

# 汽车三元催化器故障原因及处理措施

◆文/江苏 周敏

当前雾霾天气引起全社会对于治理空气污染的重视。众所周知,我国汽车保有量持续高速增长,机动车尾气污染成为城市空气污染的主要来源之一。研究表明,北京城区机动车排放的气体污染物占总气体污染物的比重超过20%,在拥堵地区的交通高峰时段,机动车排放的污染物占比甚至超过50%。

城市中行驶的机动车主要是狭义乘用车,即传统意义上的轿车,绝大多数都是汽油动力。三元催化器也被称为三效催化器,是汽油车控制尾气排放污染的核心装置起着不可替代的作用。三元催化器能同时处理掉汽油车排放的 $\text{NO}_x$ 、HC和CO三种污染物,同时部分降低PM排放。发动机在闭环电控状态下工作时,能够同时转化掉尾气中超过90%的主要污染物。

## 一、三元催化器的工作原理

三元催化器是一种化工装置,泛指能同时催化三种化学反应的催化剂,催化剂起加快反应速率的作用,其本身并不参与反应。汽油车上这三种化学反应如下:①HC与 $\text{O}_2$ 反应生成 $\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CO}_2$ ;②CO和 $\text{O}_2$ 反应生成 $\text{CO}_2$ ;③ $\text{NO}_x$ 和CO反应,生成 $\text{N}_2$ 和 $\text{CO}_2$ 。

三元催化剂巧妙地利用了汽油车尾气中主要成分的浓度关系,理想状态下能同时转化绝大部分的三种主要污染物。此外,部分未燃HC是以微小颗粒或气溶胶形式存在,因此三元催化剂也能降低车辆的颗粒物排放水平,对PM控制做出贡献。

如图1所示,三元催化器的核心部件是涂覆了活性催化剂的陶瓷载体,活性催化剂涂层主要由铂、钯、铑等贵金属组分和钨钼等稀土族元素添加剂及 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等支持材料组

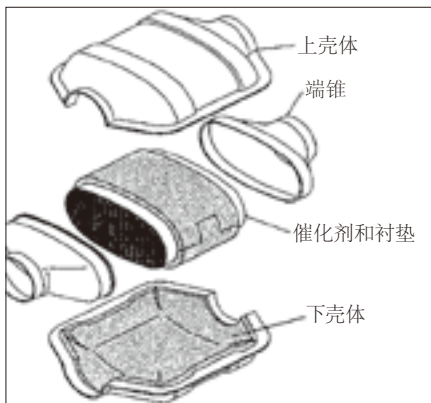


图1 三元催化器典型结构

成。贵金属是其中的活性成分,促进HC、CO的氧化反应和对 $\text{NO}_x$ 的还原反应。陶瓷载体外裹衬垫安装在催化器金属壳体中,衬垫主要起保护陶瓷芯体、减振、固定、隔热的作用。

三元催化剂投入应用与发动机控制技术的进步和无铅汽油的推广有密切关系。三元催化剂对铅非常敏感,微量的铅也会造成催化剂中毒失活。三元催化剂的工作性能与发动机尾气的空燃比有密切的关系。图2说明了三元催化剂的转化效率与发动机空燃比的对应关系,在偏稀燃烧的情况下, $\text{O}_2$ 充

足,有利于氧化反应进行,催化剂对HC和CO的转化效率非常高,对 $\text{NO}_x$ 的转化效率低;反之,在发动机偏浓燃烧时,反应平衡向还原方向偏移, $\text{NO}_x$ 的转化效率很高。只有在理论空燃比,即空燃比为1附近,才存在三种成分净化效率都很高的情况。要充分发挥三元催化器的性能就必须将发动机工作窗口控制在理论空燃比附近,整个发动机电控系统根据氧传感器的反馈,实现对发动机空燃比的闭环控制。目前市面上的汽油发动机,绝大多数是工作在空燃比为1的工况下以满足三元催化剂的工作要求。

为了保证车辆排放始终在法规限定的水平之内,国家要求催化器需要满足整车100000km耐久行驶的要求,并在车辆申请公告时进行实车验证。2018年全国范围内将实施国五排放法规,对汽车三元催化器及相关部件的耐久里程要求会提高到160000km。法规同时要求,在三元催化器损坏及车辆的主要污染物排放超标时,OBD系统立即被触发,MIL灯报警提醒驾驶员者及时修复故障。车辆系统也可能采取限制功率输出等方式,以保证驾驶员者及时有效地排除故障。

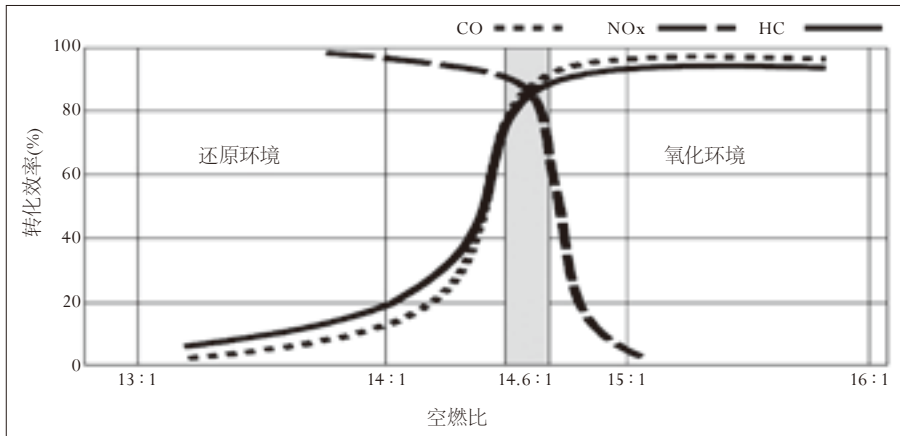


图2 三元催化剂转化效率与空燃比之间的关系

## 二、主要故障类型和排除方法

三元催化器的损坏可以分为两大类:一类是催化活性下降;另一类催化剂的损坏是物理破损。

### 1. 催化活性下降

催化活性下降,具体表现在催化器外壳和内部的物理结构均没有损坏,但是车辆污染物排放超标。除MIL灯点亮外,没有明显的故障现象,且很难通过外部检查来发现故障。该类催化器损坏的主要原因是催化剂活性的丧失。和其他化工产品类似,催化剂失去活性主要由于催化剂的老化。首先是高温老化,三元催化剂的工作范围需要控制在950℃以下,如果异常因素造成催化剂表面温度急剧升高,则催化剂的活性会严重下降,且温度上升的幅度与活性的下降成指数关系,瞬间超过1300℃就可能使催化剂活性基本丧失;其次是毒害老化。燃油和机油中都添加了多种添加剂,如含锰、硅、磷元素的添加剂等,这些添加的元素不可避免地随尾气进入催化器,在车辆长期运转后沉积在催化剂表面,占用催化剂的活性相位,使催化剂的活性逐渐丧失。根据老化原因的不同,催化剂的失活可以不同程度地恢复。热老化造成的失活一般不可恢复,而某些元素,如硫造成的老化,通过运行特定的循环,性能是可以恢复的。

### 2. 催化剂的物理破损

车辆启动后,除MIL灯点亮外,车辆行驶时催化器内会有明显的异响,在拆下催化器后,发现陶瓷芯碎裂造成排气管堵塞或车辆加速无力,从拆下的催化器中能倒出陶瓷载体的碎块和粉末。极端情况下,拆下催化器后会发现陶瓷芯体已经完全“失踪”。这种故障下催化剂陶瓷芯碎裂的原因比较复杂,例如封装过程中载体损坏,催化剂遭遇瞬间高温或激冷使晶格损坏,异物进入造成的结构破坏,也可能是由于衬垫被气流吹蚀,造成载体失去固定力等。

由于油品差等使用环境造成的故障,无法通过更换催化器来彻底解决。因此对无法准确判定原因的故障,除更换三元催化器外,需要扩大寻找故障的范围,继而找到催

化器损坏的根本原因。

在售后服务领域,驾驶者一般是听到了排气系统的异常响声或因故障灯报警后才到4S店报修。维修人员往往先读取故障码,此时电控系统常见反馈是三元催化剂损坏。由于对催化剂的健康状态监控是通过前后氧传感器的信号差异比较来实现的,维修人员应该首先排除氧传感器的故障。

当拆下催化器后,即使没有异响,维修人员也会直接更换催化器结束维修。但需要注意的是,由于国家对三元催化器质量的强制性耐久要求,新车在申报公告时都经过相关的实验,绝大部分催化器本身的损坏并不是由于催化器自身的质量问题。

## 三、催化器损坏的原因

### 1. 燃油油品品质不佳

尽管从2000年起我国已经禁止使用含铅汽油,但是为提高汽油抗爆性,我国的燃油中仍普遍添加了有机锰等抗爆剂组分。以锰添加剂为例,随着车辆的使用,添加剂中的锰随高温尾气排出会逐渐沉积在催化器入口端面,可能会引起催化器堵塞。2014年起我国执行新的汽油标准后,全国油品质量陆续升级,油品中添加剂的含量会得到严格控制,该故障可能将不再常见。

### 2. 点火系统故障

点火系统故障造成未燃的油气进入催化器,在催化器内“后燃”。催化剂的这种故障原因是最难以发现的,未燃油气进入催化器后会在载体内部燃烧,瞬时高温可能超过1400℃,完全破坏催化剂的机构。损坏的催化剂往往外部完整,内部却已经烧熔或碎裂(图3、图4)。有时在催化器的入口端检查可能没有问题,但从出口端检查时会发现陶瓷载体被“掏空”。遇到这种故障现象时,除了更换催化剂,也需要寻找到导致形成未燃油气的原因,如发动机失火、点火线圈故障等,从根本上解决该故障,否则即使更换了催化剂,“后燃”现象有可能再次发生。

### 3. 涡轮增压器漏油

带涡轮增压器的发动机,涡轮增压器漏油造成机油进入催化器。不当地使用和维



图3 “后燃”造成催化器内部碎裂



图4 表面完好但内部损坏的催化器

护涡轮增压器,造成增压器油封漏油,机油在负压作用下,随尾气进入催化器内。催化剂表面的温度在700℃以上,使机油在催化剂表面燃烧形成高温,故障现象与未燃油气进入催化器相同。这类故障发生时,催化器会有明显的被机油污染的痕迹。一定要在找到机油进入催化器的原因后再更换催化器。

### 4. 外部异物进入催化器前部

由于催化器内的气流孔道都非常小,前端进入的异物较大时无法顺尾气流过,异物将在尾气的吹动下不断与陶瓷载体碰撞摩擦,最终彻底损坏催化器。焊渣、衬垫甚至脱落的螺丝等使催化剂被异常磨损的故障较为常见。为避免该故障现象的发生,安装催化器时需要严格杜绝异物进入催化器的上游气流通道内。M