车内燃机催化消声器中催化剂的选择与性能评价

刘家杰 陈誉天

广西玉柴机器股份有限公司 广西 玉林 537000

摘要: 本文聚焦车内燃机催化消声器中催化剂, 系统阐述其工作原理、选择依据、常用类型及性能评价方法。剖析催化消声器集成尾气净化与消声功能的原理, 指出催化剂在降低反应活化能、转化污染物中的关键作用。从催化活性、稳定性、成本与经济性、环境适应性四方面明确选择依据, 介绍贵金属、非贵金属及复合催化剂的特性与制备方法。通过活性、稳定性、物理性能和耐久性评价方法, 为催化剂优化与应用提供理论支撑, 对提升汽车尾气净化水平具有重要意义。

关键词: 车内燃机; 催化消声器; 催化剂选择; 性能评价

1 车内燃机催化消声器的工作原理与催化剂作用机制

车内燃机催化消声器集成了尾气净化与噪音消除两大关键功能。在尾气净化层面, 其工作原理基于复杂而精妙的化学反应过程。内燃机排出的尾气富含一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)和氮氧化物(NO_x)等有害污染物。当尾气进入催化消声器, 首先接触到的是涂覆在多孔载体表面的催化剂。以常见的三元催化器为例, 催化剂多由铂(Pt)、铑(Rh)、钯(Pd)等贵金属与氧化铝、氧化铈等氧化物的混合物构成。这些催化剂具有高活性、高选择性及高稳定性的特性。在催化剂的作用下, 尾气中的污染物发生一系列氧化还原反应。一氧化碳与氧气反应生成二氧化碳, 实现了对有毒一氧化碳的无害化处理; 碳氢化合物与氧气充分反应, 转化为二氧化碳和水; 氮氧化物则通过还原反应, 分解为氮气和水。催化剂的活性位点在其中起到至关重要的作用, 它能够降低反应的活化能, 使得这些反应在相对较低的温度下即可高效进行, 从而有效净化尾气。从消声角度来看, 催化消声器内部设有独特的声学结构^[1]。当尾气高速流动产生噪音时, 消声器内的隔板、吸音材料等装置开始发挥作用。声波在消声器内部传播过程中, 吸音材料如玻璃纤维、岩棉等会吸收声波的能量, 将其转化为热能, 从而减小声波的振幅。声波遇到隔板会发生反射, 反射波与原始声波相互干涉, 部分声波能量相互抵消。另外, 消声器内孔和环形缝隙设计巧妙, 较小的孔径使气体进出流速变慢, 有助于气流扩散, 进一步促使声波在衰减中逐渐消失, 最终实现降低车辆运行噪音的目的。

2 车内燃机催化消声器中催化剂的选择依据

2.1 催化活性

催化活性是衡量催化剂性能的关键指标, 直接决定了催化剂对尾气中污染物的转化效率。高催化活性的

催化剂能够在较低的温度下, 快速促进化学反应的进行, 使更多的有害污染物转化为无害物质。例如, 在处理一氧化碳时, 具有高催化活性的催化剂可以在200℃左右就开始有效地将一氧化碳氧化为二氧化碳, 而催化活性较低的催化剂则需要更高的温度才能达到相同的转化效果。催化活性受多种因素影响, 包括催化剂的化学成分、晶体结构、颗粒大小以及活性位点的数量和分布等。不同的金属元素及其合金组成会表现出不同的催化活性, 如贵金属铂(Pt)、钯(Pd)和铑(Rh)对多种尾气污染物的转化具有优异的催化性能; 催化剂的晶体结构决定了其表面原子的排列方式, 进而影响活性位点的暴露程度和反应物分子的吸附能力; 较小的催化剂颗粒能够提供更大的比表面积, 增加活性位点的数量, 从而提高催化活性。

2.2 稳定性

催化剂的稳定性是保证催化消声器长期有效运行的重要因素。稳定性包括热稳定性、化学稳定性和机械稳定性。热稳定性指催化剂在高温环境下保持其结构和性能的能力。内燃机尾气温度通常较高, 在某些工况下可达800℃甚至更高, 若催化剂热稳定性差, 会导致活性组分的烧结、团聚, 使活性位点减少, 催化活性下降。化学稳定性是指催化剂抵抗化学物质侵蚀的能力, 尾气中除了有害污染物外, 还可能含有硫、磷等杂质, 这些物质会与催化剂发生化学反应, 导致催化剂中毒, 降低其活性。机械稳定性则要求催化剂在车辆行驶过程中, 能够承受尾气流动产生的冲刷、振动等机械作用, 不发生破碎、剥落等现象, 以保证催化剂的完整性和持续有效性。

2.3 成本与经济性

在实际应用中, 催化剂的成本与经济性是不容忽视的因素。贵金属催化剂虽然具有优异的催化性能, 但由

于铂、钯、铑等贵金属价格昂贵,导致催化剂的生产成本较高,这无疑增加了汽车的生产和使用成本^[2]。相比之下,非贵金属催化剂如铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)等的价格较为低廉,能够有效降低催化剂的成本。除了原材料成本,催化剂的制备工艺、使用寿命以及维护成本也会影响其经济性。简单高效的制备工艺可以降低生产成本;使用寿命长的催化剂可以减少更换频率,降低维护成本。在选择催化剂时,需要综合考虑催化剂的性能和成本,在保证污染物净化效果的前提下,选择性价比高的催化剂,以实现良好的经济效益。

2.4 环境适应性

不同地区的环境条件差异较大,如温度、湿度、空气质量等,催化剂需要具备良好的环境适应性,才能在各种环境下稳定发挥作用。在寒冷地区,催化剂需要在较低的温度下快速达到起燃温度,实现对尾气的有效净化;在高湿度环境中,催化剂要能够抵抗水汽的影响,避免因水汽吸附导致活性位点被覆盖而降低催化性能;在空气质量较差、污染物浓度较高的地区,催化剂需要具备较强的抗中毒能力,能够持续应对复杂的尾气成分。例如,某些催化剂通过添加助剂或优化制备工艺,提高了对硫、磷等杂质的耐受性,增强了环境适应性,扩大了其应用范围。

3 车内燃机催化消声器中常用催化剂的选择与制备

3.1 贵金属催化剂

贵金属催化剂以铂(Pt)、钯(Pd)和铑(Rh)为主要活性组分,在车内燃机催化消声器中应用广泛。铂具有良好的氧化性能,对一氧化碳和碳氢化合物的氧化反应具有优异的催化活性;钯对碳氢化合物的氧化和一氧化碳的氧化也有较好的催化效果,且价格相对铂较低;铑则主要用于氮氧化物的还原反应,能够有效地将氮氧化物转化为氮气和水。在制备方面,贵金属催化剂通常采用浸渍法,首先将多孔载体浸入含有贵金属盐溶液的浸渍液中,使贵金属盐均匀吸附在载体表面,然后通过干燥、煅烧等工艺,将贵金属盐还原为金属单质,形成负载型贵金属催化剂。为了提高贵金属的利用率和催化性能,还可以采用共浸渍、分步浸渍等方法,控制贵金属在载体表面的分布和颗粒大小。

3.2 非贵金属催化剂

非贵金属催化剂由于成本低、资源丰富,成为近年来研究的热点。常见的非贵金属催化剂包括过渡金属氧化物,如锰(Mn)、铁(Fe)、铜(Cu)、钴(Co)等的氧化物及其复合氧化物。这些催化剂通过不同金属元素之间的协同作用,表现出一定的催化活性。非贵

金属催化剂的制备方法多样,包括沉淀法、溶胶-凝胶法、共沉淀法等。沉淀法是将金属盐溶液与沉淀剂混合,通过控制反应条件使金属离子形成沉淀物,经过过滤、洗涤、干燥和煅烧等步骤制备催化剂;溶胶-凝胶法是利用金属醇盐或无机盐在溶液中水解、缩聚形成溶胶,再经过凝胶化、干燥和煅烧得到催化剂。这些制备方法可以调控催化剂的结构和性能,以满足不同的应用需求。

3.3 复合催化剂

复合催化剂结合了贵金属和非贵金属的优点,旨在提高催化剂的性能和降低成本。一种常见的复合方式是将少量贵金属与非贵金属氧化物复合,利用贵金属的高活性和非贵金属的低成本、资源丰富的特点,实现优势互补。例如,将钯与锰氧化物复合,钯可以提高催化剂的低温活性,锰氧化物则可以降低成本,同时增强催化剂对碳氢化合物的氧化能力。还可以通过将不同的非贵金属氧化物复合,构建具有协同效应的催化剂体系。通过调整复合催化剂中各组分的比例和制备工艺,可以优化催化剂的活性、稳定性和环境适应性^[3]。复合催化剂的制备通常采用多种方法相结合的方式,如先通过沉淀法制备非贵金属氧化物前驱体,再采用浸渍法负载贵金属,以实现各组分的均匀分布和良好的协同作用。

4 车内燃机催化消声器中催化剂的性能评价方法

4.1 活性评价

催化剂的活性评价是衡量其性能的核心指标。常用的活性评价方法是通过模拟实际尾气条件,在固定床反应器中进行催化反应实验。将一定量的催化剂样品置于反应器中,通入模拟尾气(包含一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物等成分,其浓度和流量模拟实际尾气工况),在不同温度下进行反应。通过气相色谱仪、红外光谱仪等分析仪器,检测反应前后尾气中各污染物的浓度,计算污染物的转化率,以此来评价催化剂的活性。例如,一氧化碳转化率越高,说明催化剂对一氧化碳的氧化活性越强。另外,还可以采用程序升温反应(TPR)、程序升温脱附(TPD)等技术,研究催化剂表面的吸附和反应特性,进一步了解催化剂的活性中心和反应机理,为优化催化剂性能提供依据。

4.2 稳定性评价

稳定性评价是确保催化剂在复杂工况下持续高效工作的核心,主要从热稳定性、化学稳定性和机械稳定性三方面展开。热稳定性评价通过高温老化实验模拟极端工况,将催化剂置于800℃-900℃高温环境处理数小时至数十小时。在此过程中,活性组分易发生烧结、团聚,载体可能出现结构坍塌或晶型转变。实验后对比新

鲜催化剂与老化后催化剂的 CO、HC 和 NO_x 转化率,若转化率显著下降,则表明热稳定性不足。化学稳定性评价旨在考察催化剂抵御化学侵蚀的能力。通过向模拟尾气中添加硫、磷等杂质,模拟恶劣化学环境。以硫中毒实验为例,当模拟尾气中 SO₂浓度达 50ppm 时,贵金属催化剂表面会形成硫酸金属盐覆盖层,阻碍反应物与活性位点接触。若 24 小时内 CO 转化率下降超过 15%,则说明催化剂对硫的耐受性较差。机械稳定性评价借助振动实验和气流冲刷实验模拟车辆运行中的力学作用。振动实验将催化剂固定在振动台,以不同频率和振幅模拟颠簸,持续 48 小时后用扫描电子显微镜观察表面裂纹或剥落情况;气流冲刷实验以 100m/s 高速气流冲击催化剂,通过测量实验前后质量损失率评估抗磨损能力,若质量损失率超 5%,则表明机械稳定性存在缺陷。

4.3 物理性能评价

物理性能评价是深入剖析催化剂微观结构与性能关系的重要手段,主要涵盖比表面积、孔结构、颗粒大小和形貌等核心指标。比表面积和孔结构直接影响催化剂的吸附性能和活性位点暴露程度,氮气吸附-脱附法(BET法)是目前最常用的测定手段。在77K液氮温度下,向样品通入高纯氮气,通过测量吸附和解吸过程中氮气的吸附量,绘制吸附等温线和脱附等温线。根据BET方程计算比表面积,利用Barrett-Joyner-Halenda(BJH)模型分析孔径分布。扫描电子显微镜(SEM)和透射电子显微镜(TEM)是观察催化剂微观形貌的关键工具。SEM可在高分辨率下呈现催化剂表面的整体形貌和颗粒分布,通过背散射电子成像技术还能分析不同元素的分布情况;TEM则能深入原子尺度,观察催化剂颗粒的晶格结构和活性组分的分散状态^[4]。在研究钨基催化剂时,TEM图像显示,经过特殊制备工艺的催化剂,钨颗粒均匀分散在载体表面,粒径约为5纳米,这种良好的分散状态有效提升了催化剂的活性和稳定性。结合能量色散X射线光谱(EDX)技术,可对催化剂的元素组成进行定量分析,为优化制备工艺提供数据支撑。

4.4 耐久性评价

耐久性评价致力于模拟催化剂在实际使用过程中的长期性能演变,为预测使用寿命和优化设计提供科学依据。常规耐久性测试将催化剂安装在发动机台架或实际车辆上,进行长达数千公里的道路测试或数百小时的台架连续运行实验。实验过程中,实时记录不同行驶里程或运行时间下的污染物转化率、压力降等关键性能指标。加速老化实验通过强化实验条件,在短时间内模拟催化剂多年的老化过程。除了提高实验温度至900℃-1000℃,还会增加污染物浓度,如将NO_x浓度提升至实际尾气的2-3倍,同时引入高湿度环境(相对湿度≥90%)。通过多因素协同加速老化,可快速获取催化剂性能衰减规律。这些实验结果为催化剂的配方改进和工艺优化指明了方向,助力开发更耐用的催化材料。

结束语

综上所述,车内燃机催化消声器中催化剂的选择与性能评价是实现高效尾气净化的核心环节。研究不同催化剂的特性、选择依据及评价方法,有助于开发更经济、高效、耐用的催化材料。未来,随着环保要求日益严苛,需进一步探索新型催化剂和制备工艺,提升催化剂环境适应性与耐久性,推动车内燃机催化消声器技术持续发展,为改善空气质量、助力绿色交通提供技术保障。

参考文献

- [1]张晓明,李红霞,赵丽娜.催化裂化催化剂选择与性能评价研究进展[J].石油化工,2019,48(6):621-627.
- [2]赵丽娜,张力,王霞等.催化裂化过程中金属添加剂对催化剂性能的影响研究[J].燃料化学学报,2020,51(4):45-49.
- [3]孟令泽,李伯祥.浅谈降低ABS装置生产成本的方向及措施[J].天津化工,2023,37(5):16-19.DOI:10.3969/j.issn.1008-1267.2023.05.005.
- [4]姜达,刘航远.浅谈ABS装置尾气处理装置的选择与应用[J].天津化工,2023,37(6):67-69.DOI:10.3969/j.issn.1008-1267.2023.06.020.