

学校编码: 10384  
学号: 20520101151623

分类号\_\_\_\_密级\_\_\_\_  
UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

超细  $\text{CeO}_2$  的形貌调控及其负载型 Ag 催化  
剂催化碳烟颗粒的燃烧性能

Morphological manipulation of ultrafine  $\text{CeO}_2$  powder and  
silver supported type catalysts for soot combustion

杨金玉

指导教师姓名: 杨乐夫 副教授

方维平 教授

专业名称: 物理化学

论文提交日期: 2013 年 月

论文答辩时间: 2013 年 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2013 年 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（）课题（组）的研究成果，获得（）课题（组）经费或实验室的资助，在（）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 柴油机尾气净化技术.....	3
1.2.1 柴油机内净化控制技术.....	3
1.2.2 柴油机尾气后处理技术.....	4
1.3 碳烟颗粒催化燃烧的催化剂分类.....	6
1.3.1 贵金属催化剂.....	6
1.3.2 碱金属和碱土金属催化剂.....	7
1.3.3 过渡金属氧化物催化剂.....	7
1.3.4 复合金属氧化物催化剂.....	8
1.4 论文选题及研究内容.....	12
参考文献.....	14
第二章 实验部分.....	19
2.1 主要实验试剂.....	19
2.2 催化剂制备.....	20
2.2.1 CeO <sub>2</sub> 的制备.....	20
2.2.2 负载型 Ag/CeO <sub>2</sub> 催化剂的制备.....	20
2.3 催化剂活性评价.....	20
2.4 催化剂表征.....	20
2.4.1 XRD 测试.....	20
2.4.2 扫描电镜 (SEM).....	21
2.4.3 热重分析 (TGA).....	21
2.4.4 O <sub>2</sub> 程序升温脱附 (O <sub>2</sub> -TPD).....	21
2.4.5 CO 程序升温还原 (CO-TPR).....	21
2.4.6 比表面积表征.....	21

2.4.7 XPS 表征 .....	21
<b>第三章 超细氧化铈粉体的形貌控制 .....</b>	<b>22</b>
3.1 引言 .....	22
3.2 实验过程 .....	22
3.2.1 CeO <sub>2</sub> 的制备 .....	22
3.2.2 CeO <sub>2</sub> 表征 .....	23
3.3 结果与讨论 .....	23
3.3.1 尿素沉淀法制备 CeO <sub>2</sub> .....	23
3.3.2 碳酸氢铵沉淀法制备 CeO <sub>2</sub> .....	29
3.3.3 碳酸铵沉淀法制备 CeO <sub>2</sub> .....	32
3.4 小结 .....	39
参考文献 .....	40
<b>第四章 氧化铈负载 Ag 催化剂的碳烟颗粒催化燃烧性能 .....</b>	<b>43</b>
4.1 CeO <sub>2</sub> 负载 Ag 催化剂的碳烟燃烧的性能评价 .....	43
4.1.1 载体 CeO <sub>2</sub> 催化碳烟燃烧的性能 .....	43
4.1.2 负载型 Ag 催化碳烟燃烧的性能 .....	44
4.1.3 催化剂用量对碳烟燃烧的影响 .....	46
4.1.4 程序升温速率对碳烟燃烧的影响 .....	47
4.2 催化剂的表征 .....	48
4.2.1 XRD .....	48
4.2.2 前体 TG 分析 .....	51
4.2.3 O <sub>2</sub> -TPD .....	52
4.2.4 CO-TPR .....	53
4.2.5 XPS .....	54
4.2.6 碳烟燃烧机理 .....	57
4.5 小结 .....	58
参考文献 .....	58
<b>第五章 铈基复合氧化物负载 Ag 催化剂的碳烟颗粒催化燃烧性能 .....</b>	<b>60</b>
5.1 铈基复合氧化物负载 Ag 催化剂的碳烟燃烧性能评价 .....	60
5.1.1 催化剂载体及其制备 .....	60

5.1.2 铈基复合氧化物催化碳烟燃烧的性能 .....	60
5.1.3 负载型 Ag 催化剂催化碳烟燃烧的性能 .....	61
<b>5.2 催化剂的表征.....</b>	<b>62</b>
5.2.1 XRD .....	62
5.2.2 SEM 和 BET .....	64
5.2.3 O <sub>2</sub> -TPD .....	65
5.2.4 CO-TPR .....	66
5.2.5 XPS .....	67
<b>5.3 小结.....</b>	<b>69</b>
参考文献 .....	69
<b>第六章 结束语.....</b>	<b>71</b>
<b>附 录.....</b>	<b>73</b>
<b>致 谢.....</b>	<b>74</b>

## Table of Content

<b>Abstract in Chinese</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract in English</b> .....	<b>III</b>
<b>Chapter 1 Prolegomenon</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Diesel exhaust purification technology</b> .....	<b>3</b>
1.2.1 Diesel engine purge control technology .....	3
1.2.2 Diesel engine post-processing techniques .....	4
<b>1.3 Classification of catalysts for soot combustion</b> .....	<b>6</b>
1.3.1 Precious metal catalysts.....	6
1.3.2 Alkali metal and alkaline earth metal catalysts .....	7
1.3.3 Transition metal oxide catalysts.....	7
1.3.4 Composite metal oxide catalysts .....	8
<b>1.4 Objectives and research scheme</b> .....	<b>12</b>
<b>References</b> .....	<b>14</b>
<b>Chapter 2 Experiments</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Reagents</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2 Catalyst preparation</b> .....	<b>20</b>
2.2.1 Preparation of CeO <sub>2</sub> .....	20
2.2.2 Preparation of supported Ag catalyst .....	20
<b>2.3 Evaluation of the catalytic performance</b> .....	<b>20</b>
<b>2.4 Characterization of catalysts</b> .....	<b>20</b>
2.4.1 XRD .....	20
2.4.2 SEM.....	21
2.4.3 TGA .....	21
2.4.4 O <sub>2</sub> -TPD.....	21
2.4.5 CO-TPR .....	21

2.4.6 BET.....	21
2.4.7 XPS .....	21
<b>Chapter 3 Preparation of ultrafine ceria powders .....</b>	<b>22</b>
3.1 Introduction.....	22
3.2 Experiments.....	22
3.2.1 Preparation of ceria .....	22
3.2.2 Characterization of ceria.....	23
3.3 Results and discussion .....	23
3.3.1 Preparation of ceria by urea .....	23
3.3.2 Preparation of ceria by ammonium hydrogen carbonate.....	29
3.3.3 Preparation of ceria by ammonium carbonate .....	32
3.4 Conclusions.....	39
References .....	40
<b>Chapter 4 Soot combustion of silver supported on ceria catalysts ....</b>	<b>43</b>
4.1 Catalytic activity of Ag supported on ceria catalysts .....	43
4.1.1 Performance of CeO <sub>2</sub> supporter catalysts .....	43
4.1.2 Performance of silver loading catalysts .....	44
4.1.3 Performance of catalyst amount.....	46
4.1.4 Performance of air temperature-programmed rate .....	47
4.2 Characterization of catalyst.....	48
4.2.1 XRD.....	48
4.2.2 TG.....	51
4.2.3 O <sub>2</sub> -TPD.....	52
4.2.4 CO-TPR .....	53
4.2.5 XPS .....	54
4.2.6 Mechanism of soot combustion.....	57
4.5 Conclusions .....	58
References.....	58
<b>Chapter 5 Soot combustion of silver supported on ceria-based composite catalysts.....</b>	<b>60</b>



---

<b>5.1 Catalytic activity of Ag supported on ceria-based composite catalysts ...</b>	<b>60</b>
<b>5.1.1 Preparation of supports.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.2 Performance of ceria-based composite catalysts.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.3 Performance of silver loading catalysts .....</b>	<b>61</b>
<b>5.2 Characterization of catalysts .....</b>	<b>62</b>
<b>5.2.1 XRD.....</b>	<b>62</b>
<b>5.2.2 SEM and BET .....</b>	<b>64</b>
<b>5.2.3 O<sub>2</sub>-TPD.....</b>	<b>65</b>
<b>5.2.4 CO-TPR .....</b>	<b>66</b>
<b>5.2.5 XPS.....</b>	<b>67</b>
<b>5.3 Conclusions.....</b>	<b>69</b>
<b>References.....</b>	<b>69</b>
<b>Chapter 6 Conclusions.....</b>	<b>71</b>
<b>Appendix.....</b>	<b>73</b>
<b>Acknowledgments .....</b>	<b>74</b>

## 摘要

碳烟颗粒 (PM), 是柴油机尾气排放的主要污染物, 其中很大比例 (>95%) 是粒径小于  $2.5\mu\text{m}$  的颗粒 (PM<sub>2.5</sub>), 容易悬浮在空气中, 从而被人或动物呼吸进入体内, 导致肺癌、哮喘等疾病, 严重危害人体健康。目前在柴油机设计中, 常采取机内净化和尾气处理两种减排策略, 但随着排放标准不断紧缩, 单纯依靠机内净化不仅无法达标, 且会限制机动车的动力性与经济性, 因而发展后处理技术势在必行。

颗粒物捕集器 (DPF) 是采用尺寸效应对尾气颗粒物进行滤除的装置, 是目前柴油内燃机中最有效的颗粒物去除手段。为防止碳颗粒在过滤器上过度积累而堵塞过滤器, 进而影响柴油机性能, 须采用完全氧化的方式将其在线消除。然而, 由于碳烟颗粒的热分解温度超过  $600^{\circ}\text{C}$ , 而柴油机的排气温度为  $150\sim 400^{\circ}\text{C}$ , 所以需要借助一种氧化活性高的催化剂降低碳烟颗粒的燃烧温度。

本论文包含两部分内容: 首先是探索制备超细二氧化铈和铈基复合氧化物颗粒。通过优化水热沉淀条件 (沉淀剂的类型、水热温度、表面活性剂等), 制备出分散均匀的超细二氧化铈和铈基复合氧化物颗粒; 其次是对负载型银催化剂的制备方法及其碳烟颗粒物氧化性能的研究。由于球状或类球状纳米粒子具有较大的比表面积和各向同性, 在催化反应中具有较高的反应活性, 因此本文选择第一部分制备的类球状二氧化铈和铈基复合氧化物粒子作为载体, 通过浸渍法和柠檬酸溶胶凝胶法制备得到负载型Ag催化剂, 并结合XRD、 $\text{O}_2$ -TPD、CO-TPR、XPS等分析手段, 考察了Ag/CeO<sub>2</sub>和Ag/Ce<sub>0.9</sub>Mo<sub>0.1</sub>O<sub>2</sub>系列催化剂的晶型和氧化还原特性与反应活性之间的关系, 揭示了催化剂的作用机理及表面活性物种。

本文主要结果归纳如下:

1. 利用水热法制备出类球状二氧化铈及铈基复合氧化物的条件是: 碳酸铵与铈基硝酸盐溶液的摩尔比为3~6, 水热温度在 $100\sim 160^{\circ}\text{C}$ , 水热时间为12h。
2. 载体为类球状形貌的氧化铈时, 采用柠檬酸溶胶凝胶法引入银组分制备得到的负载型Ag催化剂的碳烟燃烧效果较好, 比通过浸渍法制备的负载型Ag催化

剂的碳烟起燃温度 ( $T_{10}$ ) 和最大失重温度 ( $T_{50}$ ) 低 $50^{\circ}\text{C}$ 和 $110^{\circ}\text{C}$ 。

3. 负载型 Ag 催化剂在松散接触时具有较好的催化活性的主要原因是, 催化剂表面形成了较多的具有良好表面迁移性的  $\text{O}_2^-$ 和具有良好碳烟燃烧活性的  $\text{O}^-$ 离子。
4. 以铈基复合型氧化物为载体制备得到的负载型 Ag 催化剂在很大程度上促进了表面  $\text{O}_2^-$ 和  $\text{O}^-$ 的形成, 因而具有比 Ag/CeO<sub>2</sub> 催化剂更好的催化活性, 能将碳烟颗粒燃烧最大失重温度 ( $T_{50}$ ) 和终止燃烧温度 ( $T_{90}$ ) 降低到  $400^{\circ}\text{C}$  和  $450^{\circ}\text{C}$  左右。

综上所述, 本文通过控制载体的形貌, 采用柠檬酸溶胶凝胶法, 制备得到的负载型 Ag 催化剂由于表面生成较多的具有良好表面迁移性的  $\text{O}_2^-$ 和具有良好碳烟燃烧活性的  $\text{O}^-$ 离子, 因此在一定程度上解决了碳烟颗粒与催化剂的传质问题。

**关键词:** 碳烟燃烧; 类球状氧化铈; 负载型 Ag 催化剂; 铈基复合氧化物

## Abstract

Particulate matter (PM), especially a large portion of PM<sub>2.5</sub> (the particle size is smaller than 2.5 $\mu$ m) is the main pollutants from diesel engine. For it can easily suspend in the air and inhaled by people and be apt to cause lung cancer, asthma and other diseases which are harmful to human health. As a consequence, the regulations on emissions become more stringent. Nowadays, there are two strategies to reduce the gas exhaust in the diesel engine design. One is engine modification, and the other is to deal with the tail gas. In fact, the problem can not be satisfactorily solved by a sole mode of engine modification. When the dynamic and economic efficiency is concerned, to develop the post-processing technique is imperative.

This study can be divided into two parts. The first part is to prepare ultrafine ceria and ceria-based composite oxide. A uniform dispersion of ultrafine cerium oxide and cerium-based composite oxide are obtained by optimizing the hydrothermal precipitation conditions, such as the type of precipitating agent, the hydrothermal temperature, surfactant and others. The second part is to explore the preparation method and the combustion performance of the silver supported catalysts. Due to the spherical or spherical-like nanoparticles having a large surface area and isotropic property and showing a high reaction activity in catalytic reaction, so silver supported catalysts were prepared by impregnation and citric acid sol-gel route based on the spherical-like ceria and ceria-based composite oxide as the carrier which prepared in the first chapter. Combining the characterization of XRD, O<sub>2</sub>-TPD, CO-TPR and XPS, we investigated crystallographic phase and redox features of Ag/CeO<sub>2</sub> and Ag/Ce<sub>0.9</sub>M<sub>0.1</sub>O<sub>2</sub> to build up the relation between these characteristics and catalytic activity. Meanwhile, the mechanism of the catalytic process and surface active species on the catalyst is discussed.

The main results of this work are summarized as follows:

1. The optimized condition of preparing spherical-like ceria and ceria-based

composite oxide by hydrothermal method is the molar ratio of carbonate and ceria-based nitrate solution between 3~6, the hydrothermal temperature at 100~160°C and the hydrothermal time of 12h.

2. The silver supported catalysts prepared by citric acid sol-gel method has a better soot oxidation activity than the silver supported catalyst prepared by impregnation method when using the spherical-like cerium oxide as the carrier. The initiation temperature ( $T_{10}$ ) and maximum weight loss temperature ( $T_{50}$ ) of the former is lower 50°C and 110°C than the latter.
3. The main reason for the good catalytic activity of silver supported catalyst in loose contact is the more  $O_2^-$  which has good mobility and the more  $O^-$  that plays a very important role in the soot combustion process.
4. More  $O_2^-$  and  $O^-$  were produced when the ceria-based composite oxide as the carrier. As a result, these catalysts have better catalytic activity than Ag/CeO<sub>2</sub> catalysts. The maximum weight loss temperature ( $T_{50}$ ) and the final combustion temperature ( $T_{90}$ ) could be lowered to 400°C~ 450°C.

To sum up, due to the more surface  $O_2^-$  having a good surface mobility and  $O^-$  having a good catalytic activity is produced on Ag/CeO<sub>2</sub> based catalysts prepared by citric acid sol-gel method, the mass transferring, which is the main obstacle of soot combustion in loose contact mode, is overcome efficiently.

**Key words:** soot combustion; spherical ceria; silver supported catalyst; ceria-based composite oxide

## 第一章 绪论

### 1.1 前言

“21 世纪是柴油车的世纪”早已经是国际汽车界共识。与汽油机相比，柴油机具有高效率、低油耗、寿命长、使用可靠等特点。同时，柴油车比汽油车的燃油经济性高出三分之一，排放的二氧化碳比前者少。从世界范围来看，汽车柴油机化已经成为一种不可逆转的趋势。在较为成熟的欧美汽车市场，商用车的 90%以上以柴油为动力；轿车柴油化的比例已接近 40%；而柴油发动机的乘用车则占其销售总量的 35%，法国达到 54%；在德国，几乎所有的出租车都使用了柴油机；在起步较晚的日本，商用车中柴油机的比例也超过了 38%。在能源日趋紧张的今天，中国也渐渐意识到柴油动力的优势，逐渐与世界接轨，鼓励发展柴油动力车。据预测，2020 年中国轿车的柴油机使用比例也将达到 30%。这将成为解决中国汽车环保与节能双重压力最有效最经济的手段之一。

但是，目前柴油机尾气排放中的一氧化碳（CO）、碳氢化合物（HC）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和碳烟颗粒（PM）给人类健康以及环境造成了严重的危害，成为限制其发展的一大瓶颈。表 1.1 是相同排量的柴油机与汽油机运行过程中排放的主要污染物及含量的比较。从表中可见，与汽油机相比，柴油机的 CO 和 HC 的排放量不到汽油机的 1/10；NO<sub>x</sub> 的总体排放偏低低于汽油机；而颗粒物排放却是汽油机的 30-70 倍。

表 1.1 相同排放量的柴油机与汽油机有害排放物的比较

Table 1.1 Comparison of harmful emissions from diesel engine and gasoline engine at the same emissions

发动机类型	HC(ppm)	CO(ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	PM(g/cm <sup>3</sup> )
柴油机	<300	<1000	1000-4000	0.5
汽油机	<1000	<100000	2000-4000	0.01

由于柴油机与汽油机的工作过程和燃烧方式不同，两者的尾气排放物成分和

浓度也不同，且柴油机空燃比大，尾气中氧含量较高，使得已经十分成熟的汽油机三效催化剂不能有效地用于柴油机上。柴油机尾气中的 CO、HC 排放量少，且消除较为容易，可采用直接催化氧化的净化方式。NO<sub>x</sub> 的消除目前主要集中在选择性催化还原（SCR）技术和 NO<sub>x</sub> 储存还原（NSR）技术上，而还没有十分成熟的技术能够解决碳烟颗粒的排放问题。

初生的碳烟颗粒（PM）是表面积很大的疏松团装结构，表面吸附了一层可溶的有机成分（SOF）、硫酸盐物质、金属杂质以及水等物质，其组成如示意图 1.1<sup>[1]</sup>所示。空气中较大的颗粒物质会被鼻子、咽喉等屏障捕集而被排出人体外，对人体危害较小。然而柴油机碳烟颗粒（PM）的粒径多数为 0.1-10 $\mu\text{m}$ ，90%以上的颗粒直径小于 1 $\mu\text{m}$ <sup>[2-3]</sup>，几乎全部可以被吸入人体肺部。已有研究表明，碳烟颗粒上吸附的一些重金属元素和碳氢化合物，如多环芳烃（PAHS），对人体具有强致癌诱变作用，导致人体患呼吸系统疾病的几率大增<sup>[4]</sup>。另外，碳烟颗粒质量轻，能长时间悬浮在大气，成为城市的主要污染源之一，严重影响了环境质量，给人类生活带来诸多不良影响<sup>[5-6]</sup>。我国于 2013 年 1-2 月期间部分地区连续多天出现雾霾天气的主要原因就是 PM<sub>2.5</sub>（粒径小于 2.5 $\mu\text{m}$  的颗粒）超出了污染等级。

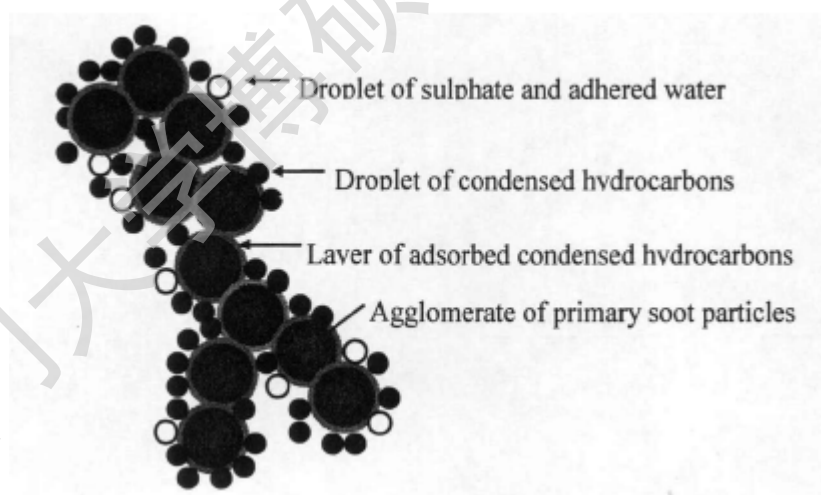


图 1.1 碳烟颗粒的组成示意图<sup>[1]</sup>

Fig 1.1 Schematic view of the soot particles<sup>[1]</sup>

随着全球环境保护意识的不断增强，柴油机尾气污染物对人类健康和环境的危害已引起人们的广泛关注。为了应对严峻的环境问题，世界各国相继制定了日益严格的柴油机排放标准和法规。我国借鉴欧洲的柴油机排放法规，到目前为止已基本建成我国的柴油车排放标准。我国于 2001 年、2004 年、2008 年分别实施

了国 I、国 II、国 III 排放法规，并于 2010 年 1 月 1 日对车用压燃式发动机的汽车（重型汽车）开始实施国 IV（相当于欧 IV）排放标准，从 2010 年 7 月 1 日起对轻型汽车开始实施国 IV 排放标准，国 IV 排放标准对颗粒物排放可降低 80%。我国环保部在 2012 年已明确于 2013 年 7 月 1 日实施商用车国 IV 排放标准。虽然我国对柴油车的排放控制起步较晚，但发展很快，将逐步拥有日益严格的柴油机排放标准。因此，如何控制柴油机碳烟颗粒的排放成为一个重大的研究课题。

## 1.2 柴油机尾气净化技术

柴油机排放控制的重点在于控制碳烟颗粒物的排放，目前控制技术主要集中在燃油改进、发动机改进和排气后处理三部分。其中燃油改进和发动机改进主要属于机内控制，排气后处理属于机外控制。

### 1.2.1 柴油机内净化控制技术

机内控制主要是针对燃油进行改进以及优化发动机的设计。主要有以下方面：

(1) 适当提高十六烷值，降低芳香烃的含量。通过增加柴油的十六烷值，改善燃料燃烧质量，能有效地降低发动机尾气碳烟颗粒的排放<sup>[7]</sup>。

(2) 降低燃油中的硫含量。燃料中的硫含量是影响碳烟颗粒水平的一个重要因素。在燃烧过程中柴油中的硫有 2% 生成硫酸盐并吸附在碳烟颗粒上排出。硫酸盐排放量正比于柴油的含硫量，当燃料中的硫含量从 0.12% 降低到 0.05% 时，碳烟颗粒的排放量减少 8%-10%<sup>[8]</sup>。

(3) 加入燃油添加剂。对于装载有碳烟颗粒过滤器的柴油机，在燃油中加入少量添加剂，能有效降低碳烟颗粒的起燃温度，从而使过滤器达到再生，而且燃料效率增加了 5-7%，同时，发动机产生的颗粒物减少了 10-25%<sup>[9-11]</sup>。但是燃油添加剂燃烧形成的金属氧化物有一部分沉积下来会堵塞过滤器，若沉积过多，最终会影响过滤器使用寿命以及柴油机的动力性、经济性，且排入大气的这些金属氧化物将造成二次污染。

(4) 使用替代燃料。替代燃料将是控制柴油机尾气排放的重要方法之一。目前替代燃料主要是天然气、液化石油气（LEG）、甲醇、乙醇、氢燃料、二甲醚（DME）、生物燃料及其它与柴油混用的复合燃料等。由于代用燃料常常热值



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库