
美国重型柴油机排放控制技术路线

第四届中美机动车污染防治研讨会

2014年6月

Joe Kubsh博士

美国排放控制工业协会 (MECA)

www.meca.org

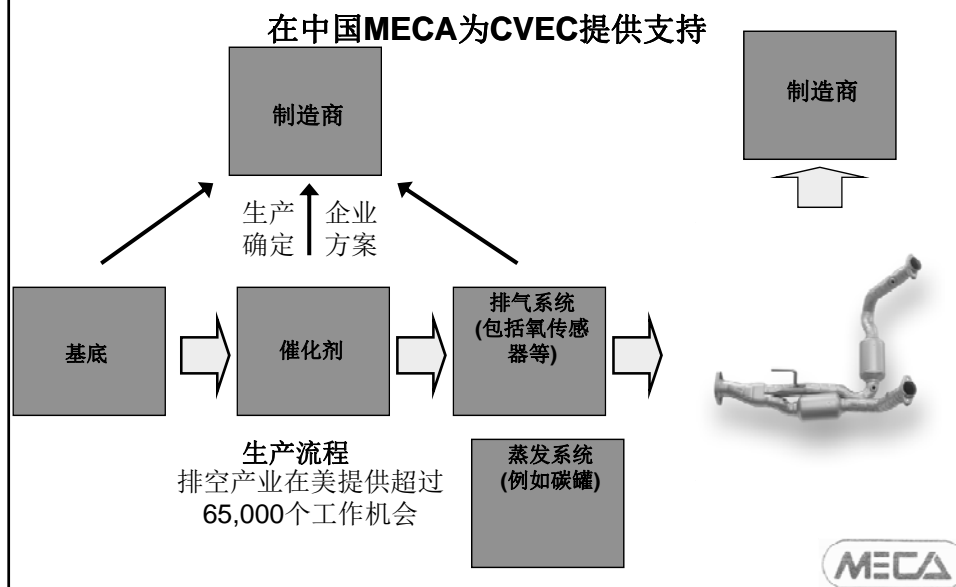


美国重柴排控经验

- MECA介绍
- 重型道路柴油机: 柴油车颗粒物捕集器与选择性催化还原技术双管齐下, 使之达到美2010/欧6标准
- 非道路柴油机: 有更加丰富的技术选择
- 对老旧卡车&巴士进行改造



排放控制产业已与相关政府部门及生产企业建立了长久的合作关系

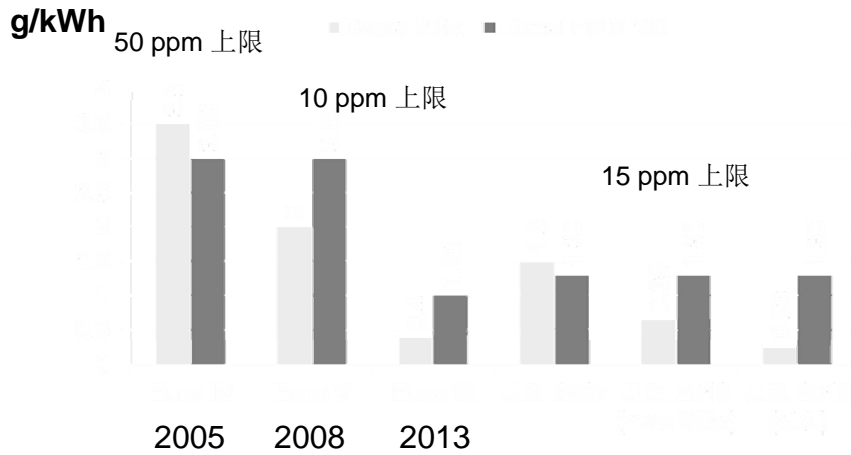


低硫燃料是使用高效尾气控制技术的基础

- 美国 (EPA)
 - **Tier 1** 汽油: 平均硫含量350 ppm, 上限1000 ppm
 - **Tier 1** 柴油: 道路燃料硫含量上限500 ppm
 - **Tier 2** 汽油: 2006年平均硫含量30 ppm, 上限80
 - **Tier 2** 柴油: 硫含量上限15 ppm, 道路柴油自2006年10月起实施, 非道路柴油自2010年中期开始实施, 船舶/铁路用柴油自2012年中期开始实施
 - **Tier 3** 汽油: 将于2017年开始实施平均硫含量10 ppm限值
- 加州 (CARB)
 - 1996年之前: 汽油硫含量上限300 ppm
 - II阶段新配方汽油: 1996年平均硫含量30 ppm, 上限 80 ppm
 - III阶段新配方汽油: 自2004年起平均硫含量15 ppm, 60, 30, & 20 ppm硫含量上限标准 分别自2004, 2006, 和 2012年开始实施
 - 2006年中期: 道路/非道路柴油燃料硫含量上限15 ppm
 - 2007年 船舶/铁路 柴油燃料硫含量上限15 ppm

MECA

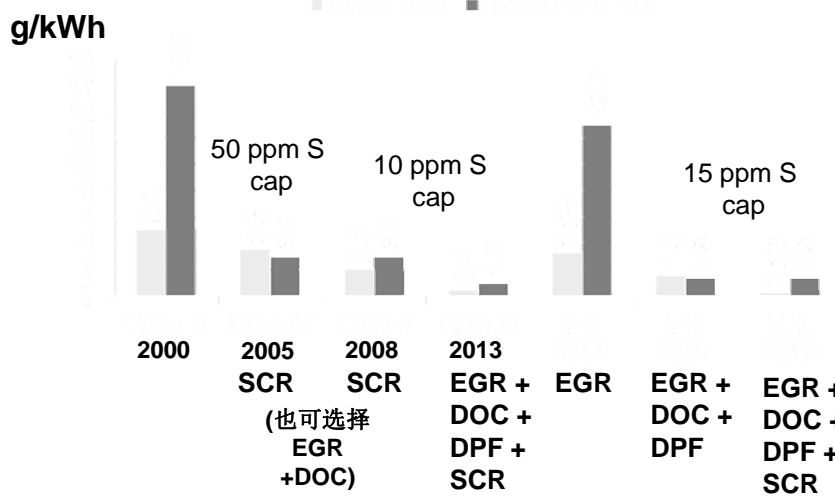
美国与欧洲重型柴油机瞬态工况排放标准



欧VI使用 WHTC (0.46 g/kWh NO_x限值) & 包括
6 X 10¹¹/kWh 柴油颗粒限值

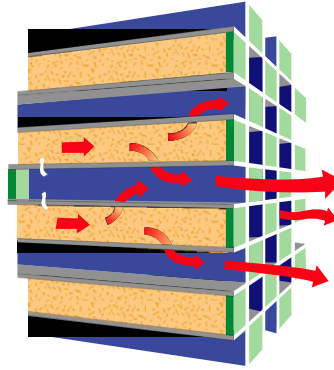


美欧重柴的主要尾气排放控制技术



柴油颗粒过滤器(DPFs)

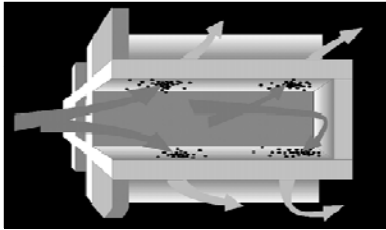
- 壁流式陶瓷滤芯对大部分颗粒物具有较高的捕集效率
- 捕集到的碳烟需要定期燃烧(再生)来解决发动机的背压
- 2000年开始商业化应用于欧洲的轻型柴油车, 在美国从2006年开始应用于轻型柴油车, 2007年开始应用于卡车/巴士, 2013年开始应用于欧VI卡车/巴士 - 全球数以千万计的车辆在使用DPF
- 捕集碳烟和无机颗粒, 会造成发动机磨损, 润滑油消耗, 因此需要定期保养(过滤器清洁)



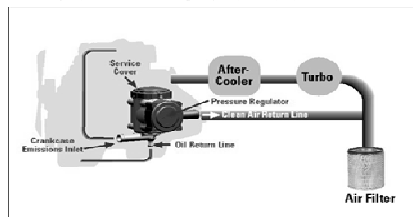
MECA

降低颗粒物排放的DOCs和DPFs技术基础

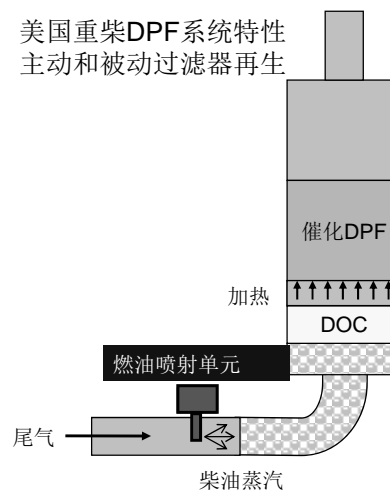
柴油车颗粒物捕集器



曲轴箱过滤器提供额外的颗粒物控制



美国重柴DPF系统特性
主动和被动过滤器再生



MECA

DPF清灰所需的过滤器清洁设备及服务

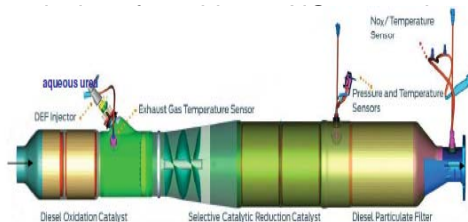
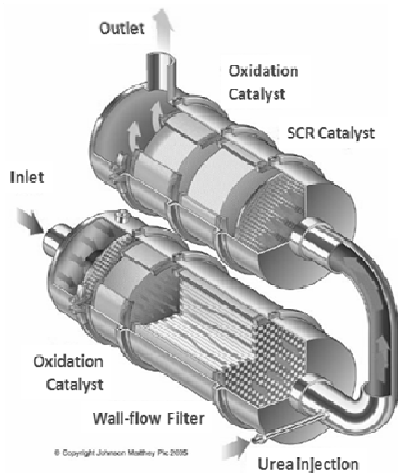
- 灰分主要由润滑添加剂产生，导致发动机背压增加，使用低灰油可以减少过滤器灰分产生
- 发动机的维护对过滤器耐久性很重要(喷射系统, EGR, 涡轮增压器)
- 典型过滤器维护在长途运输卡车行驶20万英里后进行(作业车辆行驶里程可以降低一些)



MECA

EPA 2010 重型车达标系统

- 重型卡车: DOC+DPF+SCR 配置
- 中型卡车: DOC+SCR+DPF的设计, 用于控制冷启动NOx

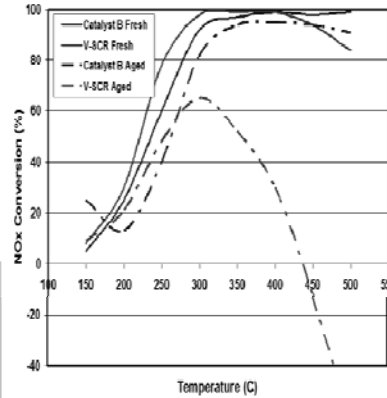
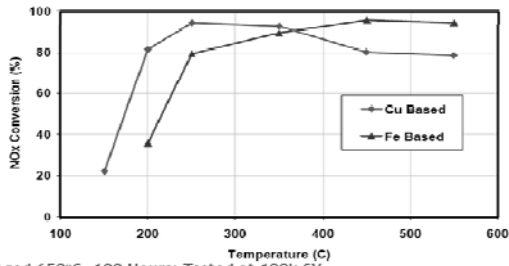


- 32.5%的尿素/水达到规定标准 (API组织质量认证)
- SCR后置氧化功能可将氨逃逸降低至最小化
- 其他功能包括还原剂搅拌机、热电偶、氮氧化物传感器
- 化学计量天然气发动机使用经过验证的贵金属,三元催化

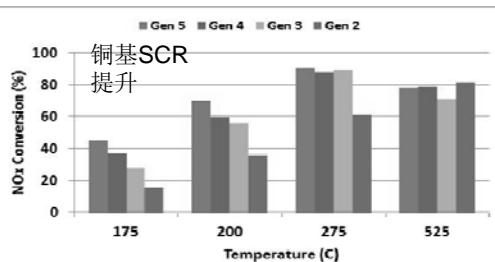
MECA

沸石基SCR催化剂应用于移动源可以提供更宽泛的工作温度范围和良好的热稳定性

SV=30K/hr, NO=350ppm, NH3=350ppm, Aging =670C/64h



Aged 650°C, 100 Hours; Tested at 100k SV

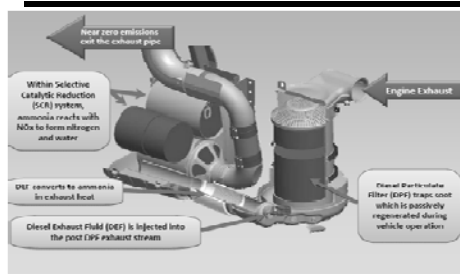


铜基SCR提升

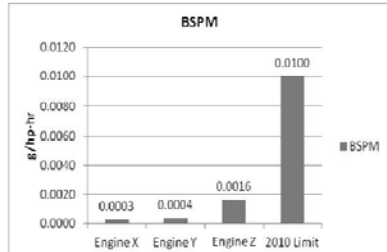
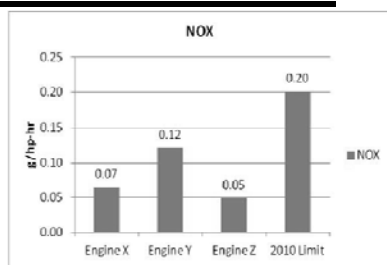
SCR 催化剂在700摄氏度50小时



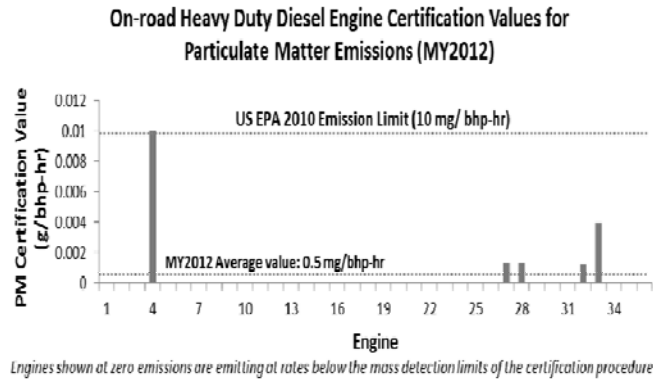
美2010技术带来更多健康收益



- 2010年，道路排放控制方面，采用铜基和铁基SCR催化剂已经升级至第二代技术
- 美国ACES 研究表明2010年商业排控技术大幅优于标准要求，尤其是PM。
- 超过3百万DPS装配于美国公路卡车和大巴车

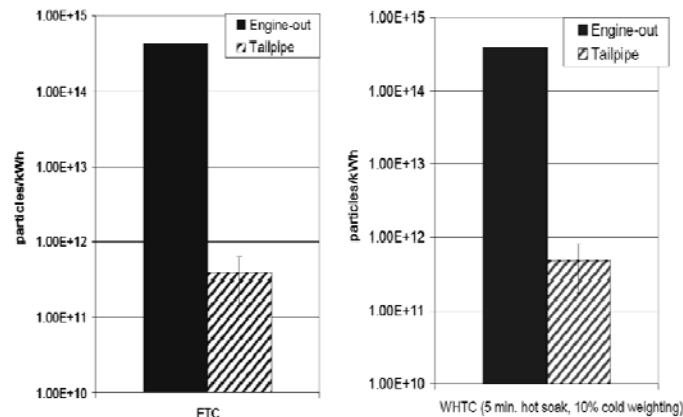


装有DPF的重型柴油车获得美2010EPA颗粒物标准认证（10 mg/bhp-hr）



DPFs能够从数量上高效过滤颗粒物 以重型柴油发动机为例

- ETC tailpipe emissions $\sim 4 \times 10^{11}$ /kWh
- DPF Efficiency > 99.9%
- WHTC tailpipe emissions $< 5 \times 10^{11}$ /kWh
- DPF Efficiency > 99.8%



DPFs 捕获细微柴油颗粒物




美2007重型车排放标准显著降低PM, CO及有毒碳氢化合物

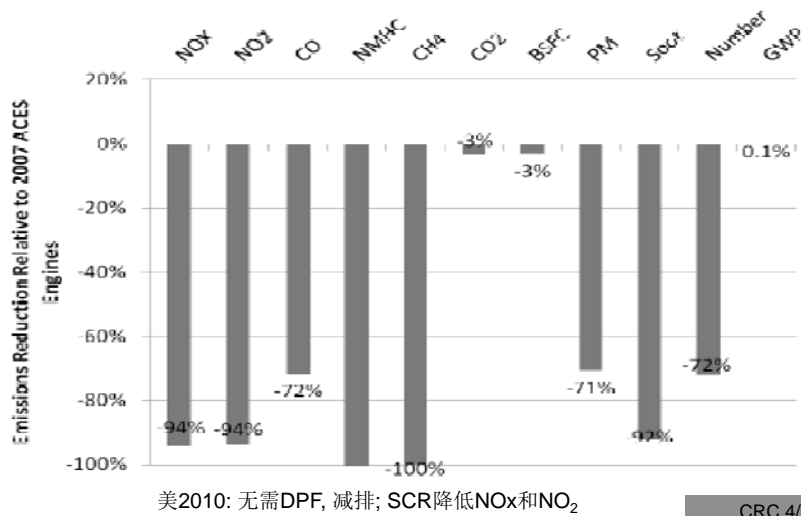
	2007 EPA Standard (g/hp-hr)	Average ACES Engine Emissions (g/hp-hr)	ACES Emissions % Reduction Relative to the 2007 Certification Standard	% Lower Than 2004 Engine Technology	
				16-Hour Cycle	CARBx-ICT
CO	15.5	0.33	98	02%	69%
NMHC	0.14	0.0064	95	79%	26%
PM	0.01	0.0011	89	81%	49%
NO _x	1.2 ^a	1.075	10	05%	04%
				81%	12%
				99%	99%
				98%	78%
				38%	100%
				98%	90%
				98%	78%
				99%	100%
				99%	N/A

^a Average value between 2007 and 2009, with full enforcement in 2010 at 0.20 g/hp-hr

Source: CRC Phase 1 ACES Report;
2010+ Engines Delivering Even Lower
Toxic HC Emissions than 2007 Engines



美国2010发动机(EGR+DOC+DPF+SC): 与美2007(EGR+DOC+DPF)相比 大幅降低了颗粒物排放数量(PN)及标准污染物



清洁柴油技术延伸至有/无DPFs的美国非道路应用

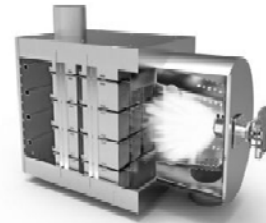
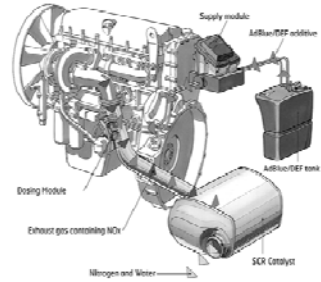
Tier4过渡期带SCR的拖拉机



Tier4过渡期带DPF的工程机械



带DPFs或和SCR系统的机车



美国Tier4和欧IV非道路柴油机械的控制范围更大

kW	EPA	HP	EPA Tier 4 Interim / EU Stage IIIB				EPA Tier 4 Final / EU Stage IV				
			2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
18-36	U-19F	U-24	(7.5) / 6.6 / 0.40								
37-55	19-36	25-48	(7.5) / 5.5 / 0.30								
56-129*	37-55	49-74	(4.7 / 5.0 / 0.30 Option 1)				(4.7) / 5.0 / 0.03				
130-560*	56-129*	75-173					3.4 / 0.19 / 5.0 / 0.02		0.40 / 0.19 / 5.0 / 0.02		
>650	130-560*	174-751					2.0 / 0.19 / 3.5 / 0.02		0.40 / 0.19 / 3.5 / 0.02		
							3.5 / 0.40 / 3.5 / 0.10		3.5 / 0.19 / 3.5 / 0.04		

kW	EU	HP	EU Stage IIIA				EU Stage IV				
			2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
18-36	18-36	24-48	Stage IIIA (7.5) / 5.5 / 0.6								
37-55	37-55	49-74					(4.7) / 5.0 / 0.025				
56-129*	56-129*	75-173					3.3 / 0.19 / 5.0 / 0.025		0.4 / 0.19 / 5.0 / 0.025		
130-560	130-560	174-751					2.0 / 0.19 / 3.5 / 0.025		0.4 / 0.19 / 3.5 / 0.025		

非道路限值严格
度提高50%

PM (g/kWh)

0.020 非道路
与
0.013 道路

NOx (g/kWh)

0.40 非道路
与
0.26 道路

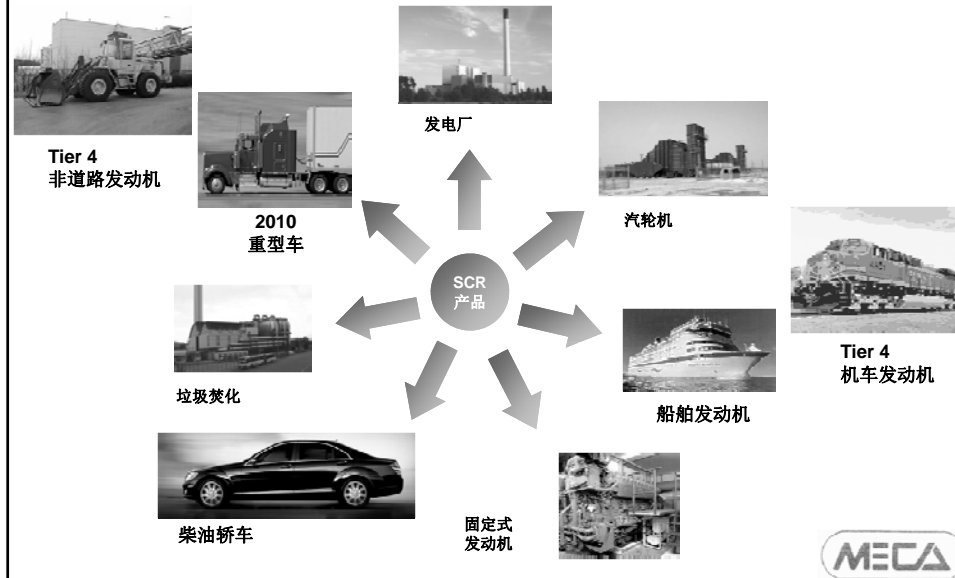
(NOx + HC) / CO / PM (Oxides of Nitrogen + Hydrocarbons) / Carbon Monoxide / Particulate Matter (g/kWh)
 NOx / HC / CO / PM (Oxides of Nitrogen / Hydrocarbons / Carbon Monoxide / Particulate Matter (g/kWh-hp)
 * Combines regulatory powerbands with same emission levels

Tier4后期包括各种排控解决方案：
EGR+DOC, EGR+DPF, DPF+SCR, DOC+SCR

欧洲考虑一个与欧6相类似的5阶段标准：包括PN限值
 欧洲3B/4阶段和美国Tier4采用非道路瞬态循环(NRTC)



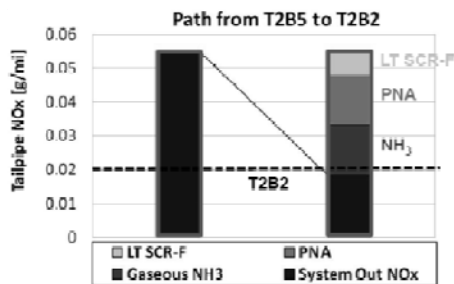
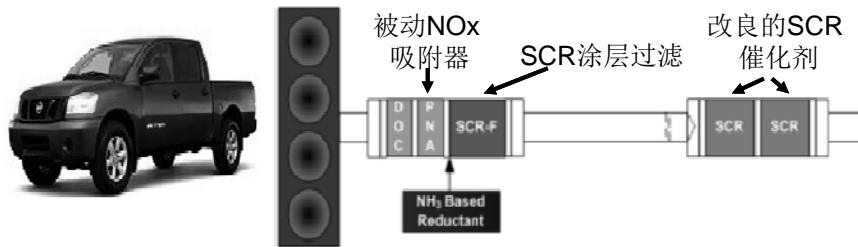
SCR的应用从固定源到移动源:需要尿素基础设施



含复杂传感器和诊断器的清洁柴油车



先进的排放技术应对尾气温度低时的NOx减排问题



• 相似的排控方法可用于CARB的重型车低NOx测试评估

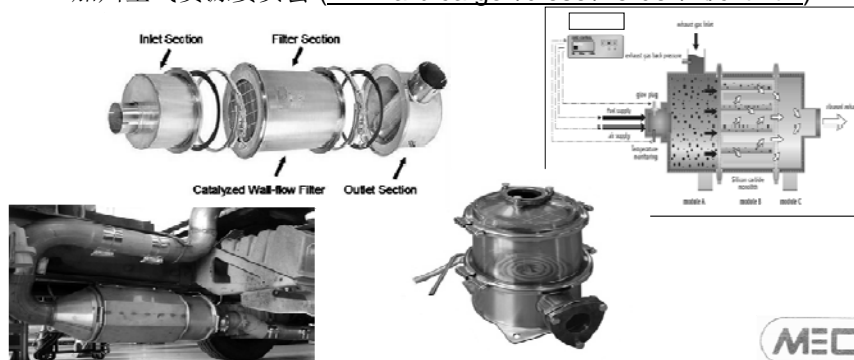
• 在过去三年CARB提供160万美金资金; MECA已承诺提供25万美金的追加资金

Cummins DEER 10-2012

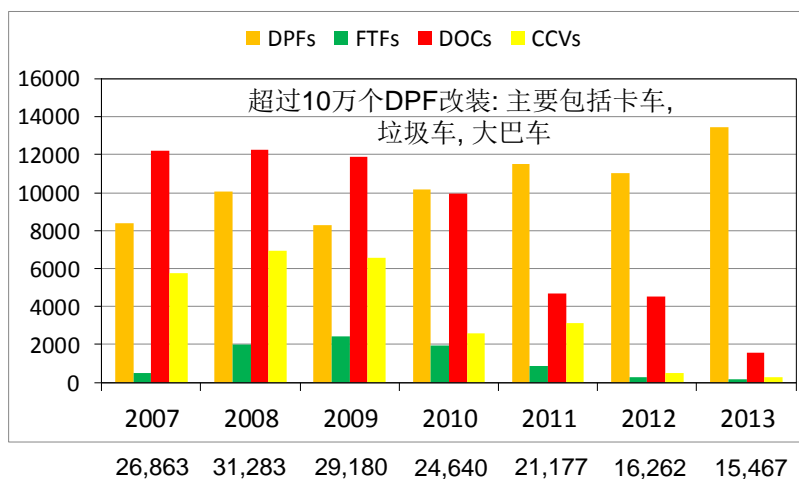


超低硫柴油支持多种柴油机改造技术

- 道路&非道路主动再生
- 道路&非道路被动再生
- 为固定式柴油发动机进行DPF改装
- 为道路&非道路发动机进行SCR改装
- 美国环保局(epa.gov/cleandiesel/verification/verif-list.htm)
- 加州空气资源委员会 (www.arb.ca.gov/diesel/verdev/vt/cvt.htm)



美国改装发动机销量调查结果:
EPA DERA的奖励基金推动改装项目发展,
CARB DPF 条例



成功改造方案的技术层面考虑

- 车辆改造前应进行适当维护
- 技术应用 – 匹配正确的技术到特定的设备和应用程序中
- 正确的专业安装 – 安全安装设备(解决可见性问题)
- 车载监控 – 在性能方面提供重要的使用反馈(不要忽略警示灯)
- 维护 – 车辆/设备和改造设备需要检查和维护

改造方案的成功需要车辆拥有人, 运营商及技术支持单位共同合作实现

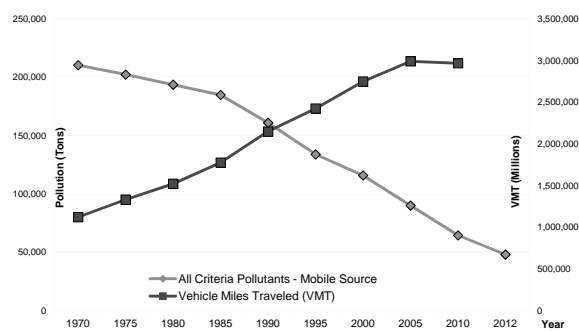


EPA & CARB 车辆方案致力于排放达标

- 重柴道路机动车
 - 严格的新车排放检验程序
 - 车载诊断系统监控重要相关排放组件
 - 发动机生产企业使用PEMs设备进行在用车检测
 - 召回以解决重要排放相关问题
- 柴油机改造
 - 明确检验要求，其包括1000小时耐久性测试和在用车检测



排控技术产业的成功历史



- 自1970年以来,汽车和卡车的用量提升了三倍然而其排放总量却下降了75%
- 如没有廉价可靠的排放控制等其他设备 - 人们对于汽车的依赖将造成严重的城镇交通堵塞和空气污染



小结

- 美国已经成功实施清洁燃料/清洁机动车方案，其健康收益达数十亿美元
- 利用柴油机颗粒过滤器&选择性催化还原排控技术达到美国2010重柴排放标准
- 将清洁柴油机技术运用于非道路方面，使其达到美国等级4达标方案 – 多样化的排放系统配置
- 超低硫柴油的应用，使美国超过10万台柴油发动机进行了DPF改造



www.meca.org

经重新设计的排控技术资源网站



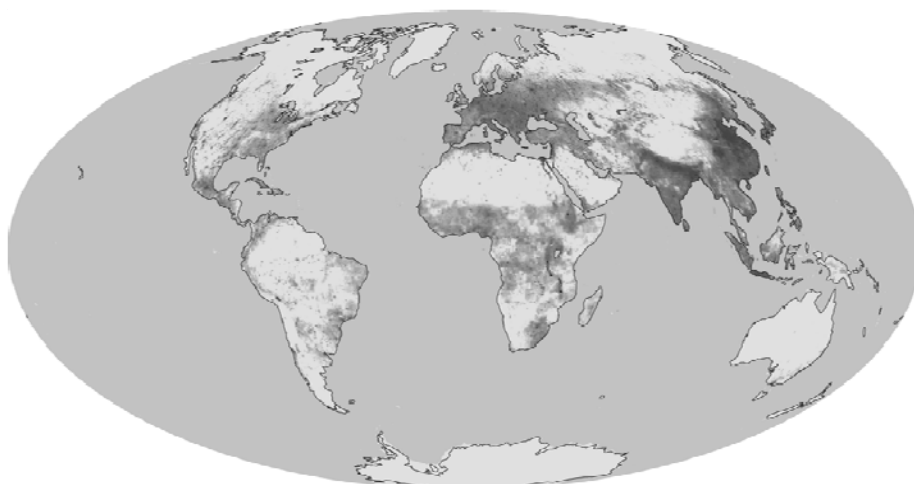
- 最新细微颗粒物报告摘要（中文版）
- 排控白皮书及情况说明
- 改造技术描述
- 案例报告
- 法规信息



辅助资料



颗粒物排放在东/南亚和欧洲中部较高



NASA—最高PM2.5死亡率图示



10余年的EPA移动源排放法规推动清洁柴油技术

平均收益:成本 = 20:1

等级2 Light-Duty

最终法规 1999

彻底实施 2009

柴油采用和汽油车一样的标准

柴油含硫量为 **15 ppm**



远洋船舶

最终法规 2009; IMO ECA 2010

ECA: 到2015年含硫量**1000ppm**;

到2016年Nox降低80%



重型道路车辆

最终法规 2000

硫含量**15 ppm**

彻底实施 2007-2010



机车/船舶等级4

最终法规 2008

硫含量**15 ppm**

彻底实施 2017



非道路柴油等级4

最终法规 2004

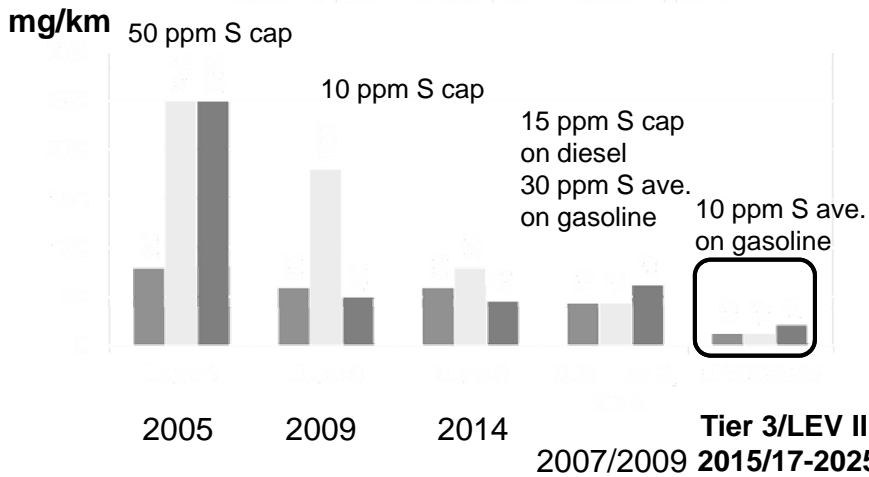
硫含量**15 ppm**

彻底实施 2015



美欧轻型车排放标准对比

注: 美国等级2, Bin 5 等同于CARB LEV II - LEV



欧 5+ (2011) 和 6 包括 $6 \times 10^{11}/\text{km}$ 柴油颗粒限值;
欧 6c 包括 对GDI的PN 限值



其他主要市场的燃料硫含量限值

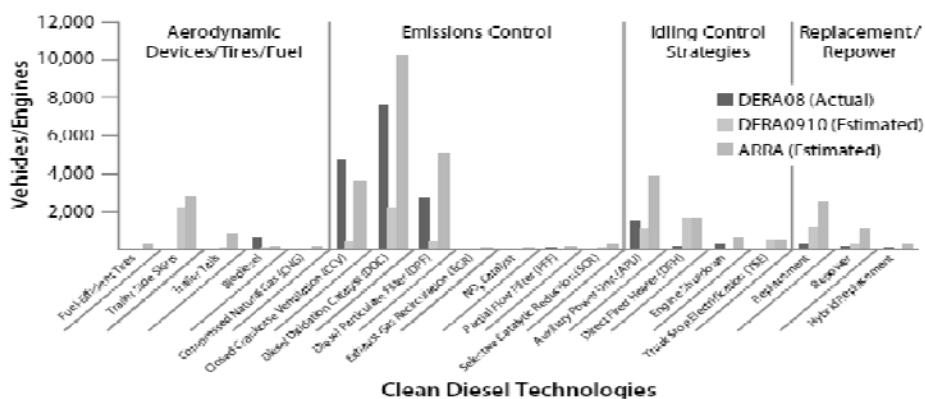
- 欧盟
 - 欧3: 汽油 150 ppm 上限; 柴油 350 ppm 上限
 - 欧4: 汽油 50 ppm 上限; 柴油 50 ppm 上限
 - 欧5: 汽油 10 ppm 上限; 柴油 10 ppm 上限
- 日本
 - 2004年之前: 汽油 100 ppm上限; 柴油 500 ppm上限
 - 2004: 汽油 100 ppm上限; 柴油 50 ppm上限
 - 2005: 汽油 10 ppm上限; 柴油 10 ppm上限
- 中国
 - 柴油 350 ppm上限于2013年7月在全国实施; 汽油 150 ppm上限于2010年在全国实施
 - 汽油和柴油 50 ppm上限于2014年底实施
 - 汽油和柴油 10 ppm上限于2017年底实施



美国EPA DERA提供资金用于老旧柴油车减排

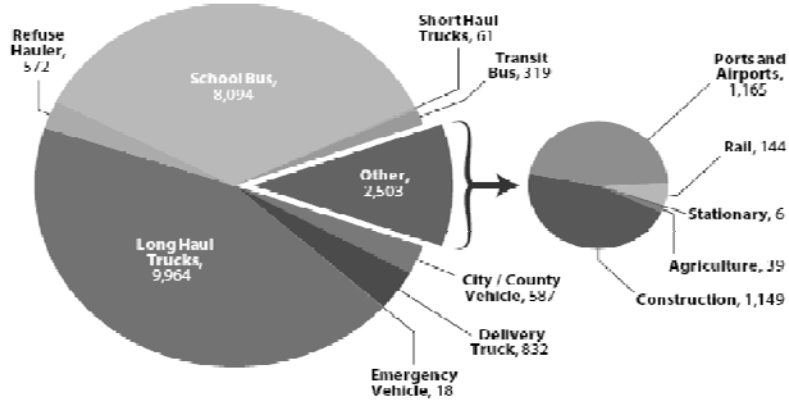
- 2008财年: \$4900万; 2009+2010财年: \$1.2亿; ARRA: 共\$3亿 - \$4.69亿
- 2011财年: \$5000万; 2012财年: \$3000万; 2013财年: 加州 \$2000万; 2014财年: 共\$2000万 - \$1.20亿

Figure B. Equipment by Fiscal Year and Technology



美EPA DERA提供资金: 针对公路卡车/大巴车

Figure 2. Equipment Retrofitted, Replaced, or Repowered by DERA 2008 and 2009/2010 Grants



重要的道路改装经验, 非道路经验增加

- 超过30万道路DPF改装, 世界范围内超过5万非道路DPF改装, 在美国超过10万DPF改装
- 世界范围内超过1百万DOC改装
- 道路机动车改装技术的重要经验
 - 校车, 公交车, 长短途卡车, 垃圾车, 多用途运载车
- 丰富的改装经验用于大量非道路设备
 - 施工设备
 - 港口车辆/设备
 - 船舶和机车发动机
 - 用于发电的固定式内燃机

