

汽车排放超标的原因分析与修复 (上)

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。

一、点燃式发动机类

点燃式发动机一般使用汽油、液化石油气(LPG)、压缩天然气(CNG)、液化天然气(LNG)等不同类型的燃料, 这些燃料的主要成分都是HC化合物, 与空气混合并发生燃烧时, 主要与空气中的 O_2 进行化学反应, 这种化学反应的条件与状态不同, 所产生的废气成分就会有所不同, 其中对环境产生危害的污染物主要是CO(一氧化碳, 属于有毒气体)、HC和 NO_x 。

(一) 点燃式发动机排放污染物的产生机理

1. CO的生成机理

CO的生成主要与混合气的浓度有关。当混合气较稀时, O_2 比较充足, 燃料中的C(碳)与 O_2 可以进行充分反应, 即进行完全燃烧, 所产生的废气为 CO_2 (二氧化碳, 属于无毒气体); 当混合气较浓时, O_2 不够充足, 燃料中的C与 O_2 的反应不够充分, 即燃烧不完全, 所产生的废气为CO。

可见, CO主要是由于缺氧而造成燃料不完全燃烧所产生的, 因此, 凡是引起燃料在缺氧条件下进行燃烧的因素都会造成CO排放的升高, 例如: 混合气过浓、燃料与空气混合不均匀(局部混合气过浓)等。

压缩压力对CO的形成也有一定的影响, 压缩压力高时, C与 O_2 可以“亲密接触”, 有利于完全燃烧; 反之, 压缩压力不足, C与 O_2 “远距离牵手”, 不利于完全燃烧, CO排放会随之升高。

另外, 残余废气对CO的形成也有一定的影响, 残余废气过多, C与 O_2 的“亲密接触”被干扰, 不利于完全燃烧, CO排放会随之升高; 反之, 残余废气较少, C与 O_2 “亲密接触”比较容易, 利于完全燃烧, CO排放会随之降低。

因此, 对于点燃式发动机而言, CO排放过高的原因包括: 喷油量过大、喷油雾化不良、进气不畅、点火过迟(造成燃烧时间不足)、排气不畅(造成燃烧室内残余废气过多)、三元催化器失效(CO未被转化就排入大气)、压缩压力不足、残余废气过多、燃油蒸汽回收系统故障(燃油蒸汽量过大, 造成混合气过浓)等。

2. HC的生成机理

燃料没有参加燃烧, 或没有充分参加燃烧就排入大气, 就会造成HC排放增大。可见, HC排放与CO排放的机理有所不同。CO排放机理是燃料燃烧了, 但燃烧进行得不彻底; HC排放机理则是燃料根本就没有

燃烧, 或一部分燃料燃烧了, 而另有一部分却没有燃烧。由此可见, HC排放过高的原因要比CO的复杂, 大致包括以下几个方面。

①火焰不稳定, 在传播过程中发生了熄灭现象, 原因包括: 混合气过浓或过稀、混合气中残余废气过多、汽缸压力过低、淬灭效应等。

由于燃烧室表面温度远低于火焰温度, 造成火焰无法到达燃烧室表面 $0.1 \sim 0.7\text{mm}$ 范围内, 在燃烧室表面形成薄薄的一层没有燃烧“气膜”, 同时, 火焰也无法到达活塞与汽缸之间的间隙之中, 这些区域都称为淬灭区, 其中包含大量没有燃烧的HC化合物, 这就是淬灭效应。如图1所示, 这部分气体随废气排出, 造成HC排放的升高。一般来讲, 燃烧室温度越低(如发动机较冷), 淬灭区越大, HC排放也越高。

②点火失败, 原因包括: 没有点火火花、火花过弱(如点火系统漏电或其他故障、火花塞间隙不当或火花塞不良)、混合气过浓或过稀、混合气中残余废气过多、汽缸压力过低等。

③汽缸压力不足, 压缩压力高时, 燃料与 O_2 可以“亲密接触”, 有利于完全燃烧, HC排放较少; 反之, 压缩压力不足, 燃料与 O_2 “远距离牵手”, 不利于完全燃烧, HC排放会随之升高。

④进排气门重叠区, 新鲜混合气泄漏到排气管中(如配气正时不当)。

⑤机油窜入燃烧室, 未能参加燃烧而随废气排出(如曲轴箱通风系统阻塞, 造成曲轴箱压力升高; 活塞环装反或磨损, 产生“泵油作用”等)。

⑥曲轴箱窜气直接排入大气(曲轴箱通风系统泄漏)。

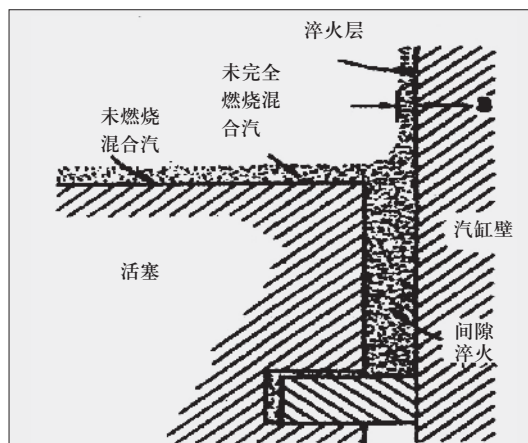


图1 淬灭效应与淬灭区

⑦燃料蒸汽直接排入大气,或活性炭罐饱和(燃料蒸汽回收系统失效)。

3. NO_x的生成及原因

NO_x的生成与燃料没有直接关系,主要是空气在高温条件下,其中的N₂(氮气)会与O₂发生化学反应,生成NO_x。温度越高,高温持续时间越长,生成的NO_x越多。只不过发动机燃烧室内具有这样的高温条件,从而造成了NO_x排放的产生。

点燃式发动机的燃烧温度远高于压燃式发动机,因此,点燃式发动机的NO_x排放远大于压燃式发动机。正因如此,排放法规中对NO_x排放的限制也主要针对点燃式发动机,但随着排放法规的不断严格,在欧IV、欧V标准中,已经开始对压燃式发动机的NO_x排放进行了限制。

点燃式发动机的燃烧为预混式(即燃料与空气预先混合后再开始燃烧),其特点是蓝色火焰传播式,蓝色火焰温度较高,相当于煤气灶的火焰为蓝色时,温度较高,烧水很快;压燃式发动机的燃烧为扩散式(即燃料在向空气中扩散时,仅在与空气的交界、混合区域发生燃烧),其特点为黄色火苗“喷射式”(即燃烧开始后,喷油器看起来像喷出一个或几个黄色火苗,这种火苗的温度较低,而且会产生炭烟,相当于煤气灶的火焰为黄色时,温度较低,烧水较慢,且很快在锅底形成炭黑)。

部分汽车发动机采用了EGR系统(废气再循环系统),其目的就是通过降低燃烧温度的方法来降低NO_x排放,即以牺牲动力性、经济性为代价,来换取NO_x排放性能的改善。

废气再循环对NO_x排放的影响如图2所示。可以看出,EGR量越大,NO_x排放越少。在理论混合汽附近(燃空当量比或过量空气系数等于1附近),10%的EGR,NO_x排放可以减少30%;20%的EGR,NO_x排放可以减少55%。

由以上分析可以看出,凡是引起燃烧室内温度过高的原因,都会造成NO_x排放的增大。例如,发动机水温过高、因燃烧室积碳而造成压缩比过高、点火过早、燃油牌号选择不当(牌号过低会引起发动机爆震,导致燃烧室内温度升高)、混合汽浓度不当等。

(二)点燃式发动机排放污染物生成的影响因素

点燃式发动机排气中有害气体的产生与混合汽浓度、点火时刻、节气门开度、发动机负荷、发动机的结构等因素有关。在发动机结构既定的情况下,混合汽浓度和点火时刻的影响最大。

1. 混合汽浓度的影响

CO的排放量基本上完全取决于混合汽浓度(见图3),而其他因素的影响都是次要的。混合汽越稀,CO的排放量越小;反之,则CO的排放量越大。

HC与CO不同,在一定范围内,混合汽越稀,HC的排放量越少,但混合汽过稀时(空燃比A/F超过18时),HC的排放量会大幅上升,因为此时火焰传播比较困难,甚至会发生断火现象。混合汽较浓时,HC排放也会升高,这是由于燃料的不充分燃烧导致的。

混合汽浓度对NO_x的排放也会产生巨大影响,当混合汽浓度在理论值附近且稍微偏小一些时,虽然燃烧温度不是最高的,但氧气相对充足,利于NO_x的形成,因而NO_x排放也最高。混合汽浓度偏离该区域,由于燃烧温度下降,NO_x排放也随之降低。

2. 点火时间的影响

推迟点火时间,HC的排放量将减少,这是因为点火时间被推迟后,在燃烧室内的燃烧时间将缩短,未燃燃料进入排气管后继续燃烧,使排气温度上升,促进了HC在排气管中的后氧化。虽然推迟点火时间可以使HC的排放量有所下降,但这种下降会使发动机功率降低,燃油消耗量也随之增加。

一般情况下,点火时刻对CO排放影响不大,但是点火过迟,CO排放也会有所升高,这是由于燃料燃烧时间过短,氧化反应不够充分所致。点火时间提前,燃烧温度会上升,因此,加大点火提前角会使NO_x的排放量增加。另一方面,发动机的结构因素(如压缩比、燃烧室形状等)由汽车制造厂在设计过程中考虑,我们暂时不予讨论。

3. 节气门开度的影响

怠速时,节气门几乎完全关闭,进气量很小,燃烧室中残余废气所占的比例较大,为了维持发动机稳定运转,ECU系统所提供

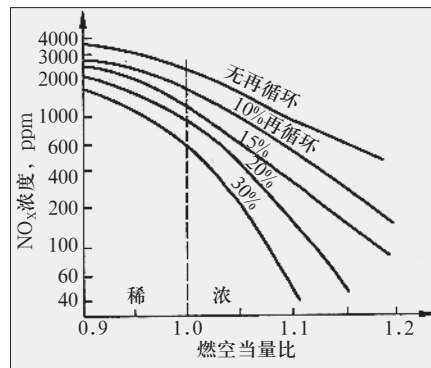


图2 EGR对NO_x排放的影响

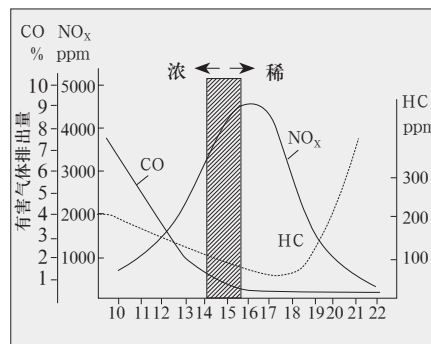


图3 混合汽浓度对排放污染物的影响

的新鲜混合汽浓度一般偏大,因此,CO排放量较高。同时,由于火焰的稳定性较差,HC排放浓度也较高;但由于怠速时的燃烧温度较低,因而NO_x排放的浓度也较低。

节气门开度由怠速位置逐步增大时,燃烧室中残余废气所占的比例逐步变小,ECU系统所提供的混合汽逐步变稀,CO、HC排放的浓度随着燃烧情况的逐步改善而逐步下降,NO_x排放的浓度则随燃烧温度的逐步上升而逐步增大,三种有害气体的排放总量则都随排气量的逐步增大而增多。

当节气门开度超过80%左右时,ECU系统所提供的混合汽浓度会增大,燃烧温度也会进一步升高,因此,CO、HC、NO_x的排放浓度及总量都会进一步升高。

4. 发动机负荷的影响

在相同转速下,发动机负载的大小不同,所对应的节气门开度、进气总量及混合汽的浓度都会有所不同。空载或轻载时,较小的节气门开度和进气总量就可以维持这样的转速,CO、HC、NO_x排放的总量也就相对较小;重载或满载时,维持这样的转速则需要较大的节气门开度和进气总量,CO、HC、NO_x排放的总量也就相对较大。

5. 加减速的影响

急加速时, ECU系统所提供的混合汽浓度会短时增大, CO、HC、NO_x排放的总量也会随之短时增多; 急减速时, ECU系统一般会短时切断燃料供给, CO、HC、NO_x排放会短时下降。缓慢加减速则不会产生上述效果, CO、HC、NO_x排放的变化规律则符合“节气门开度的影响”和“发动机负荷的影响”。

6. 水温的影响

水温的高低会对混合汽浓度产生直接的影响, 因而会对CO、HC排放产生间接影响。水温过低时, ECU系统所提供的混合汽浓度增大, CO、HC排放都会增多; 水温过高时, 燃烧温度的上升则会导致NO_x排放的升高; 水温在正常范围以内时, CO、HC、NO_x排放的变化规律则符合上述“混合汽浓度的影响”、“点火时间的影响”、“节气门开度的影响”、“加减速的影响”和“发动机负荷的影响”等。

7. 残余废气的影 响

残余废气过多, CO、HC排放都会增大, 但NO_x排放会相应减少; 残余废气较少, CO、HC排放都会较少, 但NO_x排放会相应增大。

8. 压缩压力的影响

压缩压力增大, CO、HC排放都会减少, 但NO_x排放会相应增大; 压缩压力不足, CO、HC排放都会增大, 但NO_x排放会相应减少。

(三)检测方法对检测结果的影响

怠速法、双怠速法是在怠速及高怠速条件下检测CO、HC的排放浓度(此时的NO_x排放较少, 对其检测没有意义, 因此不需要检测NO_x排放的浓度), 而浓度值并不能代表其排放的总量, 即使此时它们的排放浓度较大, 但由于排气总量较小, 加上汽车在运行状态下, 怠速运转的时间未必很长, CO、HC排放的总量未必较大, 所以, 怠速法、双怠速法的检测结果并不能反映汽车在运行状态下真实的排放情况。

另外, 怠速法、双怠速法是在发动机空载状态下进行检测的, 而在汽车运行过程中, 绝大多数情况下发动机都处于加载状态, 因此, 怠速法、双怠速法的检测结果与

汽车真实的排放情况没有可比性或可比性较差。

简易工况法是在模拟汽车真实运行状态下进行的检测, 其检测的过程囊括了几种加载荷情况下的加速、稳定运转、减速等多种工况, 而且检测的结果已经换算成排放的总量, 检测的内容也纳入了NO_x, 因此, 检测结果与汽车真实运行条件下的排放情况具有一定的可比性。

通过以上分析可以看出, 用怠速法、双怠速法检测合格的车辆, 用简易工况法检测, 其结果未必合格; 反之, 用简易工况法检测合格的车辆, 用怠速法、双怠速法检测, 其结果也未必合格。因此, 对于用简易工况法检测不合格的车辆进行修复后, 不能通过怠速法、双怠速法检测来验证其修复的效果。

由于采用简易工况法进行检测所需的检测设备比较昂贵(需要底盘测功机、排气流量分析仪、配套计算机及相关软件等), 占用的场地面积也较大, 一般的汽车修理厂不具备这样的条件, 因此, 以前采用怠速法、双怠速法进行检测, 只是一种权宜之计, 并不符合科学的汽车排放控制思想。随着国家排放法规的日益严格, 简易工况法的采用也是大势所趋, 而且符合世界发达国家的通用做法。

(四)点燃式发动机排放超标的原因及修复

1. CO的排放量过大

(1)CO排放量过大, 主要应从混合汽过浓的角度进行考虑, 同时兼顾压缩压力问题, 其原因可能包括以下一个或几个方面。

①燃油压力过高(燃油压力调节器故障或真空管漏气), 检测方法: 测试油压;

②喷油器及其控制电路故障, 检测方法: 检查喷油器电路, 用喷油器清洗检测试验台清洗、检测喷油器(含喷油量、各缸均匀性、密封性等);

③输入传感器有故障, 检测方法: 测试相关传感器数据;

④燃油蒸汽回收系统故障, 检测方法: 检查燃油蒸汽回收系统;

⑤进气系统漏气(对于采用进气压力传感器的D型电喷系统), 检测方法: 检查进气系统漏气情况;

⑥空气滤清器脏污或涡轮增压器不良, 检测方法: 检查空气滤清器及涡轮增压器, 必要时更换;

⑦排气系统阻塞(排气不畅引起燃烧室残余废气过多), 检测方法: 检查、清洁排气系统;

⑧压缩压力不足, 检测方法: 检查缸压;

⑨催化转化器有故障: 排气中的CO没有经过转化就直接排到大气。有些汽车的催化转化器下游装备了一个副氧传感器, 用来监测催化转化器的性能, 可以通过故障诊断仪观察副氧传感器的数据, 如果副氧传感器的信号电压波动较大(即与主氧传感器的信号变化比较接近), 则说明催化转化器失效;

⑩ECU故障: 一般情况下ECU不容易损坏, 但有时候也要结合其他故障现象对ECU做进一步诊断(例如油耗情况)。

(2)CO排放量过大的建议检修程序:

①用故障诊断仪读取故障代码, 根据故障代码, 进行有针对性维修;

②用故障诊断仪读取数据流, 相关数据包括: 空气流量或进气压力、水温、气温、节气门位置、主氧传感器、副氧传感器、喷油脉宽、点火正时、混合汽浓度等, 进行有针对性维修;

③用故障诊断仪进行执行元件测试, 包括: 点火器、喷油器、怠速阀、蒸汽回收阀、油泵继电器等, 进行有针对性维修(某些项目可能多余, 但不会花费太多时间, 却可以发现潜在故障);

④检查燃油蒸汽回收系统是否不能关闭, 进行有针对性维修;

⑤测量油压, 进行有针对性维修(包括清洗燃油系统, 如油路、滤清器、喷油器、调压器及其真空管等)。用喷油器清洗检测试验台清洗、检测喷油器;

⑥检查进气系统是否漏气(对于采用进气压力传感器的D型电喷系统);

⑦检查进排气系统及涡轮增压器, 看是否阻塞或工作不良, 检修催化转化器;

⑧检查压缩压力, 进行有针对性维修;

⑨检查ECU是否存在故障;

⑩用故障诊断仪进行基本调整、自适应匹配等操作。(未完待续) 