

十六烷值对欧- IV 柴油机燃烧与排放性能的影响

陈文淼, 吴复甲, 王建昕, 帅石金

(清华大学 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

Effect of Cetane Number on Combustion and Emission of a Euro-IV Diesel Engine

CHEN Wen-miao, WU Fu-jia, WANG Jian-xin, SHUAI Shi-jin

(State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Engine performance test was conducted by using seven diesel fuels with different cetane number on a high pressure common rail, turbo-charged Euro IV diesel engine with intercooler in order to analyze the effect of cetane number on engine performance. No any engine adjustment was made during the test. The results show that as cetane number increases by one unit, the fuel consumption will reduce by 0.2%, PM reduce by 0.6%, HC and SOF reduce 1.5%, while the increase of cetane number has a little effect on engine power, NO_x and DS emissions. The increase of cetane number results in advanced ignition of pilot-injected fuel and has no obviously effect on combustion duration and shape of heat release curve.

摘要: 在一台满足欧 IV 排放法规的高压共轨增压中冷柴油机上使用 7 种不同十六烷值柴油进行试验, 发动机不做任何调整, 以分析十六烷值对柴油机性能的影响。结果表明: 十六烷值每上升一个单位平均造成欧 IV 柴油机燃油消耗率降低 0.2%、PM 降低 0.6%、HC 和 SOF 降低 1.5%, 十六烷值提高对动力性和 NO_x 、DS 排放影响不明显。十六烷值上升造成欧 IV 柴油机预喷着火始点提前, 对燃烧持续期和放热规律形状无显著影响。

关键词: 内燃机; 柴油机; 十六烷值; 排放; 燃烧

Key words: IC engine; diesel engine; cetane number; emission; combustion

中图分类号: TK421

文献标识码: A

0 概述

十六烷值是衡量燃料压缩着火特性的参数, 对柴油机缸内燃烧过程具有直接影响。20 世纪 90 年代后期, 国外多项研究探讨了柴油十六烷值对柴油机排放性能的影响。研究表明: 对于高 NO_x 排放柴油机, NO_x 排放随十六烷值增加而减少^[1,2], 对于低 NO_x 排放柴油机, 十六烷值对 NO_x 排放影响较小且趋势不明^[2~8]; 增加十六烷值对 PM 影响随发动机不同而存在差异, 大多数研究中十六烷值对 PM 无

显著影响^[3,4,6~8], 少数研究中 PM 随十六烷值增大而稍有升高^[2] 或降低^[6,8]; 部分研究中增加十六烷值可以降低 HC 和 CO 排放^[2,6,7], 有些则无明显效果^[3,4]。

我国在油品与排放相关性方面做过的研究工作很少, 北京为 2008 年提前全国实施第 4 阶段排放法规, 必须提前制定与之对应的汽油、柴油油品标准。本文在一台采用典型欧- IV 排放控制技术的康明斯欧- IV 重型柴油机上使用 7 种不同十六烷值的柴油进行试验, 分析了十六烷值对欧- IV 柴油机动力性、经济性、排放性能和缸内燃烧过程的影响。

收稿日期: 2007-12-11

基金项目: 北京市科委重大科研项目 (D0405002040411)

作者简介: 陈文淼(1983-), 男, 博士生, 主要研究方向为柴油机排放控制, E-mail: chenwenmiao00@mails.thu.edu.cn。

1 试验设备与测试方案

1.1 试验用发动机与测试仪器

试验用机为 Cummins ISBe4 140 直列 4 缸增压中冷、高压共轨直喷式柴油机, 排量 4.5 L, 压缩比 17.3, 标定功率 103 kW (2 500 r/min), 最大扭矩 550 N·m (1 500 r/min), 使用尿素 SCR 后处理技术, 该柴油机满足欧- IV 排放法规。试验用柴油机采用典型的欧- IV 排放控制技术, 是具有代表性的欧- IV 重型柴油机。

试验台架示意图见图 1。使用 AVL CEB-II 排气分析仪测量常规气态排放物 NO_x、HC、CO 和 CO₂。使用 AVL SPC-472 部分流稀释微粒采样装置将排气中的微粒成分采集到滤纸上, 滤纸型号为 PALL 公司 TX40HI20-WW, 滤纸采样前后均经过恒温恒湿处理(22℃±3℃, 45%±8%), 使用感量为 10μg 的电子天平称重。分别以二氯甲烷(CH₂Cl₂)和去离子水作为萃取剂使用萃取法将采集得到的微粒样品分解为可溶性有机成分(SOF)、硫酸盐和干碳烟(DS)三部分^[14]。使用 Kistler 缸压传感器和角标器采集缸内压力, 并利用 AVL Boost 模拟软件计算得到燃烧放热率曲线。

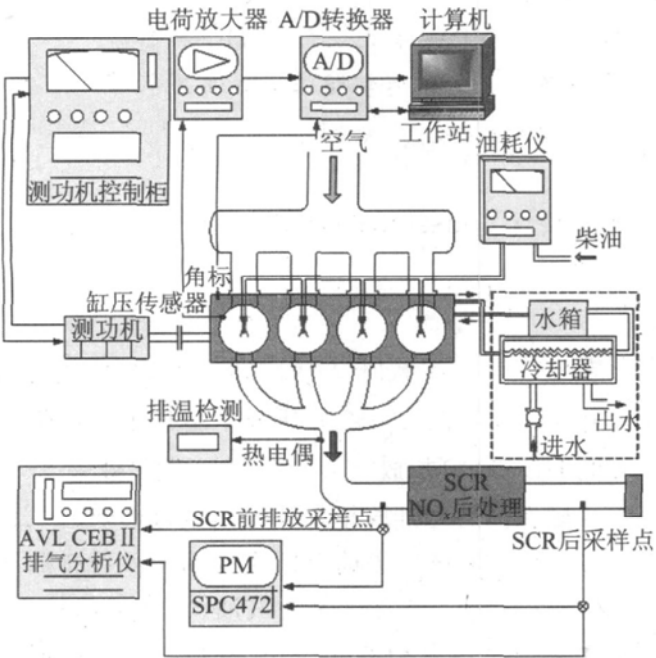


图 1 试验用发动机台架示意图

1.2 试验用柴油

试验用油为 7 种不同品质参数(见表 1)的柴油, 十六烷值范围为 48~65。其中 1 号、6 号两种柴油除十六烷值和硫含量外其它参数均相同, 十六烷值分别为 52 和 56。分析十六烷值对柴油机性能影响

时将使用 7 种柴油数据点进行线性拟合得到影响规律, 同时使用 1 号和 6 号两种仅十六烷值不同的柴油数据确认十六烷值影响规律的正确性。

表 1 欧- IV 柴油机试验用柴油参数

柴油编号	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号
T90 / °C	355	318.1	317.5	299.4	330	355	333.8
终馏点 / °C	365	343.3	343.8	340	342	365	346.5
硫含量 / μg·g ⁻¹	190	42	111	214	510	520	45
十六烷值	51.9	64.3	64.8	65.1	47.9	55.9	50.1
总芳烃 / (体积)%	10	5.8	6.1	5.4	11	11	
密度(20℃) / kg·m ⁻³	835.0	809.8	809.8	810.0	842.5	832.2	838.4

1.3 试验方案

在发动机不进行任何调整的条件下, 使用具有不同油品参数的柴油进行外特性、1 500 r/min 负荷特性和 ESC 循环对比试验。为避免 SCR 催化器性能变化对结果的影响, 本文讨论十六烷值对欧- IV 柴油机原机性能影响, 排放数据均为 SCR 前测试结果。

发动机试验时的一般条件, 按国家标准 GB/T 18297—2001《汽车发动机性能试验方法》和康明斯公司相关试验规定进行控制。

2 发动机测试结果

2.1 动力性

使用 7 种不同十六烷值柴油的发动机外特性扭矩曲线如图 2 所示。虽然其它参数如芳香烃含量、密度、T90 等存在差异, 柴油十六烷值在 48~65 范围内变化对电控高压喷射的欧- IV 柴油机动力性影响在 1% 以内。十六烷值变化对欧- IV 柴油机动力性无明显影响。

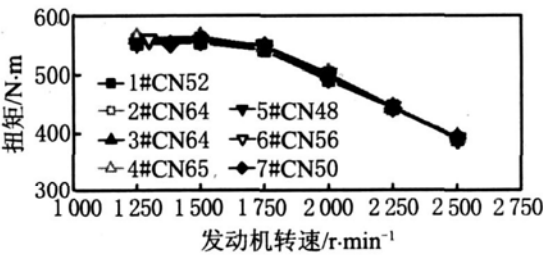


图 2 欧- IV 柴油机不同十六烷值柴油动力性对比

2.2 经济性

十六烷值为 52 和 56 的两种柴油 1 500 r/min 负荷特性燃油消耗率对比如图 3 所示。由图 3 可见, 十六烷值为 52 的 1 号柴油油耗率在趋势上稍高于十六烷值为 56 的 6 号柴油。

根据不同十六烷值的 7 种柴油 1 500 r/min 大、中、小负荷下油耗率数据得到的十六烷值对燃油经济

性影响如图 4 所示, 图中数据点为试验实测数据, 直线为线性拟合结果。由图 4 可见, 虽然其它燃油品质参数存在差异, 十六烷值在 48~65 范围内提高导致 BSFC 下降, 但下降幅度在 3% 之内, 即十六烷值平均每增加一个单位造成欧-IV 柴油机 BSFC 降低约 0.2%。

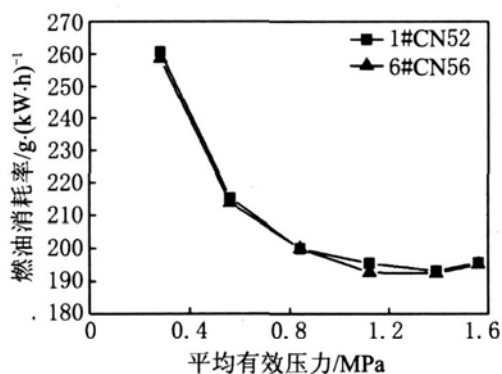


图 3 十六烷值 52 和 56 两种柴油燃油经济性对比 (1500 r/min)

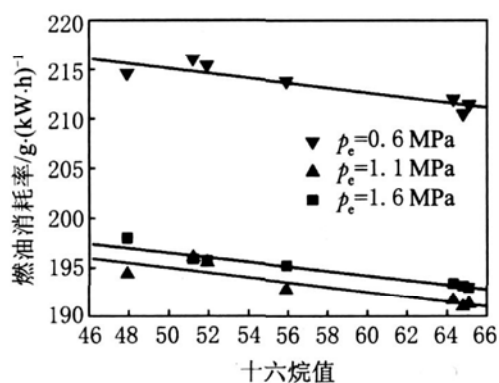


图 4 十六烷值对燃油经济性影响 (1500 r/min)

2.3 排放性能

不同十六烷值的 7 种柴油 ESC 循环 SCR 前 NO_x 、HC 和 PM 排放如图 5 所示, 图中散点为实测 ESC 循环排放结果, 直线为线性拟合结果, 除十六烷值和硫含量外其它参数均相同的 1 号 (CN52) 和 6 号 (CN56) 柴油的试验数据点被特别标出用以确认拟合规律的正确性。十六烷值对 1500 r/min 大、中、小负荷条件下 SCR 前 NO_x 和 HC 排放影响见图 6。

由图 5 和图 6 可见, 十六烷值增加对欧-IV 柴油机 NO_x 排放无显著影响。从原理上来说, 柴油机 NO_x 排放量应随着十六烷值增加而降低, 欧-IV 发动机上出现此变化规律可能与其采用预喷技术有关, 十六烷值对 NO_x 的影响规律随发动机的不同而存在差异。

十六烷值增加使得 HC 排放降低。十六烷值由 48 增至 65 造成欧-IV 柴油机 ESC 循环 SCR 前 HC 排放降低 24%, 即十六烷值平均每增加一个单位造成 HC 排放降低约 1.5%。1500 r/min 不同负荷条

件下 HC 排放随柴油十六烷值增加而降低的规律在变化趋势和幅度上基本相同。十六烷值提高, 燃料着火性改善, 燃烧相对充分, 不完全燃烧产物减少。

随着十六烷值增加, PM 排放整体下降, 但由于 7 种试验柴油硫含量不同造成硫酸盐排放量存在差异, 使得 PM 排放随十六烷值变化规律性不强, 为便于进一步分析, 图 7 给出了 ESC 循环 SCR 前 PM 中可溶性有机物 SOF、干炭烟 DS 成分排放量随十六烷值变化规律。图 8 给出 1500 r/min 大、中、小负荷条件下 SCR 前 PM 中 SOF、DS 排放量随十六烷值变化规律。由图 7、图 8 可见, 随着十六烷值增加, PM 中的 SOF 排放下降, DS 排放量基本恒定, 因而不计硫酸盐的 PM 总量降低。十六烷值由 48 增至 65 造成欧-IV 柴油机 ESC 循环 SCR 前 SOF 排放降低 25%、相同硫含量时 PM 排放降低 10%, 即十六烷值平均每增加一个单位造成 SOF 排放下降约 1.5%、相同硫含量时的 PM 排放降低约 0.6%。1500 r/min 不同负荷条件下 SOF 排放随柴油十六烷值增加而降低的规律在变化趋势和幅度上基本相同。SOF 随十六烷值变化规律同 HC 相似, 两种都是不完全燃烧的产物, 均随着十六烷值提高而降低。

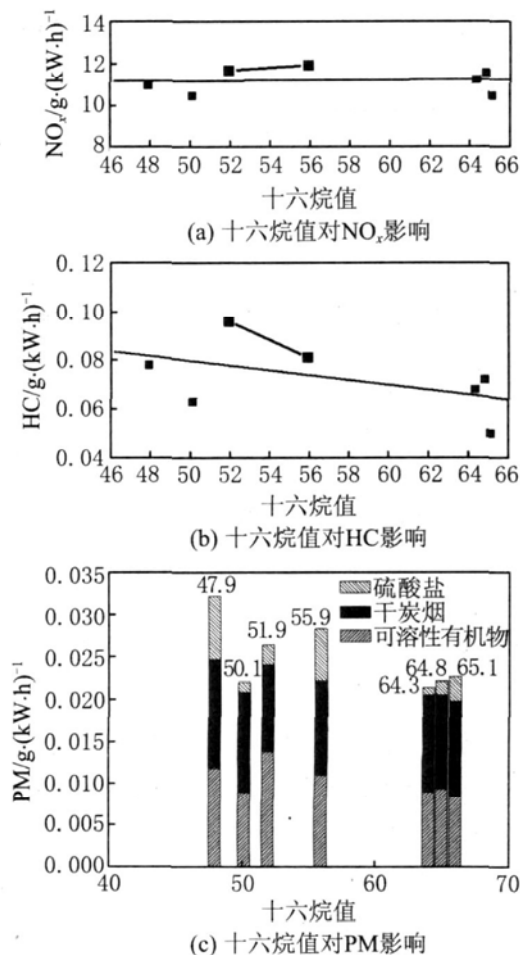


图 5 十六烷值对柴油机排放的影响 (ESC 循环)

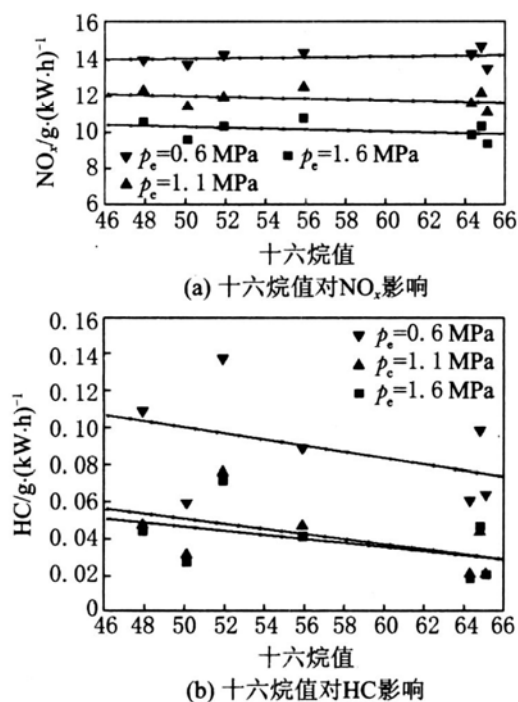


图 6 不同负荷下十六烷值对 NO_x 和 HC 排放影响 (1500 r/min)

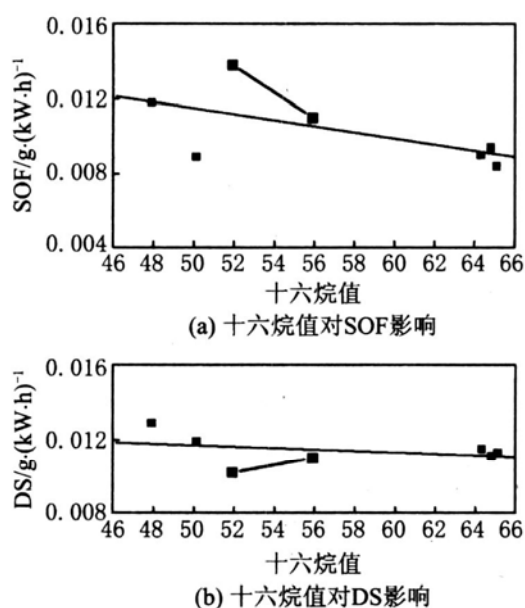


图 7 十六烷值对 SOF 和 DS 排放量影响 (ESC 循环)

2.4 燃烧放热率分析

十六烷值分别为 64、56、52 和 48 的 4 种柴油 1500 r/min 中等负荷条件下的缸压、瞬时放热率和累计放热率曲线如图 9 所示。由图 9 的瞬时放热率曲线可以看到明显的燃油预喷射, 十六烷值高的柴油预喷着火始点提前, 十六烷值 64 的柴油预喷着火始点比十六烷值 52 和 56 的柴油提前 $0.5^\circ\text{CA} \sim 1^\circ\text{CA}$, 比十六烷值 48 的柴油提前 $1^\circ\text{CA} \sim 1.5^\circ\text{CA}$, 十六烷值 52 和 56 的柴油着火始点基本重合; 不同十六烷值柴油的燃烧持续期、放热规律形状基本重合, 无明显差异。

由于欧-IV 柴油机采用了预喷技术, 十六烷值在

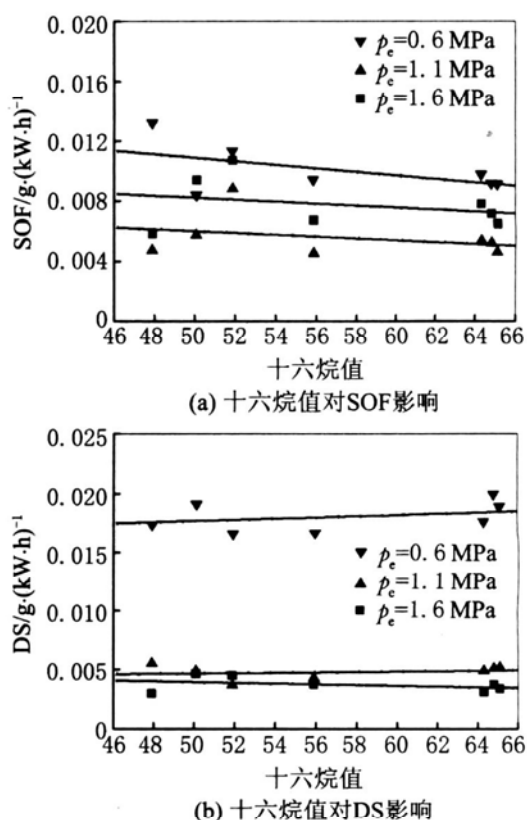


图 8 不同负荷下十六烷值对 SOF 和 DS 的影响 (1500 r/min)

48~65 范围内提高对其缸内燃烧放热规律影响不大, 故对发动机的动力性、经济性和 NO_x 排放量影响很小, 而十六烷值高的柴油着火特性好, 燃烧相对充分使得 HC 和 SOF 排放量降低, 同前述的十六烷值对欧-IV 柴油机性能影响规律吻合。

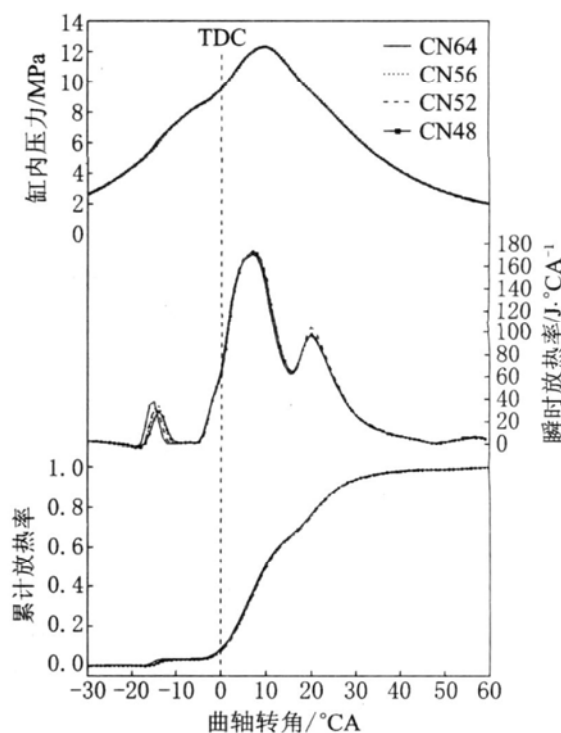


图 9 十六烷值对缸内压力、放热规律曲线影响

3 结论

对于采用增压中冷、高压共轨预喷技术和尿素 SCR 系统的典型欧-IV 重型柴油机,十六烷值在 48~65 范围内变化,对柴油机原机性能有如下影响:

(1) 十六烷值变化对试验用欧-IV 柴油机动力性无明显影响。

(2) 十六烷值在 48~65 范围内提高导致 BSFC 略有下降,十六烷值平均每增加一个单位造成试验用欧-IV 柴油机 BSFC 降低 0.2%。

(3) 十六烷值变化对试验用欧-IV 柴油机 NO_x 排放无显著影响。

(4) PM 排放随十六烷值增加而下降,十六烷值平均每增加一个单位造成试验用欧-IV 柴油机 ESC 循环 SCR 前 SOF 排放降低 1.5%,导致相同硫含量 PM 降低 0.6%;十六烷值对 DS 排放无显著影响。

(5) HC 排放随十六烷值增加而下降,十六烷值平均每增加一个单位造成试验用欧-IV 柴油机 ESC 循环 SCR 前 HC 排放降低 1.5%。

(6) 十六烷值增加造成试验用欧-IV 柴油机的预喷着火始点稍有提前,对燃烧持续期和放热规律形状无显著影响。

参考文献:

- [1] Broering L C, Holtman L W. Effect of diesel fuel properties on emissions and performance[C]. SAE 740692.

- [2] Tamanouchi M, Morishisa H, Yamada S, et al. Effects of fuel properties on exhaust emissions for diesel engines with and without oxidation catalyst and high pressure injection[C]. SAE 970758.
- [3] Signer M, Heinze P, Mercogliano R, et al. European programme on emissions, fuels and engine technologies (EPEFE) -heavy duty diesel study[C]. SAE 961074.
- [4] Stradling R, Gadd P, Signer M, et al. The influence of fuel properties and injection timing on the exhaust emissions and fuel consumption of an Iveco heavy-duty diesel engine[C]. SAE 971635.
- [5] Matheaus A C, Neely G D, Ryan III T W, et al. EPA HDEWG program engine tests results[C]. SAE 2000-01-1858.
- [6] Spreen K B, Ullman T L, Mason R L. Effects of cetane number, aromatics, and oxygenates on emissions from a 1994 heavy-duty diesel engine with exhaust catalyst[C]. SAE 950250.
- [7] Ullman T L, Spreen K B, Mason R L. Effects of cetane number on emissions from a prototype 1998 heavy-duty diesel engine[C]. SAE 950251.
- [8] Ryan III T W, Buckingham J P, Olikara C. The effects of fuel properties on emissions from a 2.5gm NoDx heavy-duty diesel engine[C]. SAE 982491.
- [9] 陈文森,陈 虎,王建昕,等. 柴油机 PM 排放测试分析方法探讨[J]. 车用发动机, 2005(2): 54-58.
- Chen W M, Chen H, Wang J X, et al. Investigation of measuring and analyzing methods for diesel particulate emission[J]. Vehicle Engine, 2005(2): 54-58.

(编辑: 李 贞)

简 讯

2008 年机械工业内燃机科技信息总网工作会议在洛阳举行

2008 年机械工业内燃机科技信息总网工作会议于 2008 年 10 月 30 日~11 月 1 日在河南省洛阳市举行。机械工业第四设计研究院担任了此次会议的东道主。出席会议的有潍柴动力股份有限公司、一汽无锡柴油机厂、昆明云内动力股份有限公司、东风商用车发动机厂、北京福田环保动力有限公司、江铃股份有限公司、山西柴油机厂等国内 18 家主要大中型柴油机企业及 15 家柴油机零部件企业的 42 名代表。

为了应对最近发生的美国金融危机对我国柴油机出口企业的影响,上内所机械工业内燃机科技信息总网网长刘传源作了“我国柴油机行业目前市场现状和应对策略”的专题报告,网刊主编戚忻泽作了“2008 年国内柴油机细分市场的分析及 2009 年市场预测信息的通报”。根据会议安排,还对“国内外燃油喷射技术的发展和运用”、“可变截面涡轮增压器和可控两级增压器系统的应用”、“利用调解式机油泵节省燃油的技术开发”及“我国汽车散热器现状及发展前景”等内容进行了信息交流。

此外,与会代表针对当前形势对各自企业的产品市场、新产品开发、行业发展、应对措施等方面进行了热烈讨论和交流,对总网 2008 年的工作进行了充分肯定并对今后的工作提出了很多建设性的建议。最后,总网网长刘传源对 2008 年的网内工作进行了总结,阐述了 2009 年的工作设想。除日常信息交流外,针对目前各企业情报信息工作的实际情况,决定在 2009 年对网员单位高级情报信息分析师开展情报分析培训工作。会议期间,还组织与会代表参观了机械工业第四设计研究院。

(内燃机科技信息总网 供稿)