

汽车三元催化器故障诊断与排除

黄科薪, 黄金昌, 张燕芳, 何菊华, 甘礼宜

广西工业职业技术学院车辆工程学院 广西贵港 537100

摘要: 三元催化器是汽车尾气净化的关键部件, 主要通过三元贵金属催化剂加速尾气污染物转化成非污染物, 达到降低污染物含量的目标, 从而实现环保排放的效果。介绍了三元催化器的构成、工作原理, 详细论述了失效、堵塞和破碎三类常见故障类型及其原因分析, 针对故障原因提出了三元催化器使用和保养的注意事项。

关键词: 不完全燃烧; 有害物质; 三元; 空燃比; 故障诊断

传统汽油车利用发动机内汽油和空气燃烧的热能转化为发动机的动能做功, 驱动汽车工作。理想状态下, 汽油和空气的完全燃烧产物是 CO_2 、水(理论空燃比14.7:1)。然而实际汽车燃料燃烧并不完全充分, 此时会产生一定量的CO和碳氢化合物等有害物质, 严重时还表现出冒黑烟现象。此外, 在发动机内高温高压情况下, 还伴随着氮气和氧气生成氮氧化合物(NOX)的副反应。

为了满足汽车尾气排放标准要求, 解决排气的污染问题, 汽油车设计了尾气净化装置: 三元催化器, 用于对尾气中主要的有害物质CO、HC和 NOX 进行无害化处理, 变为 H_2O 、 CO_2 、 N_2 后排到大气中^[1]。

三元催化器的工作原理

三元催化器也称催化转换器(Catalytic Converter, 缩写为CAT), 位于排气歧管和消声器之间, 主要部件有壳体(构成化学反应室)、减振衬垫、载体(蜂窝

状陶瓷材料)、催化剂等, 如图1^[2]所示。实际起净化尾气作用的是催化剂, “三元”取自催化剂含有的三种主要元素, 分别是铂(Pt)、铑(Rh)、钯(Pd)三种贵金属元素^[3]。在尾气净化过程中, Pt和Pd主要起催化CO、HC的作用, 而Rh主要起催化 NOX 的作用。需特别说明的是, 催化剂被涂布在蜂窝状陶瓷载体上, 用以增大催化反应的接触面积, 促进尾气加速转化的同时提高转化量。

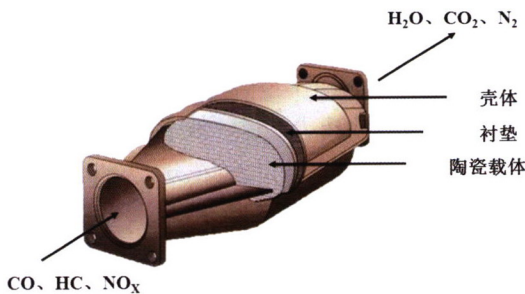


图1 三元催化器构成示意

三元催化器前后安装了氧传感器，以安装位置分别命名为前氧传感器和后氧传感器，如图2所示。前、后氧传感器的作用都是检测尾气中的氧含量。前氧传感器数据反馈给汽车电子控制单元（ECU），ECU以此数据调节发动机的空燃比，使混合气空燃比近似14.7：1（该比值是根据汽油完全燃烧的化学反应方程式计算得到的理论值），此时，催化器工作效率最高，催化效果最好^[4]。



图2 三元催化器

研究发现，当空燃比在14.7：1±0.3%的浮动时，三元催化器催化效果最好，效率均达到90%以上，如图3所示。当混合气过浓或者过稀时，都会导致三元催化器转换效率下降。后氧传感器用于验证三元催化器的催化效果，因三元催化器在净化尾气时需消耗排气中的氧气，若前、后氧传感器反馈给ECU的数据一样，说明排气氧气量不变，三元催化器未正常工作，此时汽车仪表盘上的故障灯会发出警示，提醒驾驶员三元催化器异常情况。

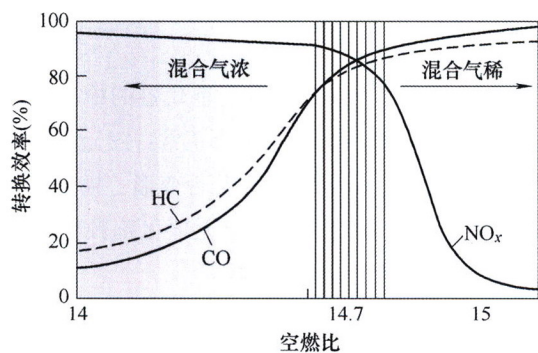


图3 三元催化器转换效率与混合气浓度关系

三元催化器的故障诊断方法

汽车仪表盘上的故障灯发出三元催化器异常警示

后，可用故障诊断仪对三元催化器的故障进行初步诊断，确定故障原因，从而开展针对性排查检修。三元催化器的主要故障类型有三大类：失效、堵塞及破碎^[5]。

1.失效

三元催化器失效的故障现象是尾气排放超标，如黑烟。三元催化器失效的主要诊断方法有：

(1) 氧传感器信号比较法 即利用故障诊断仪比较前、后氧传感器的电压信号，判断三元催化器是否失效。根据上文工作原理部分所述，三元催化器需要消耗氧气净化尾气，若前、后氧传感器数据一致说明三元催化器前后氧含量一致，三元催化器未起作用，处于失效状态。

(2) 温度比较法 在汽车工作条件下，采用测温仪比较三元催化器的进、出口温度，三元催化器正常工作时，其出口温度比进口温度高10%以上，低于10%说明三元催化器未正常工作，甚至是失效。

(3) 尾气分析仪诊断法 反复空挡加油测试，连续节气门全开，尾气分析仪读取氧气数据：氧气浓度低于1.2%，说明三元催化器工作正常；等于1.2%时，三元催化器效率较低；大于1.2%，说明三元催化器失效。

2.堵塞

当三元催化器堵塞时，故障现象主要有：加速乏力，发动机提速困难；严重堵塞时，发动机无法启动；油耗增多；自动挡汽车掉挡频繁；发动机缺火时，尾气平缓，没有“突突”的声响提示缺火等。

三元催化器堵塞故障的主要诊断方法有：

(1) 经验法 关注和留意汽车是否存在上述三元催化器堵塞故障现象，如加速乏力、油耗增多等。

(2) 真空试验法 将真空表连接到发动机进气歧管；运行发动机，保持转速稳定在2000 r/min左右，若真空表读数逐渐下降，表明排气堵塞。

(3) 排气背压法 拆下前氧传感器，用压力表替代前氧传感器并保证密封良好；随后运行发动机处于怠速范围，排气背压应低于10kPa；当提速到2500 r/min时，排气背压应低于15kPa。若排气背压高于指定值，说明排气不畅，存在排气堵塞。

3.破碎

当三元催化器破碎时，故障现象主要有：敲打外壳或发动机变速时，三元催化器发出碎片撞击的声响；因为碎片撞击，外壳发生了变形，并伴随着堵塞类似的现象。三元催化器破碎的主要诊断方法有观察和倾听法，确认外观是否变形；敲打或运行时是否有异响。由于催化剂破损剥落，易阻塞通道，使排气背压增大，因此，也可通过排气背压法进行排查。

故障原因分析

三元催化器主要故障原因包括：温度过高、慢性中毒、表面积炭和排气恶化，见表1。以下对各故障原因进行展开分析。

表1 三元催化器主要故障原因分析

故障原因	主要故障后果
温度过高	造成内部涂层的催化剂脱落
慢性中毒	催化剂与废气隔绝，无法催化
表面积炭	炭烟附着在催化剂表面，无法与CO和HC接触
排气恶化	三元催化器转换效率降低甚至损坏

1.温度过高

温度是三元催化器催化剂的活性决定性因素，其中在400~800℃时催化剂的活性最高，温度过低催化剂的活性弱，转换效率低；温度过高（如超过1000℃时）会导致催化剂加速老化甚至烧结坏死，降低使用寿命，极端情况下会引发汽车自燃事故。因此，必须注意控制引发排气温度升高的影响因素，例如点火过迟、错乱、断火等排出未燃烧的混合气在三元催化器燃烧，导致排气温度过高，引发三元催化器故障。

2.慢性中毒

三元催化器中贵金属催化剂对汽油中的硫、铅和润滑油中的磷、锌等杂质较敏感，这些杂质更易吸附在催化剂表面与催化剂作用，进而隔绝了尾气与催化剂的接触，催化剂实际未发挥催化作用，这种情况称为催化剂“中毒”。

3.表面积炭

如果汽车长期处于低温工作状态，三元催化器未正常工作，尾气中的炭烟会覆盖在催化剂的表面，长时间积累，导致催化剂被碳层覆盖且载体孔隙渐渐被

堵塞，引发三元催化器堵塞故障。

4.排气恶化

三元催化器对污染物的转化容量有限，当排气空燃比为14.7：1时，效果最佳。排气空燃比主要通过电子控制单元调节。但如果电子控制单元调节失当，造成排气污染物浓度、气量过大，三元催化器则会处于超负荷运转，部分污染物未来得及处理就排到大气环境中。此外，排气污染物浓度、气量过大，在三元催化器二次燃烧也会使三元催化器温度过高引发其他故障，加速三元催化器失效。

三元催化器使用注意事项

基于三元催化器故障原因分析，在使用三元催化器时，应注意预防重视为主，日常维护相结合，具体使用的注意事项如下：

- 1) 避免使用含铅汽油，注意点火时间适中避免长时间启动失败。
- 2) 避免长期急速运转（开环控制状态）和转速忽快忽慢。
- 3) 气缸工作不良时，应及时检修排除，且测量气缸压力时，应拔下燃油泵的控制接头，使喷油器停止向气缸喷油，避免长时间拔出高压线试火。
- 4) 避免混合气偏浓的诸多因素，如确保喷油器关闭严实，燃油压力调节器、氧传感器、空气流量传感器等正常工作。
- 5) 行驶过程中注意避免“托底”，防止碰撞后三元催化器破损、堵塞失效。如果因为故障需要更换时，应与发动机适配。
- 6) 在汽车保养时，对三元催化器的检查项目包括：排气颜色、气量和音量是否正常；三元催化器和排气管有无松动、异响，外观是否变形、损坏；是否存在积碳现象；排气管尾部有无催化剂颗粒等。如有，应及时修复还原三元催化器。
- 7) 还需要注意的是：当汽车行驶80 000km后，三元催化器需进行整体总成更换。更换时，应与发动机适配，更换件最好是原车原厂配件。

结语

三元催化器作为汽车尾气处理的最后一道防线，

增程器三结合面渗油分析与解决方案

范鹏¹, 周友涛²

1. 岚图汽车科技有限公司 湖北武汉 430056
2. 东风汽车集团有限公司技术中心 湖北武汉 430058

摘要: 某款增程器在开发过程中, 在发动机缸盖-缸体-正时罩盖三结合面处, 出现了整车耐久路试渗油现象。通过理论分析, 并对该发动机渗油处三结合面的结构、受力、模态等各个维度进行了CAE分析, 并通过产品结构的优化和工艺改善, 完成了增程器总成的台架和实车耐久验证, 成功解决了增程器三结合面渗油品质问题, 保证了整车的开发周期并减少了成本投入。

关键词: 增程器; 三结合面; 渗油; 密封

增程器是一种使用其他能源(如汽油)给电动汽车电池进行电能补给的装置。传统意义上的增程器是指发动机与发电机的组合, 而发动机包括了发动机缸体、缸盖和正时罩盖, 三者 in 装配时形成了三结合面密封结构。该密封结构的密封性能, 对于温度、振

动、材料、清洁度、粗糙度、加工刀纹以及密封胶类型等因素都极其敏感, 任何参数的变化都可能导致密封性能的失效, 引起渗油(漏油)等品质不良。

由于REV增程式电动汽车使用工况的特殊性, 增程器是REV电动汽车的核心补能装置, 其启动工况比

对尾气净化和环境保护发挥着至关重要的作用。通过对三元催化器主要常见故障现象和原因分析, 基于其工作原理, 提出三元催化器的使用注意事项, 维护保养的具体措施, 从理论上和实践上助力三元催化器发挥最佳功效, 达到尾气净化效果最大化。

基金项目: 广西贵港市高技能人才培训基地建设项目资助。

参考文献:

[1] 胡建. 三元催化器故障分析及实践[J]. 内燃机与配

件, 2020 (24): 55-57.

[2] 鲁传平. 三元催化器的作用和故障表现[J]. 汽车与驾驶维修(维修版), 2019 (5): 29-30.

[3] 甘飘迎. 浅谈排气系统催化剂铂铑钯失效故障的诊断与排除[J]. 中国金属通报, 2018 (2): 101.

[4] 曹石, 刘楠楠, 秦涛. 三元催化器转化效率诊断方法研究[J]. 机械制造, 2021, 59 (9): 12-15.

[5] 周万全, 张熙, 朱少秋. 三元催化器故障模式分析及控制措施[J]. 时代汽车, 2022 (15): 154-156. **AUTO1950**