

柴油车关键技术研究与发展

(本文已有删节)

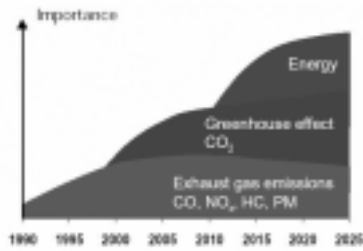
王大祥

中国汽车技术研究中心催化净化工程中心

主要内容

- ❖ 柴油车排放特性综述
- ❖ 绿色柴油发动机技术进展
- ❖ 柴油车排放后处理关键技术
- ❖ 柴油车氧化催化剂关键技术
- ❖ 适应国内市场的排放后处理技术
- ❖ 催化净化工程中心目前科研进展

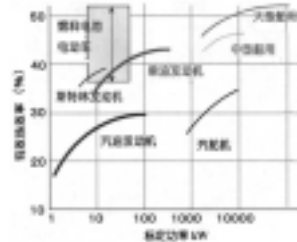
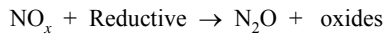
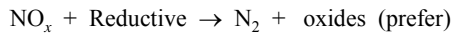
1-1 柴油车优点(与汽油车相比)



柴油车优点：

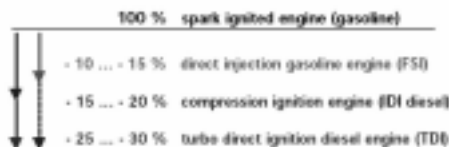
- ❑ 功率强劲，功率范围广
- ❑ 可靠性好、使用寿命长
- ❑ 续航能强
- ❑ 热效率高
- ❑ 燃烧经性好
- ❑ 排放低，温室气体排量小

清洁机动车技术发展趋势



1-2柴油车 排放特性

- HC、CO的排量约为汽车的1/10
- NOx的排量与汽车相当
- 微粒物的排量比汽车高
- CO2的排量约比汽车低30-40%
- 排气温度低



主要污染物为NOx和PM。两者存在“trade off”的关系。

1-3 柴油车污染物形成机理

生成机理

- ❖在高温缺氧区产生大量碳烟；
- ❖在高温富氧区产生大量的氮氧化物。
- 重质烃在高温缺氧条件下，直接脱氢碳化成焦炭状碳粒，粒度一般比较大(固相)
- 轻质烃经气化-蒸发-冷凝-聚集成气相析出型碳粒，粒度相对较小(液相)

燃烧调整

- ❖在燃烧前期应避免高温缺氧，以减少碳烟生成；
- ❖而燃烧后期应保证高温富氧，以加速碳烟氧化。

柴油机通过控制喷油量来实现功率的改变，其燃烧过程远比汽油机复杂，控制难度极高，微小的差别都会使排放特性有很大的变化。这决定了**柴油机排放控制系统在开发初期就必须与柴油机的开发过程相结合**

燃烧过程可分为四个阶段：**着火落后期、速燃期、缓燃期及后燃期。**

1-4 柴油车PM的主要成份

柴油机微粒的组成

主要成分	质量分数
干碳烟(Dry Soot, DS)	40-50%
可溶性有机成分(SOF, Soluble Organic Fraction)	35-45%
硫酸盐(包括水)	5-10%

SOF 的组成

类别	主要组成成分
有机酸	芳香族或脂肪族化合物，酸官能团，苯酚和羧酸
有机碱	芳香族或脂肪族化合物，碱官能团，胺
烷烃	直、支链脂肪烃，多种异构体，未燃烧的燃油、润滑油
芳香烃	未燃的油、部分燃烧和重新组合的燃烧产物、润滑油，单环化合物，多核芳香族化合物
氧化类	中性的有机链官能团，乙醛，甲酮或乙醇，芳烃苯酚和苯醌
不稳定类	脂肪族和芳香族化合物，羧基官能团，甲酮、乙醛、脂乙醚等
不可溶类	脂肪族和芳香族化合物，羟基和羧基，高分子有机物，无机化合物，过滤器的玻璃纤维

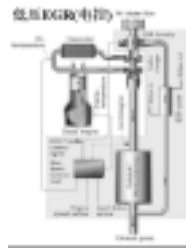
1-5柴油车PM的危害

- 对人体危害最大的是2.5mm左右的微粒，记为 $P_{2.5}$ ，它悬浮于离地面1-2m的空气中，易被吸入，也是造成能见度变差的原因。
- 微粒越细越能进入人体组织
- 近年来随内燃机及排放后处理技术的发展PM总量呈下降趋势，但粒径在2.5mm以下超细颗粒所占比重越来越大
- 目前法规只限制PM的总质量
- 未来法规可能是“计数”的

1-6 柴油车排放特性小结

- ❖除冷起动阶段，HC和CO的排量较少
- ❖PM和NO_x为其主要污染物
- ❖CO₂的排量比汽车低30-40%
- ❖排放物为“三相”
- ❖排气温度低
- ❖排放特性随发动机变化较大
- ❖排放控制措施为折衷(trade off)方案

2-2 柴油车涡轮增压



可变喷嘴环截面增压器VNT

- 增压使A/F比增加，燃烧更充分、扫膛更彻底，HC、CO排放降低
- 中冷增压、冷却EGR，减小压缩比、推迟喷油定时，可使NO_x排量降低60%
- 增压、共轨、四气门，可使PM降低45%
- 增压对提高燃油经济性及降低CO₂的排量也很有利

2-3 绿色柴油发动机技术小结

机电控进排气门

电控柴油机技术发展越来越快!成为主流

- 发动机正时延迟
- 燃烧室结构改进
- 进、配气管理
- 喷油器结构改进
- 电控
- 高压共轨燃油喷射系统
- 涡轮增压器及VNT
- 电控EGR
- 均质压燃

3 柴油车排放后处理关键技术

❖ 氧化催化转化器(DOCC)

❖ 氮氧化物净化(DeNO_x)技术

选择性还原催化剂(SCR)

非选择性还原催化剂(NSCR)

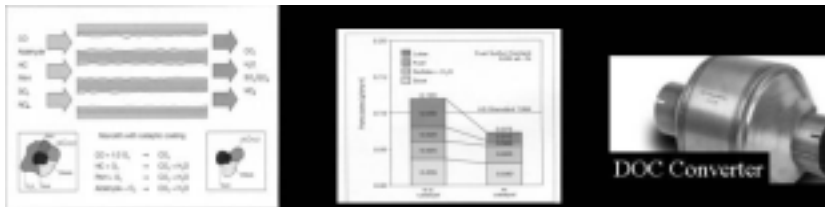
吸附 储存还原催化剂(Trap)

❖ 微粒捕集器(DPF)及其再生技术

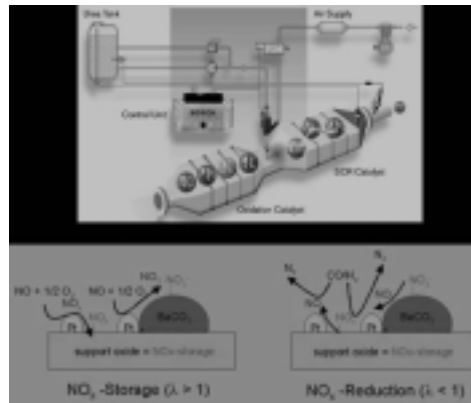
❖ 燃油添加剂(FBC)

❖ DPNR技术和“四效”催化转化器

3-1 氧化催化转化器(DOCC)



3-2 选择性还原催化剂(SCR)



3-3 微粒捕集技术

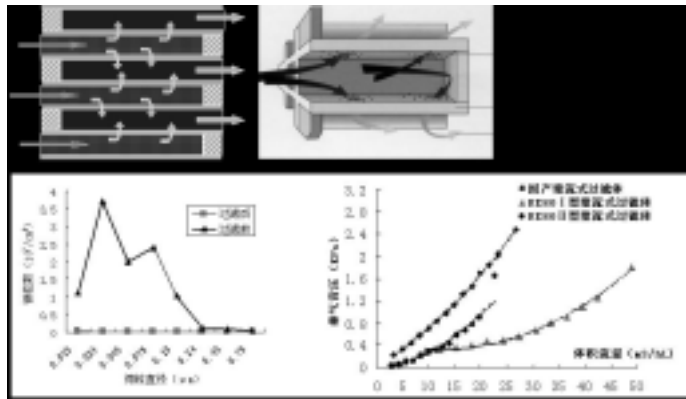
- 过滤 →
 - 净电捕集
 - 旋风分离
- 泡沫陶瓷
 - 壁流式蜂窝陶瓷
 - 烧结金属
 - 陶瓷纤维
 - 纸质过滤器
 - 滤布.....

3-4 微粒捕集原理及过滤体

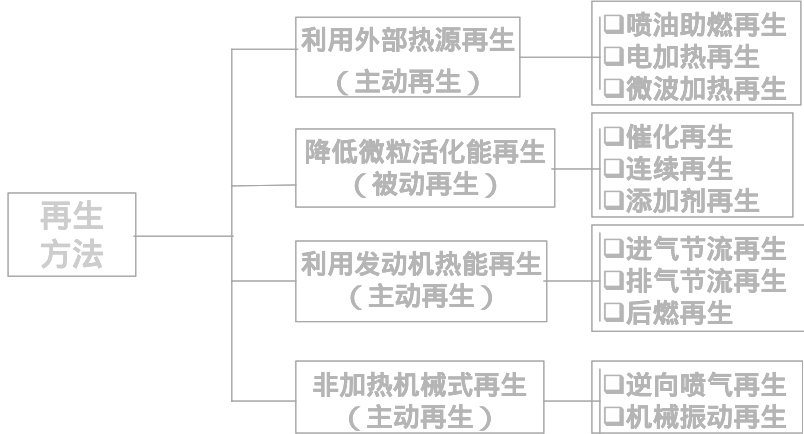
- 壁流式蜂窝陶瓷体(表面截留)
- 深床滤型泡沫状陶瓷体(体内截留)
- 金属丝网(碰撞)
- 陶瓷纤维(扩散)

颗粒捕集器的工作原理分截留机理、碰撞机理、扩散机理以及重力沉降机理几种

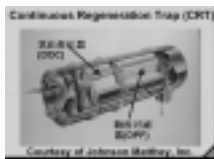
3-5 壁流式过滤体工作原理



3-6 DPF再生技术的发展

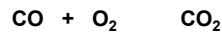
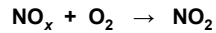


3-7 CRT工作原理

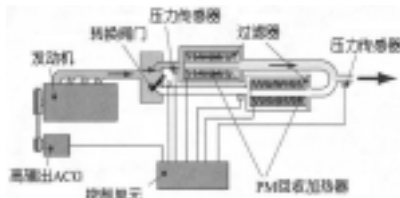
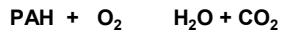
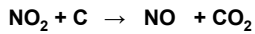
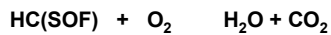


连续再生过滤器工作原理

在DOC(含Pt)上：



在DPF上：



电加热再生



3-8 同时降低PM和NO_x技术 DPNR和“四效”催化剂

DPNR

- DOC、DeNO_x和DPF 的不同组合
- 针对不同发动机特性的选择最佳匹配方案
- 需同时兼顾NO_x、PM的排放及燃油经济性(折衷)
- 低温等离子体技术的应用

四效催化剂

- 与柴油车电控技术相对应的技术、与三效催化剂相对应
- 要求排气处于“当量”点

3-9 低温等离子体净化基本原理

有害气体分子离解

强氧化性粒子氧化有害气体

- $\text{Plasma} + \text{NO} + \text{HC} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{HC-Products}$
- $\text{Catalyst} + \text{NO}_2 + \text{HC} + \text{CO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Plasma} + \text{PM} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{CO}_2$

3-10 低温等离子体净化技术路线

PM净化：

微粒荷电——静电捕集——电弧放电再生

等离子体微粒、NO₂ ——氧化净化

NO_x净化：

提高活化能——选择催化还原（SCR）

分子键——获取能量——断裂、离解

CO和HC净化：

活性基团、NO₂ ——氧化净化

起燃时间短

4 柴油车氧化催化剂关键技术

4-1 DOC开发难点问题

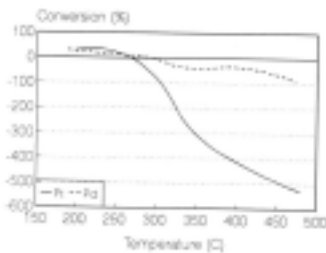
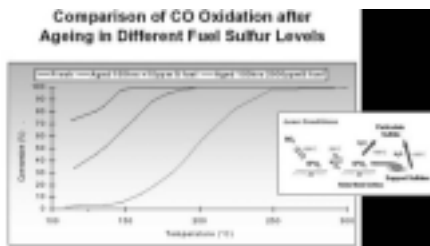
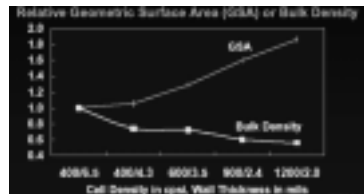
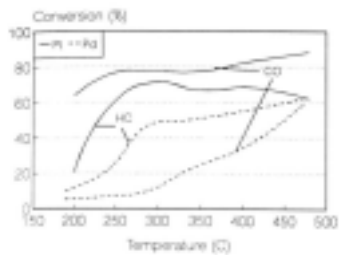
- ❖ 排气温度低
- ❖ 排放特性变化大
- ❖ 柴油硫含量高
- ❖ “折衷”方案
- ❖ 不同工况的影响

4-1 DOC关键技术

- 合适的载体 缩短起燃时间的基础
- HC吸附材料 解决冷起动问题的关键所在
- SO₂氧化的抑制 DOC开发成功的关键
- 耐高温老化 值得重视
- 折衷方案 各组分性能的最佳匹配
- 数值模拟CAE 成为重要手段

	$\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
希望	$\text{THC}(\text{SOF}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
不希望	$\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$

4-2 DOC



4-3 DOC开发小结

- ❖应结合特定的发动机开发适合的DOC
- ❖针对特定工况开发相应的催化剂
- ❖贵金属的选择与用量
- ❖助剂的选择与用量
- ❖冷起动问题的解决
- ❖性能整体的设计与优化
- ❖CAE技术的应用

4-5 适应国内市场的排放后处理技术

- 国内发动机技术发展水平
- 我国排放法规体系
- 我国燃油水平
- 排放后处理的代价
- 开发适合我国市场的后处理技术

与国外先进的清洁柴油发动机技术相比，国内技术相对落后。柴油发动机厂转型及技术升级相对困难、并抱有观望心态。国内暂时还不能仅靠机内净化达到欧III。

4-6 后处理代价

Control Device	PM	NO _x	CO	HCs	Appx Unit Cost
> Diesel oxidation catalyst (DOC)	25-50%		90%	70%	\$425-2,500
> Diesel particulate filter (DPF) w/ catalyst	90%			90%	\$7,500
> Exhaust gas recirculation catalyst (EGR)		40%			\$13-15,000
> Lean NO _x catalyst	10-20%	50-70%			
> Selective Catalytic Reduction (SCR)	30-50%	90%		50-90%	\$10,000- \$50,000 est.
> NO _x Adsorber (new applications)		70-90+%			
COMBINATIONS					
DPF and SCR	90%	75-90%			
DPF and EGR	90%	40%			

Table 1: Summary of Some Emissions Controls Retrofit Options for Diesels.³⁷

³⁷ Table largely based on emissions controls review by Manufacturing of Emissions Controls Association (MECA) (2002). Retrofitting emission controls on diesel-powered vehicles. <http://www.meca.org>, March 2002.

结论

开发适合国内市场的DOC技术及产品

6 催化净化工程中心目前科研进展

- 承担两项科技部柴油车项目
- 承担一项科委柴油车项目
- DOC开发已进入正式实施阶段
- CAE数值模拟技术在转化器匹配中的应用
- 联合众多科研机构进行柴油车项目的开发

6-1 项目

科技部项目

- 奇瑞低排放柴油车技术与开发
与奇瑞、天大内燃机研究所合作负责后处理系统总成的开发
- 3.5吨以上清洁柴油车技术与开发
与玉柴、运校、清华、吉大合作，负责后处理系统总成的开发

科委项目

- 低温等离子体技术用于柴油车排气净化的研究
与运校合作

6-2 DOC开发参加单位

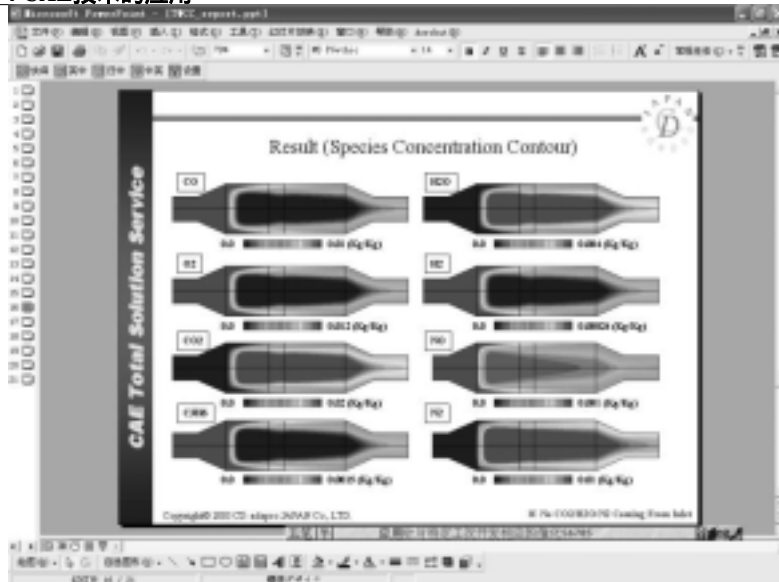
参加单位


- 工程中心：配方及制备工艺的确定，转化器封装、系统总成
- 化工院：催化剂制备，小样测试与评价
- 天内所、天汽所：转毂、台架、匹配
- 运校：大样评价与DPF开发
- 奇瑞、玉柴：发动机参数提供

人员组成

博士5人(3博士后)、硕士6人、研高4人、高工6人、博士生、硕士生各2人、其他3人

6-4 CAE技术的应用





Thanks for your attention
谢谢

中国汽车技术研究中心催化净化工程中心
天津市机动尾气催化与净化工程中心
天津开发区天大科技园A2座5层(300457)
84770232 66211532/31 66200029(Fax)
wangdx@cleancenter.com.cn