

汽车 催化转化器 系统概论

王务林 赵航 王继先 编著



人民交通出版社

Qiche Cuihua Zhuanhuaqi Xitong Gailun

汽车催化转化器系统概论

王务林 赵航 王继先 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

汽车尾气治理是当前我国环保部门和汽车行业一项十分急迫的任务。控制污染的有效措施之一就是催化转化器的采用,这方面的技术资料国内十分匮乏,本书正是在这种背景下出版的。本书共分8章,是一本较为系统地介绍汽车催化转化器的书籍。

图书在版编目(CIP)数据

汽车催化转化器系统概论/王务林等编著. -北京:人民交通出版社, 1999. 10

(汽车新技术新结构丛书)

ISBN 7-114-03522-5

I. 汽… II. 王… III. ①汽车-发动机-空气滤清器②汽车排气-催化-反应器 IV. U464. 134

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第64212号

汽车催化转化器系统概论

王务林 赵航 王继先 编著

版式设计:刘晓方 责任校对:刘高影 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平门内大街10号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本:787×1092 1/32 印张:6.75 字数:146千

1999年10月 第1版

1999年10月 第1版 第1次印刷 总第1次印刷

印数:0001-3000册 定价:15.00元

ISBN7-114-03522-5

U · 02529

序 言

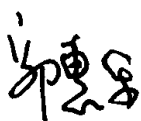
排放、节能、安全已成为当代汽车工业技术发展的主题，其中汽车排放问题更引起人们的关注，降低汽车排放、发展环保型汽车正成为热点。

我国近年特别关注汽车排放问题，有关更加严格的汽车排放法规执行的时间表已经排定，一些地方已经开始执行更加严格的排放法规，这预示着控制汽车排放的新技术将在我国汽车工业中被广泛采用。

汽车催化转化器的使用对于降低汽车排放具有重要作用，它是技术含量较高的多学科集成体，虽然在发达国家已经发展较成熟，且应用很普遍，但是在国内只是刚刚开始使用，尚有大量技术问题需要消化吸收和改进。

目前，国内需要有关汽车催化转化器的资料，但是关于催化转化器的资料在国内非常零散且存在许多认识上的误区，本书的出版恰恰适应了国内这种状况。本书的编著者是从事汽车催化转化器系统研究、开发的学者，多次承担有关方面的重大课题，具有一定的实践经验。这本书在系统地总结了汽车催化转化器所涉及关键问题和系统集成的同时，也指出了国内催化转化器系统技术的发展方向。本书既介绍了催化转化器系统集成中应注意的问题，又从理论和实践方面进行了学术总结，力求使读者能对有关问题有一个全面的了

解。相信本书的出版，对推动我国自己的汽车催化转化器产业在技术上会有裨益，这也是我们的期望。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '高钟' (Gao Zhong), written in a cursive style.

1999 年 8 月

前 言

汽车在运行过程中将会产生尾气污染，对于环境造成一定的影响，尤其在汽车保有量较大的大、中城市由汽车引起的大气污染特别严重，这些问题已经引起人们的关注，控制并降低汽车尾气污染已成为世界性课题。发达国家由于汽车工业总体技术较为先进，在汽车尾气控制技术方面已经取得重要成绩，现在正在向超低污染排放和零污染排放迈进，而在我国汽车尾气污染控制问题只是近几年才受到重视，许多控制技术只是处于探索和试用阶段，与发达国家的差距较大，这主要由两方面原因所致：其一是我国自身的汽车排放标准过于宽松，落后于发达国家较长时间；另一方面我国汽车工业技术与世界相比有很大差距。

但是，目前我国对汽车排放问题已经高度重视，对汽车排放限值正在不断严格，与国际接轨的工作正在进行，北京市已经从1999年1月1日起在我国率先执行相当于欧洲90年代初期的排放限值，这预示着我国系统控制汽车尾气排放的工作正式开始。

控制汽车尾气污染的措施有多方面，其中为汽车安装三元催化转化器系统可以较有效地降低汽车尾气排放，这项技术在发达国家已经普遍采用，收到很好成效。但是此项技术在我国目前尚处于“初级阶段”，许多人只是在表象上有些了解，对于系统方面缺乏实质性理解，致使该项技术在国内应用时产生许多误区，使催化转化技术难以发挥有效作用。

在此情况下，国内急需此技术的系统资料，可是国内至今尚没有系统介绍汽车催化转化器的论著。本书正是在这样的背景下撰写的。全书共分8章，是一本较为系统介绍汽车催化转化器的书籍。

汽车尾气的组成成分及对人体和环境的危害是大众极为关心的，对于汽车尾气中有毒气体产生的机理及相关的控制技术也是大众想了解的，这些内容在本书第1章中作了概要介绍，由于此类知识在许多书籍中都有介绍，本章在写作形式上只是突出概要，让读者简明扼要对此进行了解。汽车排放的测试及各国的排放标准是汽车排放控制技术发展所必须关注的重要方面，这在本书第2章中作了分析和讨论，该章综合地叙述了目前世界上最具有代表性的汽车排放法规，并结合世界汽车排放标准法规的发展趋势概述了我国汽车排放标准 and 法规。

在接下来的章节中，主要论述了控制汽车排放的催化转化器系统技术。第3章首先就汽车催化转化器系统作了总体性介绍，着重就涉及到催化转化器系统方面的有关内容作了概要性描述，并对我国汽车催化转化器技术的发展进行了述评。第4章介绍了催化转化器系统中的载体，对于载体的性能进行了讨论，参考性给出了载体选择过程中应注意的问题。第5章就车用催化剂进行了总结和分析，对催化剂的基本定义和开发过程中应注意的一些重要问题进行了分析和讨论，最后对车用催化剂的选用及催化剂在我国发展情况进行了描述。第6章着重阐述了组成催化转化器系统的重要部件之一——陶瓷密封垫层，对陶瓷密封垫层的基本组成、特性及选用和设计进行了详细地介绍，并对世界上生产陶瓷密封垫层的美国3M公司的产品作了深入介绍。第7章讨论了催化转化器系统的集成技术，着重探讨了催化转化器系统中壳

体设计方法和技术、催化转化器系统中的各关键技术的组合方法，本章利用系统观点讨论了催化转化器系统的集成，用并行工程的理念对催化转化器系统进行设计和集成，最后对有关催化转化器系统的性能评价进行了研究。第8章主要论述了汽车安装使用催化转化器系统所必须注意的一些问题，并对我国汽车安装使用催化转化器的状况进行了分析。

本书含有大量具有参考价值的图表，同时附有大量的参考文献供大家进一步了使用。全书用系统的观点对催化转化器系统进行全面介绍，使读者通过阅读本书能对催化转化器技术有一个全面的理解。本书由王务林、赵航（中国汽车技术研究中心）、王继先（安徽农业大学）编著，由王务林负责全书的主编。

由于编著催化转化器专门技术书籍在国内尚属首次，加之编著者自身能力的限制，本书中肯定存在诸多不足甚至错误，恳望读者批评指正。

编著者

1999年6月18日于天津 CATARC

目 录

第 1 章 汽车排放概论	(1)
1.1 汽车尾气组分及其危害	(1)
1.1.1 引言	(1)
1.1.2 汽车尾气的组成成分	(1)
1.1.3 汽车尾气的危害	(3)
1.2 汽车尾气中有害污染物产生机理	(4)
1.2.1 汽车尾气中 CO 产生机理	(4)
1.2.2 汽车尾气中 HC 产生机理	(5)
1.2.3 汽车尾气中 NO _x 的形成	(7)
1.3 控制汽车排放的措施	(9)
1.3.1 影响 CO、HC、NO _x 的因素	(9)
1.3.2 控制汽车排气污染物措施简介	(15)
第 2 章 汽车排放标准及相关测试方法	(20)
2.1 汽车排放标准	(20)
2.1.1 美国汽车排放标准	(21)
2.1.2 欧洲汽车排放标准	(22)
2.1.3 日本汽车排放标准	(24)
2.1.4 中国汽车排放标准	(25)
2.2 汽车排放污染物测试方法	(27)
2.2.1 概述	(27)
2.2.2 测试方法	(28)
第 3 章 汽车催化转化器概述	(34)

3.1	常用术语说明	(34)
3.1.1	汽车排放特性	(34)
3.1.2	汽车排气系统	(37)
3.1.3	汽车排放标准	(44)
3.1.4	催化转化器	(45)
3.2	汽车催化转化器及其技术发展历程	(46)
3.2.1	美国洛杉矶空气污染事件促使汽 车尾气治理技术的兴起	(46)
3.2.2	催化技术的发展导致汽车催化转 化器技术的诞生	(47)
3.2.3	汽车燃油无铅化和燃油电子喷射 技术的发展推动了催化转化器技 术的进一步发展	(50)
3.2.4	催化转化器技术的新进展	(52)
3.3	我国催化转化器技术的发展	(56)
3.3.1	研究起步和误区产生	(56)
3.3.2	局部进展和系统失配	(59)
3.3.3	催化转化器系统技术研究引起重视	(60)
第4章	汽车催化转化器载体	(62)
4.1	汽车催化转化器载体的作用及分类	(62)
4.1.1	载体的作用及汽车催化转化器系统 对载体的要求	(62)
4.1.2	载体的分类	(64)
4.2	蜂窝陶瓷载体	(67)
4.2.1	蜂窝陶瓷载体的主要原料	(67)
4.2.2	载体的几何参数	(68)
4.2.3	载体的物理性能参数	(73)
4.3	载体的选择	(79)

4.3.1	载体的外形选择	(79)
4.3.2	载体单位面积孔数和孔壁的选择	(80)
4.3.3	载体体积的选择	(83)
4.4	国内外汽车催化转化器用载体生产现状	(84)
4.4.1	世界最大汽车催化转化器载体供应商 美国 Corning 公司	(84)
4.4.2	国内汽车催化转化器载体制造状况	(86)
第 5 章	车用催化剂	(88)
5.1	基本概念及定义	(88)
5.1.1	催化剂	(88)
5.1.2	催化作用的特点	(91)
5.1.3	多相催化反应的历程	(93)
5.1.4	催化剂的活性、选择性和稳定性	(94)
5.2	车用催化剂的设计与开发	(97)
5.2.1	对车用催化剂的性能要求及车用 催化剂的分类	(98)
5.2.2	车用催化剂的设计与开发	(101)
5.3	我国车用催化剂开发现状	(107)
5.3.1	偏重催化器实验室研究, 中试研究 能力薄弱, 工艺开发能力缺乏	(107)
5.3.2	将稀土及其氧化物作为催化剂重要 研究方向	(107)
5.3.3	车用催化剂难以真正实现产业化	(111)
第 6 章	汽车催化转化器垫层	(112)
6.1	陶瓷密封垫层的结构及性能	(113)
6.1.1	陶瓷密封垫层的结构 and 作用	(113)
6.1.2	陶瓷密封垫层的主要物理性能及相 关测试	(115)

6.1.3 垫层整体性能评估试验	(126)
6.2 垫层的选用和设计	(130)
6.2.1 垫层的选用	(130)
6.2.2 垫层的应用设计	(135)
第7章 汽车催化转化器系统设计	(137)
7.1 设计方法简述	(137)
7.2 催化转化器壳体的设计	(139)
7.2.1 催化转化器系统对催化转化器壳体 的要求	(140)
7.2.2 催化转化器壳体的设计	(141)
7.3 催化转化器系统集成	(155)
7.3.1 催化转化器系统概述	(155)
7.3.2 与催化转化器系统关联系统的确定 及其各子系统的划分	(158)
7.3.3 汽车催化转化器系统的集成	(161)
7.4 催化转化器系统检验方法简介	(169)
7.4.1 催化转化器系统的水激冷试验	(169)
7.4.2 催化转化器热振动试验	(170)
7.4.3 催化转化器交变载荷试验	(172)
7.4.4 催化转化器泄漏试验	(174)
第8章 汽车催化转化器系统的安装与使用	(176)
8.1 催化转化器系统使用的外部环境	(176)
8.1.1 外部环境之一——汽车使用的燃料 必须是高品质的无铅汽油	(177)
8.1.2 外部环境之二——将实际空燃比控 制在理论空燃比狭窄的窗口之内	(182)
8.1.3 外部环境之三——发动机工作正常 原机排放量低	(185)

8.2 利用催化转化器技术控制我国汽车排放	
问题的探讨	(185)
8.2.1 我国汽车及排放现状简介	(186)
8.2.2 利用催化转化器控制我国汽车排放	
应作具体分析	(187)
8.2.3 国内催化转化器系统使用现状及	
分析	(190)
后记	(193)
参考文献	(194)

第 1 章 汽车排放概论

本章主要叙述涉及汽车排放的有关原理，包括汽车尾气组成成分、危害及其产生机理等方面的基本知识，并侧重于阐述控制汽车尾气污染的若干物理概念。

1.1 汽车尾气组分及其危害

1.1.1 引言

汽车在给人们生活带来便利的同时，也造成汽车尾气对环境的污染问题。随着汽车保有量的急剧增加，汽车尾气污染问题在一些地区尤为突出，对人们的身体健康已经造成威胁，如本世纪 40 年代和 50 年代美国的洛杉矶以及 70 年代的日本东京相继发生严重的空气污染事件，其重要元凶之一即为汽车尾气。随着人们对环境问题愈来愈重视，人们迫切要求治理汽车尾气。为此，有必要了解汽车尾气组成成分和对人体的危害。

1.1.2 汽车尾气的组成成分

汽油主要由碳和氢组成，汽油正常燃烧时生成二氧化碳 (CO_2)、水蒸汽 (H_2O) 和过量的氧 (O_2) 等物质。但由于燃料中含有其他杂质和添加剂，且燃料常常不能完全燃烧，常排出一些有害物质。研究表明：汽车所排放出的尾气成分

非常复杂，其主要污染物包括一氧化碳（CO）、碳氢化合物（HC）和氮氧化合物（NO_x）。表 1.1 给出了汽车尾气的主要组成。

汽车尾气的重要组成 表 1.1

汽车尾气的组分	含量（体积百分比）	汽车尾气的组分	含量（体积百分比）
CO	0.3 ~ 1.0	H ₂	0.1 ~ 0.3
O ₂	0.2 ~ 0.5	NO _x	0.2 ~ 0.3
HC	0.1 ~ 0.6	CO ₂	~ 12
H ₂ O	~ 13	N ₂	~ 14

表中 HC 为碳氢化合物总称，组分尤其复杂，有 100 种以上。主要包括：

①总烷烃（CH₄，C₂H₆，C₃H₈，n - C₄H₁₀，i - C₄H₁₀，n - C₅H₁₂，i - C₅H₁₂等），占 HC 总体积的 74% 左右。

②总烯烃（C₂H₄，C₃H₆，n - C₄H₈，i - C₄H₈ 等），占 HC 总体积的 10% 左右。

③芳烃（苯，甲苯，二甲苯，乙基苯，各种多环芳烃等），约占总体积的 15.5%。

④含碳氧化合物（醇，醛，酮等），约占总体积的 0.5%。

NO_x 为 NO，N₂O 和 NO₂ 的总称。

需要说明的是：汽车尾气组成成分随着汽车运行工况的变化而变化（见表 1.2），汽车燃料的不同，其组分有较大

汽油机不同工况有害物的排放量 表 1.2

工 况	CO (%)	HC (1 × 10 ⁻⁶)	NO _x (1 × 10 ⁻⁶)
怠速	4.0 ~ 10	300 ~ 2 000	50 ~ 1 000
加速 (0 ~ 40km/h)	0.7 ~ 5.0	300 ~ 600	1 000 ~ 4 000
等速 (40km/h)	0.5 ~ 4.0	200 ~ 400	1 000 ~ 3 000
减速 (40 ~ 0km/h)	1.5 ~ 4.5	1 000 ~ 3 000	5 ~ 50

不同，这些信息对于如何采用有关技术控制汽车尾气排放具有重要意义。

对于汽车排气造成的废气污染，目前一般按规定的行驶规范，即用汽车每行驶 1km 所排出的污染物质质量来表示。其规定的行驶规范是按照国家对汽车排放规定的标准来确定的，我国目前采用的汽车排放标准是与 ECE 标准相一致，规定汽车排放量是用 g/km 表示的，例如我国目前测定一辆汽车 CO 排放量为 10g/km，即表示这辆汽车是按照 ECER15-04 法规排放法规中规定的汽车运行工况进行测量的，此辆车每运行 1km 就向大气中排出 10g 的 CO。关于汽车排放法规，将在本书另外章节中系统介绍。

1.1.3 汽车尾气的危害

从上述介绍的汽车尾气组成成分可知，尾气中含有很多对人体有害的物质，对其危害性应有充分的认识。表 1.3 总结了汽车尾气的危害性。

汽车尾气中有害物质对人和环境的影响 表 1.3

汽车尾气中的有害物质	对 人 和 环 境 的 影 响
CO	阻碍人体的血液吸收和氧气输送，影响人体造血机能，随时诱发心绞痛、冠心病等疾病
HC	形成具有很强毒性的光化学烟雾，伤害人体，并会产生致癌物质。产生白色烟雾，对家畜、水果以及橡胶制品和建筑物均有损坏
NO _x	使人中毒比 CO 还强，损坏人的眼睛和肺，并形成光化学烟雾，是产生酸雨的主要物质，可使植物由绿色变为褐色，直至大面积死亡
CO ₂ 、CH ₄ 等	为主要的温室气体，使地球表面吸收太阳光反射的红外线增加，妨碍了热量向宇宙间扩散