

汽车



排放污染控制系统

简明教程

QICHE
PAIFANG WURAN KONGZHI XITONG
JIANMING JIAOCHENG

主编 · 李孟良 周 华



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

汽车 排放污染控制系统 简明教程



QICHE
PAIFANG WURAN KONGZHI XITONG
JIANMING JIAOCHENG

责任编辑 / 王兆国

封面设计 / 芳华时代

项目负责：武汉理工大学出版社学术工作室
电 话：(027) 87532928
<http://www.techbook.com.cn>
E-mail:wangzhg@whut.edu.cn

武汉理工大学出版社发行部
地 址：武汉市洪山区珞狮路122号
电 话：(027) 87515848 87515778
传 真：(027) 87165708

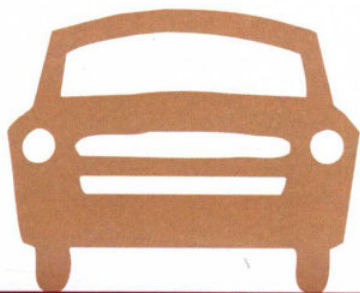
X 734.701
ZL3

ISBN 978-7-5629-4948-0



9 787562 949480 >

定价：39.00元



汽车排放污染控制系统 简明教程

编著单位：中国环境保护产业协会机动车污染防治专业技术委员会
中国汽车技术研究中心

武汉理工大学出版社

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

内容提要

本书采用浅显易懂、图文并茂的形式,综述了汽车排放污染物的来源及形成机理、汽车排放控制系统中典型的排放关键装置(燃油喷射系统、涡轮增压器、废气再循环系统、排放后处理系统、OBD系统)的工作原理、技术发展历程以及外观特征识别方法。本书主要面向机动车环保、监管等职业的从业人员,也可供机动车排放控制相关行业人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车排放污染控制系统简明教程 / 李孟良, 周华主编. —武汉: 武汉理工大学出版社, 2015.8

ISBN 978-7-5629-4948-0

I. ①汽… II. ①李… ②周… III. ①汽车排气污染—污染控制—教材
IV. ①X734.201

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 194571 号

项目负责人:王兆国 责任编辑:王兆国
责任校对:余晓亮 李正武 装帧设计:许伶俐
出版发行:武汉理工大学出版社
网 址:<http://www.techbook.com.cn>
地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号
邮 编:430070
印 刷 者:崇阳文昌印务有限责任公司
发 行 者:各地新华书店
开 本:787×960 1/16
印 张:5
字 数:100 千字
版 次:2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷
定 价:39.00 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

《汽车排放污染控制系统简明教程》编著委员会

顾 问:汪 涛 丁 焰 龚慧明

主 编:李孟良 周 华

副主编:方茂东 侯献军 王计广

参 编:(按姓氏首字母排序)

戴春蓓 付铁强 高俊华

陆红雨 李菁元 徐月云

主 审:高 莹

前 言

截至 2014 年底,全国机动车保有量达 2.64 亿辆,其中汽车 1.54 亿辆。随着机动车保有量的快速增加,我国城市空气开始呈现出煤烟和机动车尾气复合污染的特点,机动车污染已成为我国空气污染的重要来源,是造成灰霾、光化学烟雾污染的重要原因。

机动车环保定期检验是控制机动车排气污染最直接、最有效的手段。为了加强机动车环保检验管理,深化机动车污染防治工作,2013 年环境保护部组织制定了《机动车环保检验管理规定》,其中明确规定:环保检验包括检测尾气排放、查验排放控制装置、登记机动车环保管理信息。由于机动车排放控制技术升级快,排放控制装置结构复杂,如何准确有效地查验排放控制装置给机动车环保定期检验和环保监督抽测等带来了巨大的挑战。因此,在能源基金会的支持和环境保护部机动车管理部门的指导下,中国环境保护产业协会机动车污染防治专业技术委员会组织编写了《汽车排放污染控制系统简明教程》。

本书在编写过程中,得到了环境保护部污染防治司大气与噪声污染防治处汪涛、环境保护部机动车排污监控中心丁焰和能源基金会龚慧明等多位专家的指导,也得到电装(中国)投资有限公司上海分公司杨雄、霍尼韦尔汽车零部件服务(上海)有限公司王环、四川中自尾气净化有限公司孙浩、潍柴动力股份有限公司陶建忠等单位的专家的大力支持。初稿完成后,由吉林大学高莹教授负责主审。

由于编者学识有限,书中错误和疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

二〇一五年四月

Contents

目录

- 1 汽车排放污染物及控制技术概述 // 1**
 - 1.1 汽车排放对环境的危害 // 1
 - 1.2 汽车排放污染物的来源及形成机理 // 2
 - 1.3 汽车排放标准升级推动排放控制新技术应用 // 4

- 2 柴油机排放控制系统工作原理及发展 // 12**
 - 2.1 柴油机燃油系统的原理及发展 // 12
 - 2.2 进气增压器系统的原理及发展 // 15
 - 2.3 废气再循环系统的原理及发展 // 18
 - 2.4 柴油机排放后处理系统的原理及发展 // 18
 - 2.5 柴油机 OBD 系统 // 22

- 3 汽油机排放控制系统工作原理及发展 // 24**
 - 3.1 汽油机燃油供给系统的原理及发展 // 24
 - 3.2 汽油车排放后处理系统的原理及发展 // 25
 - 3.3 汽油机 OBD 系统 // 28

- 4 柴油机燃油喷射系统特征识别 // 30**
 - 4.1 机械直列泵 // 30
 - 4.2 机械分配泵 // 32
 - 4.3 电控直列泵 // 33

汽车排放污染控制系统 简明教程



- 4.4 电控单体泵 /// 35
- 4.5 电控高压共轨 /// 37
- 4.6 直列泵、单体泵、泵喷嘴、高压共轨间的差异 /// 40

- 5 发动机涡轮增压器系统和废气再循环系统特征识别 /// 42**
 - 5.1 涡轮增压器 /// 42
 - 5.2 涡轮增压中冷器 /// 47
 - 5.3 废气再循环系统 EGR /// 49

- 6 柴油机排放后处理装置特征识别 /// 52**
 - 6.1 柴油机选择性催化还原系统 SCR /// 52
 - 6.2 柴油氧化催化器 DOC /// 57
 - 6.3 柴油氧化催化器 DOC+颗粒物氧化催化器 POC /// 59
 - 6.4 颗粒捕集器 DPF/柴油氧化催化器 DOC+颗粒捕集器 DPF /// 62

- 7 汽油机排放后处理装置特征识别 /// 64**
 - 7.1 底盘式三元催化转化器 /// 64
 - 7.2 紧耦合式三元催化转化器 /// 65

- 附录 我国机动车排放标准进程表 /// 69**

1

汽车排放污染物及控制技术概述

本章主要介绍汽车排放污染物对环境的危害、来源及形成机理,以及汽柴油发动机排放控制技术的发展历程。

1.1 汽车排放对环境的危害

汽车有害排放物严重威胁着大气环境质量。截至 2014 年底,全国机动车保有量达 2.64 亿辆,新车登记注册量增长速度约为 2000 万辆/年,2005—2013 年全国汽车登记注册量见图 1-1。我国机动车迅猛增长带来的污染问题日益突出,机动车尾气排放已成为我国空气污染的主要来源,是造成灰霾、光化学烟雾污染的重要原因。以北京市主要污染物的机动车排放分担率为例,一氧化碳分担率为 86%,氮氧化物分担率为 57%,碳氢化合物分担率为 38%,细颗粒物 $PM_{2.5}$ 分担率为 22.2%。由此可见,必须大幅降低机动车污染物排放,才能够显著地改善大气环境质量。

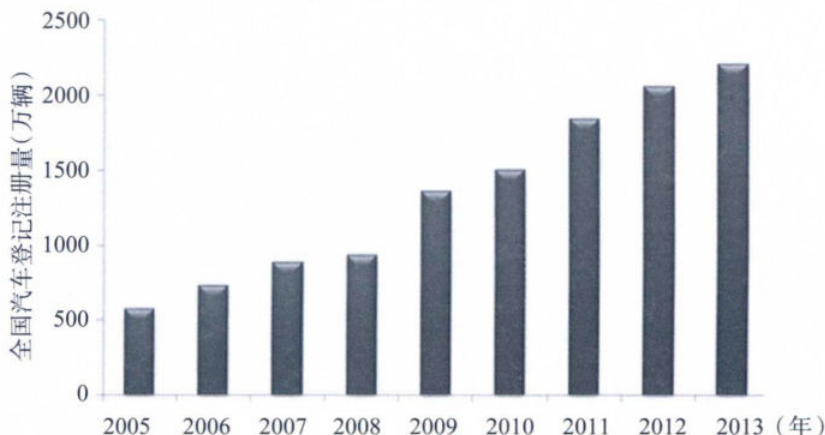


图 1-1 2005—2013 年全国汽车登记注册量



1.2 汽车排放污染物的来源及形成机理

汽油车和柴油车由于燃用的燃油、发动机结构、混合气形成方式和燃烧方式等方面不同,其污染物排放的特点也不同:①汽油具有很强的挥发性,而柴油很难挥发,因此汽油车污染物中有燃料蒸发排放物,其组分是碳氢化合物;②汽油车污染物排放的特点是一氧化碳、碳氢化合物排放量高,而颗粒物排放量低,氮氧化物排放与柴油车基本相同;③柴油车排放特点是颗粒物和氮氧化物排放量多,而一氧化碳和碳氢化合物排放量少。此外,柴油机排放中会有臭味的有机气体。

汽油车排放污染物的主要来源:①排气管排放的气体污染物和颗粒物,气态污染物主要包括一氧化碳、氮氧化物和碳氢化合物,以及大气温室效应气体 CO_2 ;②汽油燃料供给系统中直接排出的蒸发排放物,主要成分是汽油中低沸点的轻质成分(碳氢化合物);③发动机曲轴箱通气孔或润滑油系统开口处排放到大气中的曲轴箱窜气(通过活塞与气缸壁以及活塞环端隙等处泄漏入曲轴箱中),其成分包括气缸中未燃混合气、燃烧产物、部分燃烧的燃油以及少量的润滑油蒸气,见图 1-2。

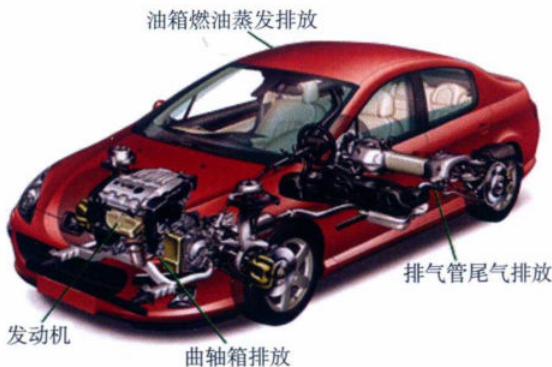


图 1-2 汽油车排放污染物的主要来源

柴油车排放污染物的主要来源:①排气管排放的气体污染物和颗粒物。

气体污染物主要包括一氧化碳、氮氧化物和碳氢化合物,以及大气温室效应气体 CO_2 ; 颗粒物由多种多环芳烃、硫化物和固体炭等组成; ②发动机曲轴箱通气孔或润滑油系统开口处排放到大气中的曲轴箱窜气(通过活塞与气缸壁以及活塞环端隙等处泄漏入曲轴箱中),其成分包括气缸中未燃混合气、燃烧产物、部分燃烧的燃油等以及少量的润滑油蒸气。

汽车排放的主要污染物的形成机理及主要危害:

1) 一氧化碳

★形成机理:汽车排放的一氧化碳主要是由于气缸中氧气不足导致燃油不完全燃烧产生的。此外,进气温度、进气压力、怠速转速以及发动机工况等均影响一氧化碳排放。

★主要危害:一氧化碳主要与血液中血红蛋白结合,危害中枢神经系统,引起头痛、头晕、呕吐等中毒症状,严重时会导致死亡。

2) 氮氧化物

★形成机理:氮氧化物主要指一氧化氮和二氧化氮两种,其中一氧化氮占90%以上。氮氧化物的生成需要同时具备以下三个条件:

①高温。一般认为当燃烧温度高于 2300°C 时会开始生成大量的氮氧化物。

②富氧。高浓度氧的环境。

③持续时间。缸内处于高温、富氧的持续时间越长,氮氧化物的生成量越多,反之越少。

★主要危害:氮氧化物是形成酸雨、酸雾的主要原因之一,还会与碳氢化合物形成光化学烟雾,同时会诱发慢性咽炎、支气管哮喘等疾病。

3) 碳氢化合物

★形成机理:碳氢化合物的生成主要由火焰在壁面淬冷、狭缝效应、润滑油膜的吸附和解吸、燃烧室内沉积物的影响、体积淬熄及碳氢化合物的后期氧化所致。

★主要危害:碳氢化合物和氮氧化物在紫外线的作用下,会产生光化学烟雾,其最突出的危害是刺激眼睛和上呼吸道黏膜,引起眼睛红肿和咽喉炎。



4) 颗粒物

★**形成机理**:汽车排放的颗粒物一般由高度凝聚的固态含碳物质、灰分、可溶性有机成分 SOF(Soluble Organic Fractions)和硫酸盐等组成。在高压燃烧条件下,燃料局部高温、缺氧、裂解并脱氢,形成以碳为主要成分的固态小颗粒;SOF主要来自挥发的燃料和润滑油,其中机油显著影响 SOF 的生成数量;硫酸盐主要来自燃料中的硫,柴油中 98%的硫生成二氧化硫(SO_2),残留部分为硫酸盐;灰分主要来自燃料和润滑油中的金属成分。

★**主要危害**:颗粒物中含有苯并芘等致癌物质,人体吸入后会损伤肺泡和黏膜,引起肺组织纤维化,导致肺心病,诱发慢性鼻咽炎、慢性支气管炎等一系列疾病。图 1-3 给出了不同粒径的颗粒物在人体的侵害部位。

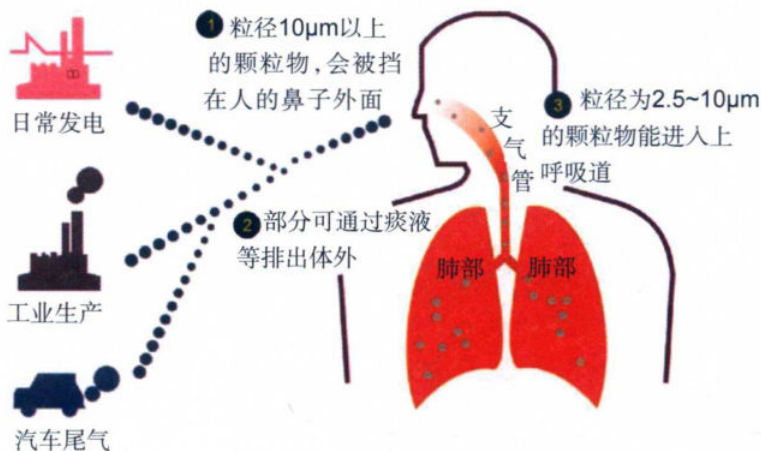


图 1-3 不同粒径的颗粒物对人体的侵害

1.3 汽车排放标准升级推动排放控制新技术应用

随着世界各国对汽车排放污染的日益重视,各国政府不断加严汽车排放法规;汽车企业通过优化发动机的工作过程,提高燃料的燃烧效率,改进燃油品质,减少发动机的排放,或者采用尾气净化技术,或者采用清洁燃料动力系统其他方式,来满足政府不断加严的排放法规。

1.3.1 汽油机排放控制技术

汽车排放控制技术分为机内控制技术和机外控制技术两种（后面详细介绍），见图 1-4。从 20 世纪 60 年代对汽油车的排放进行控制以来，汽车企业采取了各种措施来降低排气管、燃油蒸发和曲轴箱泄漏等三种来源的污染物排放。

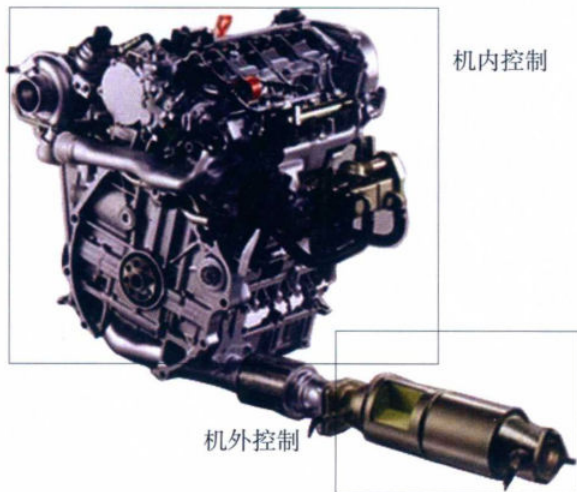


图 1-4 汽油机排放控制技术

燃油蒸发排放和曲轴箱泄漏排放的控制方法相对简单，多年来一直分别采用活性炭罐吸附技术和闭式曲轴箱通风系统。

活性炭罐是排放控制系统中一个关键的部件。由于活性炭具有吸附功能，当汽车运行或熄火时，燃油箱的汽油蒸气通过管路进入活性炭罐的上部，新鲜空气则从活性炭罐下部进入活性炭罐。发动机熄火后，汽油蒸气与新鲜空气在罐内混合并贮存在活性炭罐中。发动机工作时，通过炭罐控制阀将活性炭罐中吸附的汽油蒸气导入发动机进气系统中进行燃烧。电喷系统的控制单元决定控制阀体的开闭程度。活性炭罐在汽车上的安装位置见图 1-5，炭罐实物见图 1-6。

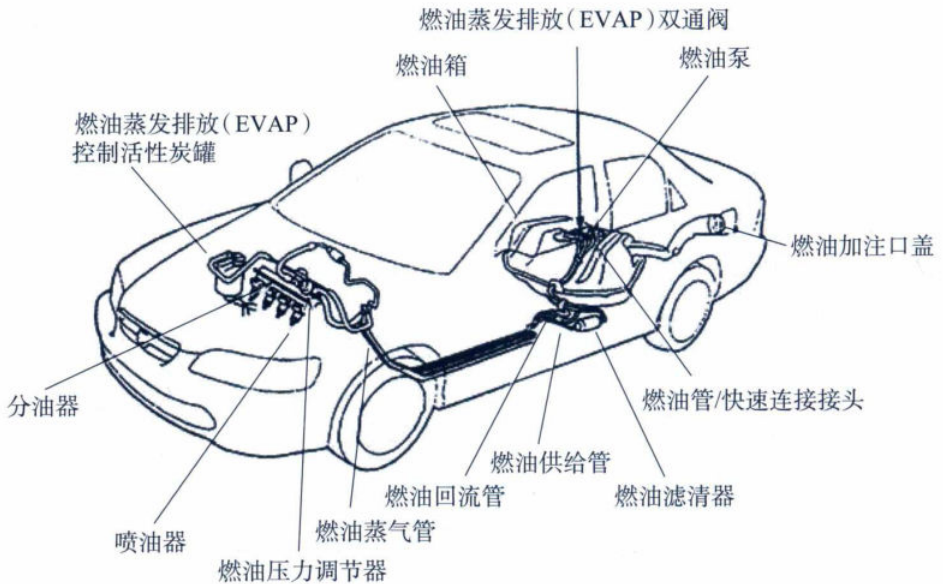


图 1-5 活性炭罐在汽车上的安装位置

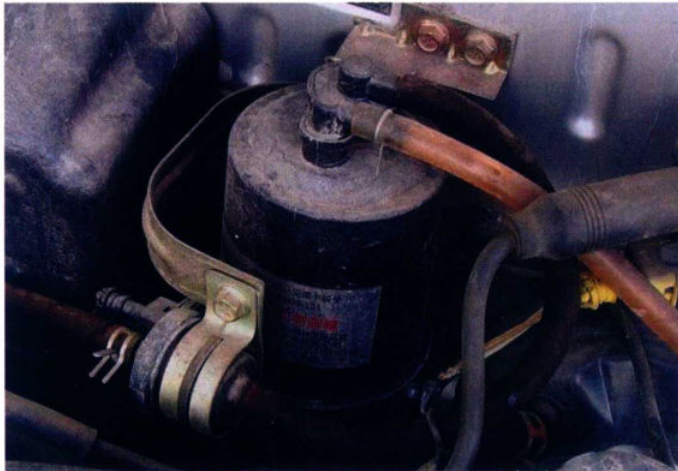


图 1-6 活性炭罐实物

发动机工作时,燃烧室的高压可燃混合气和已燃气体,或多或少会通过活塞组件与气缸壁之间的间隙漏入曲轴箱内,造成窜气,见图 1-7。窜气的成分

为未燃的燃油气、水蒸气和废气等，它们会稀释机油，降低机油的使用性能，加速机油的氧化、变质。水汽凝结在机油中，会形成油泥，阻塞油路；废气中的酸性气体混入润滑系统，会导致发动机零件的腐蚀和加速磨损；窜气还会使曲轴箱的压力过高而破坏曲轴箱的密封，使机油渗漏流失。

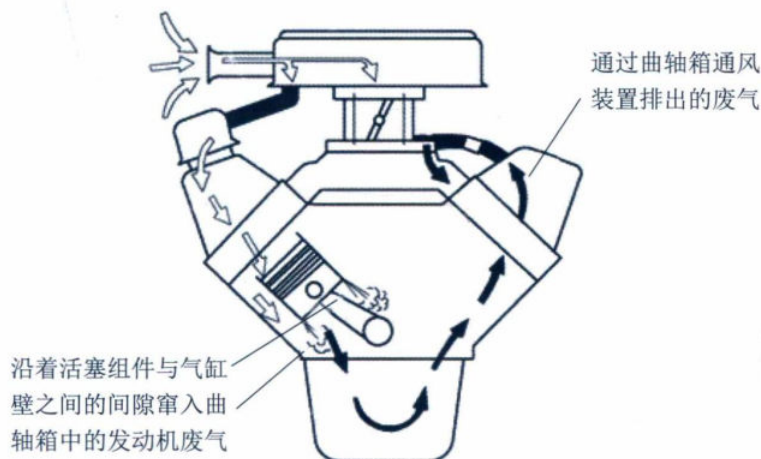


图 1-7 曲轴箱窜气形成机理

为防止曲轴箱压力过高，延长机油使用期限，减少零件磨损和腐蚀，防止发动机漏油，必须实行曲轴箱通风。工作原理是在空气滤清器与节气门之间增加一根与曲轴箱连通的通风管，新鲜空气先经空气滤清器、通风管进入曲轴箱中与窜气混合，在进气管真空作用下经过 PCV 阀进入气缸进行燃烧。当发动机在大负荷下工作时，多余的窜气经通风管进入空气滤清器后方，与发动机进气混合进入气缸进行燃烧。闭式系统既不会使窜气排入大气，又能用新鲜空气进行曲轴箱换气，通风管布置见图 1-8。

汽车排气管排放的控制一直是污染物控制的重点，控制技术主要包括机内控制技术和机外控制技术两个方面。不同排放阶段下，汽油机典型的机内排放控制技术与机外排放控制技术发展见表 1-1。

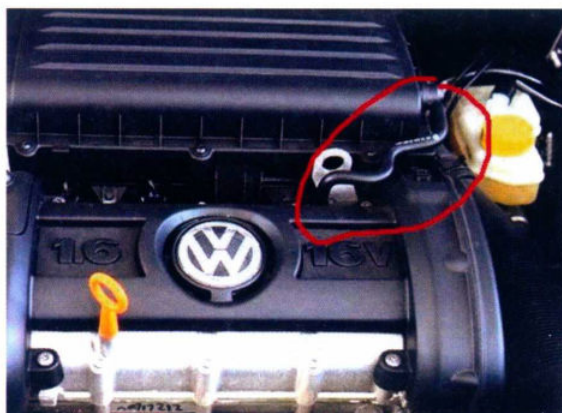


图 1-8 曲轴箱通风管在汽油车上的布置

表 1-1 汽油机典型的机内排放控制技术与机外排放控制技术发展

排放标准	相对上一阶段限值污染物的削减率	典型的机内排放控制技术特征	典型的机外排放控制技术特征
国 I 阶段 / GB 18352.1—2001		多点电喷(MPI)	三元催化转化器+前氧传感器
国 II 阶段 / GB 18352.2—2001	CO—20%~60%; HC+NO _x ⁽¹⁾ —50%; PM ⁽¹⁾ —50%	多点电喷(MPI)+ 机内优化设计	三元催化转化器+前氧传感器
国 III 阶段 / GB 18352.3—2005	CO—40%; HC—60%; [HC+NO _x ⁽¹⁾]-40%; PM ⁽¹⁾ —50%	多点电喷(MPI)+ 机内优化设计	三元催化转化器(紧耦合式/ 底盘式/紧耦合式+底盘式)+ 前后氧传感器; 三元催化转化器涂层改进、 催化剂加热、安装位置前移等
国 IV 阶段 / GB 18352.3—2005	CO—30%~50%; HC—50%; [HC+NO _x ⁽¹⁾]-50%; PM ⁽¹⁾ —50%	多点电喷(MPI)/ 缸内直喷(GDI)+ 机内优化设计(+ 废气再循环)	三元催化转化器(紧耦合式/ 底盘式/紧耦合式+底盘式)+ 前后氧传感器; 三元催化转化器缩短起燃时 间、进一步改进涂层等;二次 空气喷射系统等
国 V 阶段 / GB 18352.5—2013	CO—30%~50%; HC—50%; [HC+NO _x ⁽¹⁾]-50%; PM ⁽¹⁾ —50%	多点电喷(MPI)/ 缸内直喷(GDI)+ 机内优化设计(+ 废气再循环)	三元催化转化器(紧耦合式/ 底盘式/紧耦合式+底盘式)+ 双氧传感器; 三元催化转化器高效涂层、 缩短起燃时间);二次空气喷 射系统;废气再循环等

(1) 仅针对压燃式发动机的汽车

表 1-1 中所述机内控制技术主要包括发动机空燃比控制、点火正时控制(如推迟点火提前角)、燃烧系统优化、高压旋流喷油器、连续可变气门定时机构、电动连续可变气门定时机构等。在此不再详细描述各个机内控制技术。

机外控制技术包括各种催化净化器、热反应器、二次空气系统等,在发动机外进一步降低污染物的排放。目前,三元催化转化器是安装在汽油车排气系统中最重要的机外净化装置,安装在汽车底盘下的底盘式三元催化转化器见图 1-9(安装在排气歧管处的紧耦合式三元催化转化器参见第 7.2 节)。

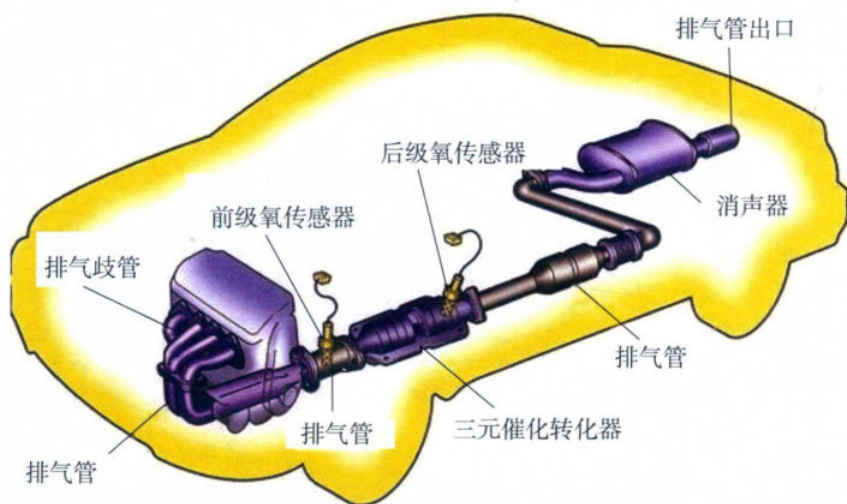


图 1-9 三元催化转化器在汽车中布置的主要形式之一

从国 I 阶段起汽油发动机已采用电子控制燃油喷射技术。目前,闭环电子控制燃油喷射+三元催化转换器是国际上汽油车排放控制的基本技术。

原国家环境保护总局(现环境保护部)公告(2005)14号颁布《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(国 III、国 IV 阶段)》(GB 18352.3—2005)正式明确了我国对 OBD(On-Board Diagnostic)系统的技术要求。

OBD 系统应能监测多个系统和部件,包括发动机、催化转化器、氧传感器、排放控制系统、燃油系统、EGR 等,当这些被监测的系统或部件发生故障时,应向驾驶者发出警告。