供油提前角是否正确。

9. 检查发动机的冷却系统, 看是否存在发动机过冷现象, 并进行有针对性维修(伴随冒白烟时, 重点检查冷却系统是否有泄漏)。

10. 检查曲轴箱通风(PCV)系统(伴随冒蓝烟时要重点检查), 进行针对性维修。

11. 检查废气涡轮增压系统工作情况, 检查中冷器犯卡、堵塞、脏污、真空管漏气、膜片破损、拉杆活动不良等情况, 进行有针对性维修。

12. 清洁进排气系统, 并检查是否有漏气现象。

13. 检查燃油品质是否太差、牌号是否

不当(选用柴油牌号时, 建议夏季用0号或+10号, 冬季选用-10号或-20号, 严寒地区则选用-35号)。

14. 清洁燃油供给系统, 包括粗/细滤清器、滤网、油管、高低压油泵、喷油器等。

15. 测量缸压(伴随冒蓝烟时要重点检查), 进行有针对性维修。如汽缸活塞的磨损情况、气门密封情况、气门间隙的调整等。

16. 检查气门及导管是否间隙过大(伴随冒蓝烟时要重点检查)。

17. 校油泵、喷油器, 包括各缸供油的均匀性及密封情况(以上检查与维修后排放仍然超标时选作)。

18. 更换ECU(电控柴油机, 以上检查与维修后排放仍然超标时选作)。

19. 用故障诊断仪进行基本调整、自适应匹配等操作(电控柴油机)。

### (五) 排放超标检修方案的制定与案例分析

#### 1. 检修方案的制定

检修之前, 查阅车辆排放检测报告, 仔细对有关检测数据进行分析, 重点对照合格项、不合格项与标准值的差距, 并横向分析各项数据之间的关系, 从而初步判断问题的性质(如混合汽过浓或过稀、雾化不良等)。再由问题的性质确定检修的路线, 这样可以提高检修的针对性, 避免走弯路, 同时还可以提高复检的通过率。

例如三项排放指标都合格, 而且数据远低于标准值, 而轮边功率不足、对应的发动机转速过高(即后两项不合格), 其分析如下。

(1) 三项排放指标都“远低于标准值”, 说明燃烧状况非常好, 燃料雾化应该没有问题, 混合汽也只能是偏稀状态。

(2) “轮边功率不足、对应的发动机转速过高”, 说明发动机每个工作循环的做功量较少, 只能靠较高的转速来得到功率, 导致轮边功率仍然不足。而这种轮边功率不足不是由车辆底盘损耗引起的, 因为这种损耗会拖慢发动机的转速, 同时还会造成底盘某个部位(如制动器)温度过高。

(3) “发动机每个工作循环的做功量较少”, 可能是由喷油量不足、进气量不足或者汽缸压力不足引起的。但如果是“进气量不足”, 混合汽应该偏浓, 这与“混合汽偏稀”

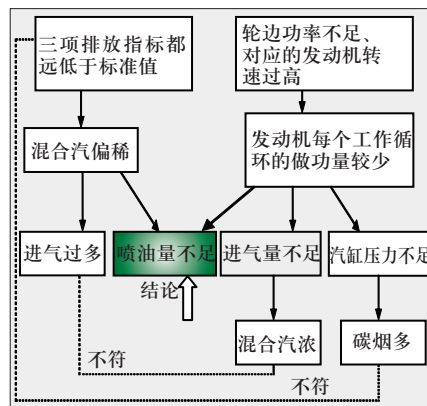


图9 举例逻辑分析图

表2 五十铃排放检测数据表

		最大功率点K值			最大轮边功率	对应发动机转速
		100%点	90%点	80%点		
检测结果	修前	0.04	0.13	0.32	112.9	3512
	修后	0.11	0.10	0.10	191	2391
限制		1.86	1.86	1.86	132	1500~2500
判断结果	修前	合格	合格	合格	不合格	不合格
	修后	合格	合格	合格	合格	合格
结论	修前	不通过				
	修后	通过				
检修内容		更换发动机ECU				
检修星级		★★★★★				

的判断不符; 如果是“汽缸压力不足”, 碳烟排放应该增多, 这与“三项排放指标都远低于标准值”的结果不符。因此, 综合分析只能判断为“喷油量不足”。

(4) “混合汽偏稀”与“每个工作循环的做功量较少”也是一致的, 加上“燃料雾化没有问题”, 说明问题的症结在于喷油量过少。以上分析过程如图9所示。

举例时, 应按照增大喷油量的思路进行检修作业, 如喷油泵是否磨损、喷油器调校是否不当(喷油压力调整过高)、共轨压力是否过低、油路及滤清器是否阻塞、ECU是否故障等。

#### 2. 实际检测与检修案例(原始案例)

车型: 五十铃, 油泵: 机械式, 进气方式: 涡轮增压, 车辆登记时间: 2000年10月, 具体数据见表2。

数据分析: 碳烟明显低于标准, 说明燃烧状况非常好。最大轮边功率过低, 对应发动机转速过高, 说明喷油量明显不足。

检修: 由于发动机ECU存在故障, 造成喷油量明显不足。更换发动机ECU, 故障排除。(全文完)