

缸内直喷发动机尾气处理

缸内直喷式汽油机分层燃烧运行时具有很大的节油潜力，是降低燃油耗最有效的措施，还具有良好的瞬态特性和全负荷性能，但是要充分挖掘其节油潜力，在很大程度上受到废气排放的制约。

汽油机的颗粒排放与柴油机相比可忽略不计，但是随着汽油直接喷射的应用，这一情况要重新加以认识。原则上直喷式汽油机特别是在分层燃烧时，在极其不均匀的混合气中会有局部过浓的区域，可能生成颗粒。现代批量生产的汽车在转鼓试验台上进行的颗粒排放测量结果表明，直喷式汽油机的颗粒质量排放虽然明显高于进气道喷射汽油机，但还是远远低于现代柴油机的限值。就颗粒质量排放而言，现代批量生产的直喷式汽油机已经能够满足未来更为严格的排放标准限值，如美国超低排放汽车（ULEV）标准的限值（0.01g/mile）。

缸内直喷式汽油机由于混合气形成时间较短，特别是采用壁面引导时燃油会碰壁，从而使 HC 排放显著增加。在分层稀燃运行时氧过剩的情况下，为 HC 和 CO 的氧化净化创造了有利的条件，与柴油机的排放相似。富氧废气后处理的最大挑战在于 NO_x 的还原净化反应因缺乏还原剂（CO、HC 或 H₂）而无法进行，因此分层稀燃直喷式汽油机的排气净化问题最重要的关键是减少 NO_x 排放量。

图 1 表示缸内分层稀燃直喷式汽油机达到欧 4 排放标准所要求的 NO_x 转化净化率必须大于 95%，才能达到与进气道喷射汽油机那样的 NO_x 排放水平。其 NO_x 的净化任务可分别由机内净化降低 NO_x 的原始排放和机外排气后处理来分担。由于直喷式汽油机在分层稀燃时空气富余，为采用高 EGR 率降低 NO_x 原始排放创造了有利条件，因而就可使原始排气中的 NO_x 含量降低约 50% ~ 70%。但为了达到废气排放标准还必须附加一个 NO_x 后处理装置。分层稀燃直喷式汽油机可选用的 NO_x 后处理装置有两种：即 NO_x 连续催化转化器（如三菱公司）和 NO_x 吸附催化转化器。但是只有最新型的 NO_x 吸附催化转化器才能达到上述所要求的 NO_x 转化净化率水平。

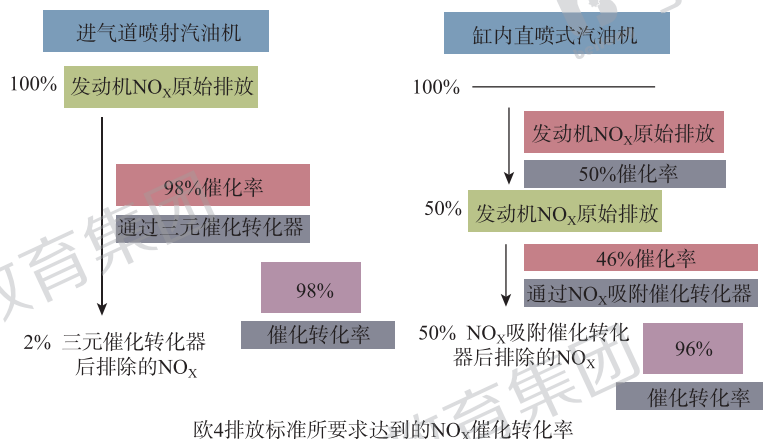


图 1

图 2 示出了 NO_x 吸附催化转化器的基本工作原理。其载体用碱土金属（例如钡、钾等）作为活性吸附存储材料，而用贵金属铂（Pt）和铑（Rh）作为活性催化剂。在稀混合气状态下，废气中的 NO（一氧化氮）在贵金属铂（Pt）的催化作用下被氧化成 NO₂（二氧化氮），这样所有的 NO_x（氮氧化物）都以 NO₂ 的形式出现，并与碱土金属化合成硝酸盐的形式被可逆性地吸附到 NO_x 存储材料上，而排气中的 HC（碳氢化合物）和 CO（一氧化碳）被直接氧化净化成 H₂O（水）和 CO₂（二氧化碳）排出。



图 2

在存储材料吸附的 NO_x 达到极限量以前，应采取一定的方式将吸附器中吸附的 NO_x 还原，以空出吸附器中的吸附容积，供下一个吸附周期之用。此时电控系统会使汽油机短暂地进入浓混合气状态运转，使排气中产生足够的还原剂（HC、CO 和 H₂ 等），并在贵金属铑（Rh）的催化作用下与从硝酸盐中析出的 NO₂ 反应还原成 N₂（氮气），这个过程称之为 NO_x 吸附催化转化器的再生过程。

通常分层稀燃直喷式汽油机 NO_x 吸附催化转化器的再生过程的时间间隔约为每运转 1min 需要再生 2s。这种不连续的周期性运行模式对发动机电控，系统提出了更高的要求。图 3 为分层稀燃直喷式汽油机电控系统控制 NO_x 吸附催化转化器再生过程的实例。

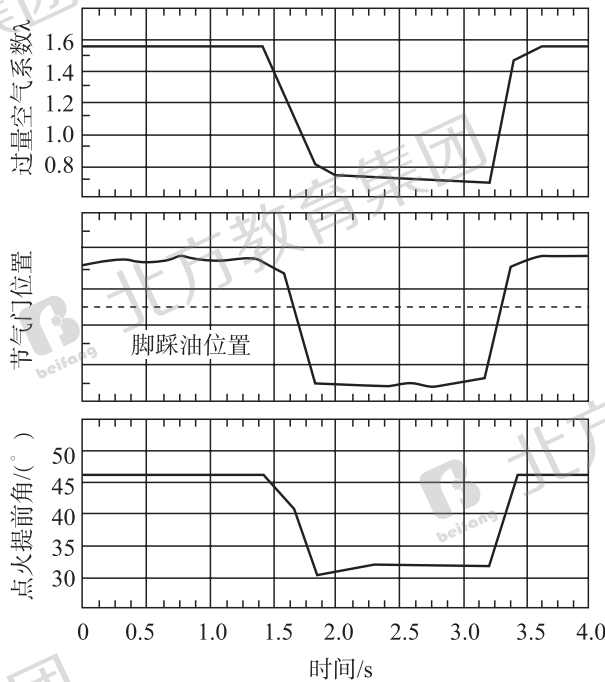


图 3

从图中可以看出，在整个再生过程中，司机踩油门的位置并没有变化，发动机的负荷状态也没有变化，但是受电控系统控制的电子节气门，在进入再生过程时加大了关闭程度。

使过量空气系数从 1.6 降低到 0.7 左右，点火时刻也相应地从上止点前 45° 减小到 30°，而这一切都是在司机毫无察觉的情况下非常平顺地完成的，由此可见一般对分层稀燃直喷式汽油机电控系统的匹配要求之高。

图 4 示出了分层稀燃直喷式汽油机废气后处理系统布置的示意图。通常为了改善冷启动期间 HC 的转化净化，在 NO_x 吸附催化转化器之前应用一个氧化催化转化器，称之为前置催化转化器。为改善其起燃性能，与发动机排气管直接紧密耦联，这样 NO_x 吸附催化转化器就能布置在汽车地板下，避免过热，从而能提高其承担 NO_x 吸附存储和催化还原的活性材料的耐久性。

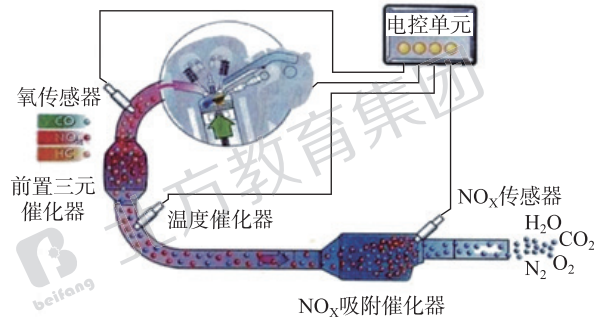


图 4

位于前置催化器后面的温度传感器用于测量废气和催化器的温度，而位于在 NO_x 吸附催化转化器之后的 NO_x 传感器用于监控催化器和调节废气净化。借助于 NO_x 传感器就能够直接监测 NO_x 的吸附存储过程，当 NO_x 的吸附存储量达到饱和状态时才按需要开始进行 NO_x 的再生，使得在每个稀薄加浓循环中，NO_x 的再生总是与原始排放的波动和催化器的吸附程度相匹配，既提高了 NO_x 的催化转化效率，又能减少再生频率降低燃油消耗。

图 5 示出了某种分层稀燃直喷式汽油机采用的对 NO_x 吸附催化转化器最有利的排气系统布置方案。发动机排气管按汽缸点火相位均匀地分成两组做成 Y 形，发动机的排气分成两支流入前置催化转化器，然后再合并成一支。

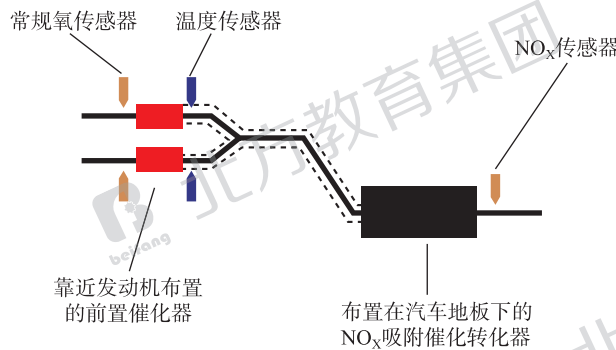


图 5

前置催化转化器靠近发动机布置，而 NO_x 吸附催化转化器则布置在汽车地板下面。前置催化转化器前有一个常规的氧传感器，其后为温度传感器。靠近发动机布置的前置催化转化器在发动机冷启动后通过两次喷油能很快起燃，然后发动机在化学计量比混合气下运行。

只有在 NO_x 吸附催化转化器起燃后才开始以稀混合气运行。前置催化转化器的尺寸要足以确保发动机以化学计量比混合气运行，直到中高负荷都能充分净化发动机的排放物。这种 Y 形布置的排气系统除了具有良好的全负荷性能外，对于 NO_x 吸附催化转化器还有可能实现有利的加热对策。

当发动机用化学计量比混合气运行时，可把两组气缸轮流地分别微调至略稀和略浓的混合气，而总管仍保持为化学计量比。用这种方法可以在 NO_x 吸附催化转化器中产生较多的热量，以便更快速有效地将其加热。

与常规的加热方法相反，它不加热 NO_x 吸附催化转化器前的整个排气系统，而是对需要热量的 NO_x 吸附催化转化器直接加热。同时半数气缸轮流微调空燃比的方法，在脱硫时可以产生必要的高温，而且在特定的运行状态下可用来防止 NO_x 吸附催化转化器的冷却。

排放标准 (国标、欧标)

排放时间、标准与限值

国家 / 地区		排放时间、标准与限值												
中国	北京	全国	北京	全国	北京	全国	北京	全国	北京	全国	北京	全国	北京	全国
	CO	2.72/3.16	CO	2.20	CO	2.30	CO	1.00	CO	1.00	CO	1.00	CO	1.00
	NOX	0.97/1.13	NOX	0.50	NOX	0.15	NOX	0.08	NOX	0.06	NOX	0.06		
													NOX	0.06
	欧洲	欧 I	1992年	欧 II	1996年	欧 III	2000	欧 IV	2005年	欧 V	2008年	欧 VI	2013年	
														CO
		HC	0.97/1.13	HC	0.50	HC	0.20	HC	0.10	HC	0.07	HC	0.01	
														NOX