

# 现代乘用车柴油机技术

韩志玉, 陈 征, 刘敬平, 刘 云

(湖南大学先进动力总成技术研究中心, 长沙 410082)

[摘要] 市场需求、排放法规、燃油经济性、客户满意度和成本是影响车用发动机技术发展的主要因素。与汽油机相比,现代柴油机在上述方面大都具有一定的优势,因此现代柴油机技术已成为乘用车发动机技术发展的一个重要方向。目前我国乘用车柴油机与国际先进水平仍存在很大的差距,亟需突破包括高效清洁燃烧技术、电子控制燃油喷射系统、发动机管理及标定等技术难点。建议自主开发低油耗、低污染物排放的高效清洁乘用车柴油动力,以满足我国未来乘用车大市场的需求。

[关键词] 乘用车;柴油机;节能;环保;技术难点

[中图分类号] U464 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)11-0030-07

## 1 前言

近年来,全球汽车保有量呈快速上升趋势,据预测,2010年全球汽车保有量将突破10亿辆,2015年将增至11.2亿辆左右,届时我国汽车保有量也将超过1亿辆<sup>[1]</sup>。按2008年我国乘用车销量所占汽车总销量比例(72%)计算,我国乘用车市场占有率将达到7000万辆以上。面对未来庞大的乘用车市场,发展先进的乘用车发动机技术变得日益迫切。由于现代柴油机在动力、节能和CO<sub>2</sub>排放方面的优势,柴油机动力将是近、中期节能环保汽车的现实技术选择。

## 2 影响发动机技术发展的主要因素

### 2.1 市场需求

在汽车诞生和发展的百年历史中,全球逐步形成了北美、欧洲、日本等老牌乘用车市场和以中国为代表的新兴市场。北美,以美国为主导,一直以来,都追求大排量车,这既是传统文化的继承,也是政策导向决定的。二战后,美国经济高速发展,生产力水平高,大批量生产的汽车成本低廉,更重要的是同样廉价而且持续不变的汽油价格,以及宽松的汽车政策和良好的道路环境,造就了

20世纪50年代后美国乘用车设计对豪华气派、大功率、大排量V型发动机的追求。欧洲作为汽车的发源地,工业化水平和文明程度较高,在欧洲人的观念中,汽车不仅仅是一种代步工具,更是娱乐和享受的象征,同时,欧洲人对能源和环境也极为重视,因此具有优良动力性和驾驶性能的涡轮增压发动机和燃油经济性更好的节能环保柴油机更符合欧洲市场的需求。日本作为岛国,土地和能源极其缺乏,因而日本本土乘用车市场需求更偏爱小型、小排量的节能型发动机。

近几年,随着国际石油价格的暴涨,世界乘用车市场需求逐步向省油、环境破坏力小的环保型车辆转变,于是日本厂商生产的节能型汽车受到了世界各国消费者的青睐。同样的,随着燃油价格的不断攀升和美国消费者兴趣的转移,而美国本土汽车企业在发动机节能方面的技术研究动力和开发水平远不如日本和欧洲的汽车企业,直接导致了美国乘用车市场被日本企业占领和美国三大汽车公司的没落。由此可见,市场需求是决定汽车和发动机技术发展的主要因素和直接推动力。

在国内,随着我国经济持续多年的快速增长,汽车行业也得到了长足发展,并已逐渐成为全球最大

[收稿日期] 2009-07-20

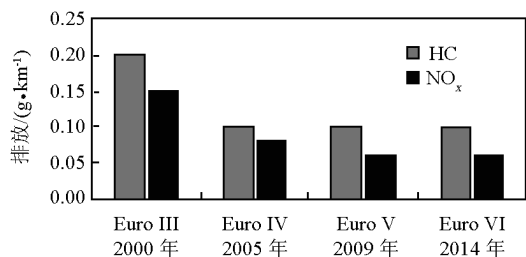
[基金项目] 国家高技术研究发展计划(“八六三”计划)项目(2008AA11A116)

[作者简介] 韩志玉(1962-),男,美籍华人,湖南大学机械与运载工程学院教授,博士,主要研究方向为内燃机燃烧、节能与排放控制;  
E-mail: hanzhiyu@yahoo.com

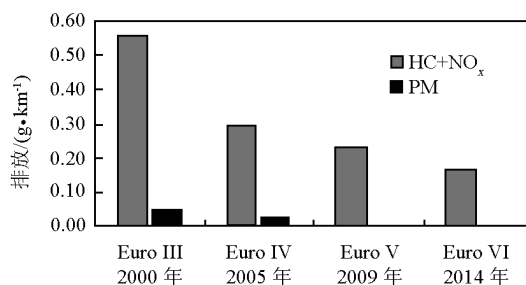
的汽车市场。但在当前,我国仍处在发展阶段,大多数消费者的收入水平仍不高,低成本、燃油经济性更好的小排量汽车将更符合大众市场的需求。

## 2.2 排放限制

迫于庞大的汽车数量对全球能源和环境的双重压力,世界各国政府都先后通过各种法律法规对汽车市场进行规范,积极鼓励高效、清洁汽车的使用,禁止高能耗、高污染汽车的继续生产和销售。图1显示了欧盟各国统一的汽油乘用车和柴油乘用车排放法规。从法规上看,从2000年开始的欧3标准到2014年预计实施的欧6标准,汽油乘用车主要排放物HC和NO<sub>x</sub>的排放限值分别降低了50%和60%;柴油乘用车主要排放物HC和NO<sub>x</sub>总量的排放限值降低了69.4%,颗粒(PM)排放降低了90%。为了满足这些日益严格的排放法规要求,一些先进技术,如增压中冷、废气再循环(exhaust gas recirculation, EGR)、电控共轨燃油喷射、排放后处理等将成为未来发动机的标准配置。由此可见,排放法规已成为影响发动机技术发展的另一重要因素。



(a) 汽油乘用车



(b) 柴油乘用车

图1 欧盟乘用车排放法规

Fig. 1 Emission regulations of passenger cars in the Europe Union

我国于1999年1月率先在北京、同年7月在上海实施相当于欧I的轻型车国I排放标准,从2001年在全国范围内开始实施国I标准,2005年开始实施国II标准(等同于欧II),2007年开始实施国III标准(等同于欧III),并将于2010年实施国IV标准(等

同于欧IV),虽然比欧洲实施时间分别晚了9年、9年、7年和5年,但可以看到我国与国际发达国家的差距在逐渐缩小,这对我国乘用车发动机技术发展也提出了巨大的挑战。相比之下,发展小排量乘用车在满足排放法规方面具有更明显的优势。

## 2.3 燃油经济性

汽车燃油经济性与节能减排密切相关,在汽车保有量快速发展的今天,燃油经济性变得尤为重要。因此,基于控制交通领域石油需求和温室气体排放的目的,世界一些国家,如美国、欧盟、日本等均制定了汽车燃油经济性和CO<sub>2</sub>排放标准,其中以欧盟和日本标准最为严格。我国也于2004年发布了《乘用车燃油消耗量限值》的强制性国家标准(见图2),第一阶段于2005年7月1日开始实施,第二阶段的执行日期为2008年1月1日。这些标准的出台使大排量、高油耗乘用车受到了限制,而对小排量节能型乘用车的发展具有明显的促进作用。尽管如此,我国乘用车燃油消耗的整体水平还很高,与发达国家的差距还很大,这可以从图2法规的比较中看到。

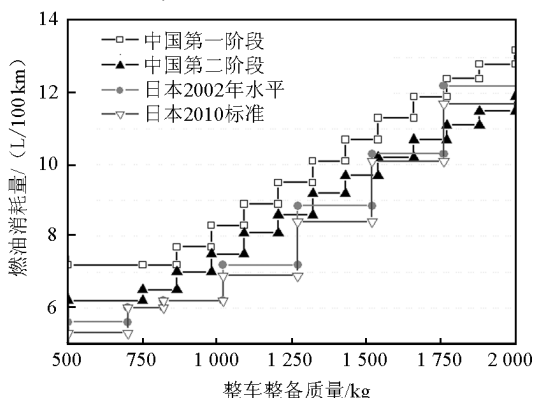


图2 中国燃油消耗量标准及与日本的比较

Fig. 2 Chinese fuel consumption regulation and its comparison with Japanese

## 2.4 客户满意度

随着人们驾车时间越来越长,对乘用车的性能、NVH(舒适性、振动和噪声)、安全性以及驾驶性等各方面有了更高要求。在汽车产业市场竞争日益加剧的环境下,乘用车发动机技术的发展对客户满意度的重视日益增加,客户满意度也成为衡量乘用车市场竞争力的重要因素。

## 2.5 成本

成本是汽车产业发展最直接、最活跃的推动力之一。在消费者和生产者、经销商的博弈中,高效能低成本的产品才是产业发展的趋势。

显然,乘用车发动机技术发展的方向必然是满

足市场需求的节能、环保、客户满意度高且成本较低的先进技术。

### 3 现代乘用车柴油机优势及技术发展水平

#### 3.1 现代乘用车柴油机优点

1) 市场需求优势: 为开发满足市场需求的节能、环保、客户满意度高且成本较低的先进乘用车发动机技术, 以降低能源与环境的双重压力, 世界汽车界不停地在寻找实现汽车乃至发动机工业可持续发展的解决办法。在不断的技术发展中, 柴油机以低燃油消耗、低 CO<sub>2</sub> 排放及良好的动力性和耐久性等优点逐渐受到世界各国的关注, 特别在采用高压共轨等先进技术之后, 其动力性、经济性、排放及振动噪声水平都有了很大改善, 柴油机已逐渐得到世界的认同和普及。到 1995 年柴油车在轿车中的保有量法国占到 26%, 德国 15%, 意大利和荷兰 12%, 英国 11%, 北欧国家在 3%~7% 之间, 相比之下, 在新车市场中柴油车的比重还要高得多; 1995 年欧盟 15 国 22.6% 的新增轿车为柴油车, 2005 年已接近 50%, 如图 3 所示。法、意、德、荷、英等国柴油轿车占当年轿车市场的比例分别为 69.1%, 58.3%, 42%, 26.8%, 36.8%<sup>[2]</sup>。在日本及北美, 柴油轿车的普及正方兴未艾。据日本实野经济所预测<sup>[3]</sup>, 到 2010 年, 欧洲 50% 以上的轿车将采用柴油机, 在日本、美国轿车柴油机的比例也将分别达到 10% 和 5.7% 以上。可见, 国际汽车市场正呈现出一股强劲的乘用车柴油化潮流。

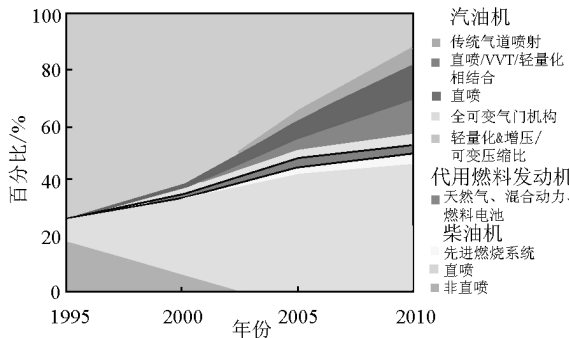


图 3 欧洲乘用车发动机发展趋势

Fig. 3 Development trend of passenger car engines in Europe

2) 经济优势: 与汽油机相比, 柴油机具有更好的燃油经济性。由于柴油的能量密度比汽油高, 柴油机采用一系列先进技术后, 热效率最高可达 45%, 比同排量汽油机高 50%, 因此油耗远低于汽油机, 现代柴油轿车比普通汽油车节油 30% 以上。

3) 排放优势: 目前欧盟等发达国家乘用车柴油机已达到欧 V 排放水平, 采用共轨技术的柴油机颗粒排放物比 20 世纪 90 年代初降低了 96%, 而 HC 和 CO 排放相比汽油机要低得多。另外, 柴油机还有比汽油机更低的温室气体排放。图 4 显示了 2001 年德国认证轿车的 CO<sub>2</sub> 排放量, 柴油车比汽油车 CO<sub>2</sub> 排放降低了 20%~25%。由图 4 可见, 现代柴油机的排放更加环保。

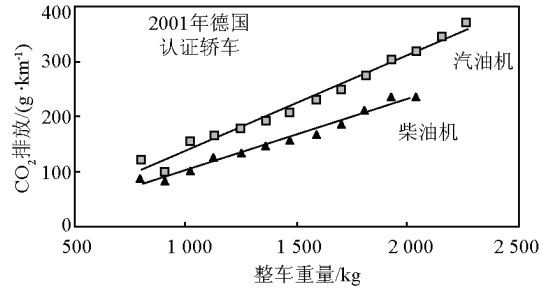


图 4 2001 年德国认证轿车汽油机和柴油机 CO<sub>2</sub> 排放状况

Fig. 4 CO<sub>2</sub> emission status for German certified cars in 2001

4) 性能及可靠性优势: 柴油机具有低速大扭矩输出, 柴油乘用车加速性能和动力性能上领先于汽油车, 可给驾驶人员以很大的车辆操纵快感。在采用先进的燃烧技术后, 柴油机振动和噪音明显降低, 柴油乘用车的舒适性得到极大改善。柴油发动机转速较低, 气缸燃烧温度相对较低, 其相关零部件磨损就较少, 不易老化, 且由于柴油发动机通过压燃着火, 无须高压线、火花塞、分电器、点火系统等零部件, 柴油发动机故障率远低于汽油发动机。在欧洲, 大众集团柴油发动机的无故障里程为 85 万公里 (1 公里 = 1 km), 而汽油发动机无故障里程仅为 40 万~45 万公里。柴油轿车整车寿命至少比汽油车长 20% 以上。同时, 柴油不易挥发, 着火点较高, 不易因偶然情况被点燃而发生爆炸, 所以柴油机乘用车安全性更高。因此, 柴油机乘用车的动力性能、驾驶性和可靠性等方面的客户满意度高于汽油机乘用车。

5) 成本优势: 尽管柴油机的制造成本高于汽油机, 但由于政策及法规的引导和较低的燃油消耗量, 实际柴油机运行成本低于汽油机, 并且柴油机的故障率远低于汽油机, 柴油机乘用车的养护成本比汽油机乘用车低得多。国际上现代化的柴油车技术已经十分成熟, 很多生产厂商都能够实现规模化生产和销售。以欧洲汽车厂商为首, 国际汽车集团已经积累了相当丰富的柴油轿车生产经验, 对于柴油轿

车的售后服务、维修等也有充分的准备,因此其转化为乘用车成本的比例越来越低。

可见,与汽油机相比,现代乘用车柴油机无论从市场需求角度还是在排放法规、燃油经济性、客户满意度和成本方面均具有一定的优势,现代乘用车柴油机技术已成为未来发动机技术发展的一个重要方向。

### 3.2 国外乘用车柴油机技术发展现状

近20年来,国外现代乘用车柴油机广泛采用了增压中冷、电控共轨燃油喷射、废气再循环、排气后处理等先进技术,如图5所示。在这些技术的耦合作用下,现代柴油机与20世纪90年代前的传统柴油机有了质的差别:一是现代柴油机的污染物排放大为减少,由于现代柴油机在减少污染物排放上取得的巨大进步,国际上将现代柴油机称为清洁柴油机(clean diesel)或绿色柴油机(green diesel);二是现代柴油机解决了噪音、振动以及小型化的问题,使得现代柴油机动力技术不仅能够用于大型的商用车上,而且也能用于乘用车(包括轿车)上。现代柴油机技术使传统柴油机功率密度低、冒黑烟、噪声大和冷起动困难的缺点得以克服,并使节能环保的现代柴油动力乘用车作为未来乘用车发展趋势成为现实。

1.5 MPa左右,对应的升功率在44 kW/h左右,从1997年到至今的十年里,最大平均有效压力增加到了2.5 MPa,对应的升功率提升到了65 kW/L,个别机型(如BMW公司Alpina D3柴油机的升功率已经接近80 kW/L)。由于增压压力的不断提高,柴油机的最高爆发压力和热负荷均在升高,对零部件,尤其是缸体、缸盖、活塞、连杆、曲轴的设计和制造水平提出了更高的要求。

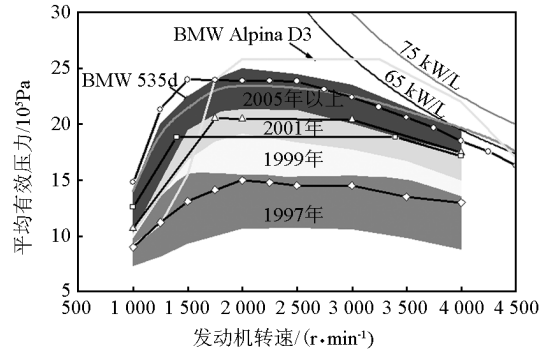


图6 国外乘用车柴油机升功率发展趋势

Fig. 6 Development trend of power density for foreign passenger car diesel engines

#### 3.2.2 高压共轨燃油喷射系统

在1997年,博世与奔驰公司联合开发了共轨柴油喷射系统。目前,共轨系统在欧洲乘用车上已经得到普遍应用,如德国戴姆勒-奔驰公司C系列轿车、标致公司的HDI共轨柴油发动机,菲亚特公司的JTD发动机等。采用压电执行器的第三代共轨系统,共轨压力可以在20~200 MPa间弹性调节,喷射控制更加精确,能实现5次以上分段喷射,最小喷射量可控制在0.5 mm<sup>3</sup>。通过共轨系统实现的燃油预喷可以优化柴油机燃烧过程,降低噪音和NO<sub>x</sub>排放,后喷射可以降低碳烟颗粒的排放。与同类燃油喷射汽油机相比,装配有共轨系统的现代柴油机可以降低25%~30%的油耗,减少至少20%的CO<sub>2</sub>排放。

#### 3.2.3 燃烧技术

燃烧技术是柴油机节能和排放控制技术的核心。柴油机的燃烧系统主要由空气系统、燃油喷射系统、燃烧室三大部分组成,涉及电控燃油喷射系统、增压器、废气再循环(exhaust gas recirculation, EGR)、进气涡流、燃烧室等主要零部件的结构参数和喷油压力、喷孔直径、喷油规律、增压压力、EGR率、进气涡流比等多个控制参数。乘用车柴油机的燃烧技术与其他车用柴油机燃烧技术的主要区别在于转速更高,从而要求油气混合更快;缸径更小,从而要求喷雾更短;振动和噪声要求更低,从而要求压

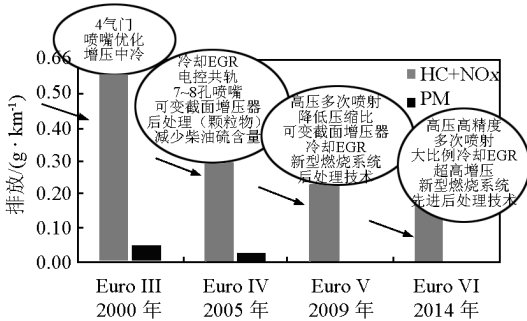


图5 乘用车柴油机技术发展趋势

Fig. 5 Technology development trend of passenger car diesel engines

#### 3.2.1 现代乘用车柴油机升功率水平

提高柴油机升功率是国外实现柴油机节能减排目的的主线之一。升功率的提高可减小柴油机设计排量,这样既可以满足整车动力性(功率)要求,又可使柴油机的常用工作点落在大负荷、低油耗区,从而达到节能的目的。由于柴油机有害排放和CO<sub>2</sub>排放是燃油燃烧的副产物,节能本身就是减排。柴油机升功率的提高是通过提高柴油机工作转速和增压压力来实现的。国外乘用车柴油机外特性平均有效压力与升功率的发展趋势可以从图6中看出,在1997年,最高水平的柴油机最大平均有效压力在

力升高率更小,最好采用多次喷射。

并且,国外柴油机在采用新型燃烧方式来实现缸内有害排放物生成控制方面也进行了一些尝试,如预混合气均质压燃(homogeneous charge compression ignition,HCCI)燃烧、低温燃烧等。由于 $\text{NO}_x$ 是在富氧高温区形成,而碳烟颗粒物是在缺氧低温区形成,如果采用低温、富氧燃烧过程,即可在缸内同时达到控制 $\text{NO}_x$ 和碳烟颗粒物的目的。基于该思想的HCCI燃烧方式在丰田的UNIBUS(uniform bulky combustion system)柴油系统、日产的MK(modulated kinetics)柴油系统上都得到了应用并实现了商业化,但由于稀薄混合气燃烧导致运行范围有限,因此HCCI燃烧方式并没有获得广泛的应用。与之相比,低温燃烧的概念更为先进,它通过应用大比例冷却EGR降低燃烧温度来避开 $\text{NO}_x$ 和碳烟颗粒物的生成区域,可以实现浓混合气燃烧,也具有未来更大的应用前景。

### 3.2.4 排气后处理系统

柴油机的主要排放物是 $\text{NO}_x$ 和颗粒物。对于乘用车柴油机来说, $\text{NO}_x$ 排放主要通过推迟喷油时刻,提高冷却EGR比例来降低,但同时会增加颗粒物排放,通常采用柴油颗粒捕集器(diesel particulate filter,DPF)来消除,转换效率可以达到90%以上。DPF面临的核心问题是捕集器的再生,在全工况范围内实现再生具有相当大的难度。另外,燃油中的含硫量对DPF有明显的影响,硫燃烧后转化为硫酸盐,会导致有贵金属涂层的颗粒物后处理系统被钝化,转换效率急剧下降。因此装备DPF系统的发动机对燃油的硫含量的控制比较苛刻(要求含硫量低于50 ppm( $1 \text{ ppm} = 10^{-6}$ ))。

总结现代柴油机的先进技术,可以说,当前国际先进水平的乘用车柴油机大多数均采用电控高压喷射+多孔数小孔径喷孔喷油器+四气门+浅盆型缩口 $\omega$ 燃烧室+涡轮增压+(冷却)EGR+排气后处理系统的技术组合。

### 3.3 国内乘用车柴油机技术发展现状

中国现有的车用柴油机绝大多数采用传统的柴油机技术,与当今世界上广泛应用的现代柴油机技术有很大的差距。技术水平相当于20世纪90年代前的国际水平,部分柴油车比如农用柴油机的技术水平甚至还达不到。柴油车仍普遍冒黑烟,有明显的噪音和振动。从我国柴油机燃油经济性与国际先进水平之间的差距即可见一斑。如图2所示,以整

车整備质量大于1 090 kg而小于1 205 kg的乘用车为例,我国燃油消耗量第一阶段限值是8.9 L/100 km,第二阶段限值是8.1 L/100 km,而日本2002年的油耗量水平是在7.2 L/100 km,2010年标准定为6.9 L/100 km,我国第二阶段限值相比日本2002年的油耗水平还高了12.5%,比日本2010年标准高了17.4%。

目前实现柴油机乘用车节能减排的核心先进技术仍然被国外公司高度垄断。近10年来国内基本上是通过产业引进和国外公司联合开发等方式来获得先进技术。昆明云内动力股份有限公司、玉林柴油机厂和长城汽车有限公司等单位陆续开发出满足国3、国4排放标准的乘用车柴油机,但尚未实现批量化生产。在燃烧技术方面,天津大学、上海交通大学等在新型燃烧系统领域已经取得一定的成果,但目前国内在乘用车柴油机燃烧系统开发方面还没有成熟的应用。而在柴油机管理系统(engine management system,EMS)、电控高压共轨燃油喷射系统等关键零部件技术方面,国内一些高校如北京理工大学、清华大学、上海交通大学等也在积极开展研究工作,有的已经取得阶段性成果。无锡油泵油嘴研究所电控高压共轨喷射技术方面已经取得相当的成果。目前这些成果没有产业化,而且试验应用对象还没有轿车柴油机。

我国企业和研究单位在柴油动力的开发过程中,由于没有掌握如高效清洁燃烧技术、电控高压燃油喷射技术、柴油机电控管理技术、柴油机及整车标定等关键技术,只能花费高昂的代价以技术合作的方式向国外企业购买,而通过这种方式获得的技术存在很多问题。一方面,外方提供的技术往往不是最新技术,等到技术被消化时已经不具备先进性;另一方面,由于不掌握核心技术,使得引进的技术不具备继承性和成长性,行业产品陷入落后—引进—再落后—再引进的怪圈。因此,国内乘用车动力行业亟需加快柴油动力的创新发展,开发出具有自主知识产权的乘用车柴油机技术,缩短与国际先进水平的差距,以满足国民经济发展的需要。

## 4 我国发展乘用车柴油机面临的技术难点

针对我国乘用车柴油机技术发展现状以及未来广大的市场需求,我们亟需突破以下乘用车柴油动力技术难点,掌握包括清洁燃烧技术、电控高压共轨电控及标定技术等清洁节能的现代柴油机先进技

术,实现自主开发低油耗、低污染物排放的高效清洁乘用车柴油机。

1) 高效清洁燃烧系统。柴油机缸内燃烧过程与燃油消耗率和有害污染物排放有直接的关系。传统柴油机非均质扩散燃烧的固有特性使柴油机存在碳烟和  $\text{NO}_x$ , 碳烟和燃油消耗率间的平衡关系。开发高效清洁燃烧系统就是为了打破这些平衡,达到最大限度地减少缸内有害排放物生成,且不恶化燃油消耗率,最小化废气后处理系统的目的。拟采用的解决方案为:a. 应用低温燃烧的新概念。采用大比例废气再循环降低燃烧温度和局部含氧量以降低  $\text{NO}_x$  生成,采用高压分段燃油喷射在燃烧过程中控制混合气的形成和分布,实现局部的预混合燃烧,以降低碳烟生成;b. 采用基于计算流体力学 (computational fluid dynamics, CFD) 的燃烧系统优化设计方法,对缸内气流运动、燃油喷雾、混合气形成与燃烧、碳烟和  $\text{NO}_x$  的生成机理进行三维模拟分析,对影响上述过程的气道、燃烧室、油束喷孔数量的设计参数进行分析和优化,同时考虑增压压力、废气再循环、分段喷射的影响,以提高对清洁燃烧机理的认识,指导研发工作,减少开发周期;c. 研究快速可靠的控制策略和算法,对包括喷油压力、喷油定时、喷射次数、喷油量、增压压力、废气再循环率、进气流量等多参数进行精确控制,以达到在降低有害排放物生成的同时,不恶化燃油消耗率的目标。

2) 电控燃油喷射系统。重点开发集成电控高压供油泵、电磁驱动喷油器、高压共轨管等一系列部件的,能实现 160 MPa 以上喷油压力和至少 3 次以上多段喷射满足国 IV 以上排放标准的燃油系统总成,以满足国内批量化生成的需要,打破国外公司的技术垄断。

3) 电控控制器 (electronic control unit, ECU) 软硬件、控制策略及匹配标定工具软件,系统及关键零部件的技术标准规范及测试评价技术。重点开发以 32 位微处理器为核心的电控单元 (ECU),以及能实现高精度的轨压控制、喷油定时控制、喷油量控制、多段喷射控制等燃油喷射系统控制策略、算法和软件,集成高压共轨燃油喷射, VNT, 冷却 EGR, 排气后处理、空燃比综合控制、热管理等开放式发动管理系统以及动力总成管理系统的在线故障诊断系统、控制算法和软件。

4) 气缸体、缸盖、曲轴箱、曲轴和凸轮轴 5 大件的制造技术。重点研究缸体、缸盖、曲轴箱、曲轴和

凸轮轴制造的先进加工工艺和材料,如采用铝合金气缸体和缸盖、整体锻钢曲轴和组合式空心凸轮轴等,在保证质量和足够的强度、刚度要求的同时,尽可能地降低重量和制造成本,提高成品率,以满足乘用车柴油机轻量化和批量化的要求。

5) 发动机排放后处理控制技术、后处理系统的集成和抗劣化及耐久性控制技术。重点开发的主要内容包括:a. 微粒捕集器捕集及复合再生技术;建立微粒捕集器捕集过程多工况多参数耦合数值仿真与混沌粒子群优化模型,研究通流式微粒捕集器喷油助燃与催化复合再生技术;b. 后处理系统抗劣化及耐久性控制技术;建立复合再生系统的寿命预测模型,利用熵理论对催化剂抗劣化进行评价,采用模糊理论与支持向量机对催化剂抗中毒抗老化寿命进行预测,及系统耐久性的智能诊断与控制研究;c. 柴油机后处理系统优化设计及集成技术;在建立本系统多学科代理模型的基础上,采用混沌粒子群优化算法对本系统各部、组件进行多学科优化设计及集成。

6) 整车的匹配、标定与评价技术。在整车的匹配方面,重点研究开发变速器匹配、机舱热管理和动力总成悬置 NVH 的设计方法;开发结合循环热力计算、发动机台架自动精细标定和室内整车道路模拟试验的数字化标定技术,以替代部分整车道路标定,减少整车道路标定的时间和对自然环境的依赖度;开发发动机匹配标定系统、算法和软件。

## 5 结语

1) 市场需求、排放法规、燃油经济性、客户满意度和成本是影响车用发动机技术发展的主要因素。

2) 与汽油机相比,现代乘用车柴油机无论从市场需求还是在排放法规、燃油经济性、客户满意度和成本方面均具有一定优势。现代柴油机技术已成为乘用车发动机技术近、中期发展的一个重要方向。

3) 我国乘用车柴油机技术距离国际先进技术还有很大的差距。

4) 我国发展乘用车柴油机主要面临以下技术难点:a. 高效清洁燃烧系统;b. 电控燃油喷射系统;c. 电控控制器 (ECU) 软硬件、控制策略及匹配标定工具软件,系统及关键零部件的技术标准规范及测试评价技术;d. 缸体、缸盖、曲轴箱、曲轴和凸轮轴 5 大件的制造技术;e. 发动机排放后处理控制技术、后处理系统的集成和抗劣化及耐久性控制技术;f. 整车的匹配、标定与评价技术。

## 参考文献

[1] 权威机构预测:2010 年全球汽车保有量将突破 10 亿辆 [EB/OL]. [http://www.artsma.com/html/tradenews/2008-1/17/073211035061019\\_0811714414340931\\_578.html](http://www.artsma.com/html/tradenews/2008-1/17/073211035061019_0811714414340931_578.html)

[2] 朱松丽. 柴油车在节能减排方面的作用——欧洲的经验教训 [J]. 节能与环保, 2006, (7): 9-11

[3] 浅谈现代柴油机技术 [EB/OL]. [http://yunnan.stis.cn/ynzd-cyzt/nrjzz/sect/200905/t20090505\\_252103.html](http://yunnan.stis.cn/ynzd-cyzt/nrjzz/sect/200905/t20090505_252103.html)

# Modern diesel engine technology for passenger cars

Han Zhiyu, Chen Zheng, Liu Jingping, Liu Yun

(Research Center for Advanced Powertrain Technology, Hunan University, Changsha 410082, China)

[Abstract] There are some dominant factors which affect the technology development of diesel engines, including market requirement, emission regulation, fuel economy, customer satisfaction and cost. In the above aspects, modern diesel engines have advantages over gasoline engines, therefore advanced diesel technology is an important direction for passenger car engines. At present there is a visible gap in the diesel engine technology for passenger cars between China and foreign developed countries. In order to realize independent development of advanced diesel engines with low fuel consumption and pollutant emissions, and meet the need of the future passenger car market in China, it becomes urgent to break through the difficulties in the technology of modern diesel engines, such as high-efficient and clean combustion, electronic controlled fuel injection, engine management, engine and vehicle calibration, etc.

[Key words] passenger car; diesel engine; energy conservation; environment protection; technology difficulty

---

(上接 29 页)

# The lean forming technology for auto sheet metal

Lin Zhongqin, Li Shuhui, Wang Wurong, Lai Xinmin

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

[Abstract] The lean forming technology for auto sheet metal has been proposed, which consists of a proper material selection method considering the forming characteristic, a hybrid optimization methodology for effective drawbead force design and an experiment platform with the control of variable blank holder force. Aiming at decreasing the forming sensitivity to variation in materials and process, a forming robust design methodology has been studied. The technical framework for auto sheet metal lean forming was constructed based on the idea of proper material selection, process optimization and robust control. Through more than 10 years of application in Baosteel and some automobile plants, 50% market sharing has been targeted for Baosteel auto steel sheet, which effectively promotes the development of application technologies for home-made auto sheet metal.

[Key words] auto sheet metal; lean forming; proper material selection; process optimization; robust control