

2003年大众公司在1.8L-5V-92kW进气道喷射汽油机的基础上为第二代奥迪A3和A4轿车开发了一种采用齿形皮带传动的新型横置式自然吸气2.0L-4V-FSI分层直接喷射汽油机,其内部型号为EA113汽油机系列。2004年在此平台基础上开发的世界上第一台涡轮增压缸内直接喷射2.0L-TFSI汽油机批量投入生产。而2006年新开发的采用链传动的1.8L-TFSI汽油机则是在全新设计的基础发动机上应用了升级版的增压燃油分层直接喷射(TFSI)燃烧过程。不断创新的TFSI技术为这种最新的机型提供了更大的低速扭矩和更低的燃油消耗,同时新一代发动机管理系统和喷油系统高压部件还能用于满足特超低排放汽车(SULEV)废气法规要求的2.0L-TFSI增压分层直喷式汽油机。这些新机型在大众公司内部被命名为EA888汽油机系列。

EA888系列汽油机从一开始就是按照用于大众公司所有型号和汽车平台的“全球发动机”和全世界所有市场应用的要求来设计的。大众公司于2007年春成功推出了这种全新汽油机系列的第一代机型,随后又在此基础上成功开发了特超低排放汽车用的2.0L-TFSI机型;在2009年度的第二代机型上又进行了多处摩擦优化,并同时推出了奥迪可变气门定时和升程机构(Avs);2011年又推出了经进一步广泛优化并装备Avs机构的第三代1.8L-TFSI-Avs机型。从2005年以来,这种EA888直列4缸TFSI汽油机系列10次荣获著名的“年度国际发动机”和“十佳发动机”奖。本文将详细介绍第一代和第三代机型的结构和性能。

大众奥迪EA888系列 1.8L增压燃油分层直喷式汽油机详解(四)

◆文/江苏 范明强



范明强

(本刊专家委员会委员)

教授级高级工程师,参加过陕西汽车制造总厂的筹建工作,主管柴油机的产品开发,1984年调往机械工业部无锡油泵油嘴研究所,曾任一汽无锡柴油机厂、第一汽车集团公司无锡研究所高级技术顾问、湖南奔腾动力科技有限公司总工程师。

(接上期)

7.燃烧过程

第三代1.8L-TFSI汽油机已对增压分层喷射TFSI燃烧过程再次进行了多方面的改进,因此在平均有效压力提高到22bar(1bar=10⁵Pa)的同时,增强了抗爆燃和防止提前着火的能力,进一步提高了运转平稳性,而且由于汽缸盖具备整体式废气冷却功能,即使在边界条件发生改变的情况下,因具有良好的残余废气性能和过量空气系数值而仍能使这种燃烧稳定性达到最佳。

在量产机型上,这种具备整体式废气冷却功能的汽缸盖有可能使燃烧过程中U05-U50(指燃油燃烧质量达到5%~50%份额)的能量转化时间延长1°~2°曲轴转角,因而在转速低于3000r/min时会使燃烧稳定性变差,但是通过重新设计进气道(提高滚流强度),不仅这种状况完全能够得到补偿,而且还能拓宽较高转速时的节油潜力。同时,在滚流板尚未起作用时进气道产生的充量运动也增强了,这对于催化转化器的加热是十分有利的,而并没有因进气道几何形状方面的优化而发生变化。此外,经过优化,高压喷油器的安装位置稍微缩进了一些,使得混合气的均质化得到了进一步的改善,同时作为喷油器位置优化的附带效果,还减轻了喷油器的热负荷。

为了能获得必要的功率提升以明显改善自行加速性和优化全负荷性能,这种最新一代汽油机继承了从2.0L-TFSI机型就为人们所熟悉的奥迪排气凸轮轴两级气门升程转换(Audi valvelif)系统,并首次与排气凸

轮轴相位调节器组合应用,从而能够在换气控制方面获得最大的自由度,排气凸轮轴在上止点后-24°~6°关闭排气门的范围内,能以180°/195°曲轴转角的排气门控制时间来适应1.8L-TFSI汽油机在全负荷和部分负荷范围内不同的换气需求,从而一方面能成功地将卓越的加速性与低的全负荷燃油消耗(小于250g/kWh)结合起来,另一方面又能充分利用燃烧过程在部分负荷时良好的残余废气兼容性来降低燃油消耗(图33)。

正如前面所介绍的那样,由于汽缸盖具备整体式废气冷却功能,在接近全负荷的宽广范围内能够以化学计量比混合汽燃烧运行,特性曲线场中的最低燃油消耗低于230g/kWh,然而更重要的是,非常宽广的特性曲线场范围具有低于250g/kWh的燃油消耗值(图34),这就保证了即使在动态行驶情况下,在用户实际使用的运行范围内仍具有非常好的燃油消耗。

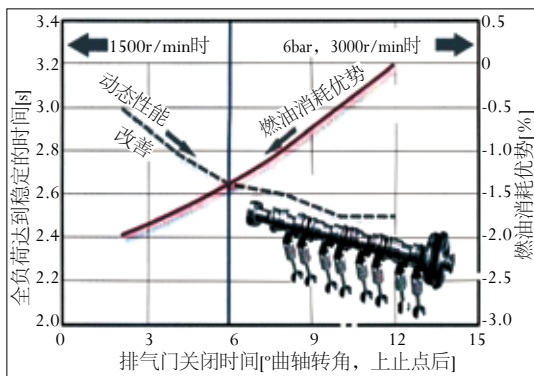


图33 排气门关闭时刻曲线

8. 废气涡轮增压器

增压系统采用了一种全新开发的单涡道废气涡轮增压器(图35)，其开发目标是低转速范围内的高扭矩与最大的功率提升和高的动态性能相结合。这种增压器的设计基础是IHI公司的RHF4型增压器尺寸，其中在转子、涡道、壳体以及所有的流动导向零部件等方面都已进行了各种不同的优化。这种废气涡轮增压器由以下部件组成：①电动废气放气阀调节器；②涡轮前氧传感器；③紧凑的铸钢涡轮壳体，并在与汽缸盖连接的法兰处具有双流道进口；④压气机壳体带有整体式脉冲噪声阻尼器和电动倒拖旁通空气阀；⑤镀铬耐热合金涡轮叶轮，可承受980℃废气温度；⑥轴承壳体具有标准的机油和冷却水接口；⑦铣削压气机叶轮。

涡轮壳体由牌号1.4837的铸钢材料制成，能承受980℃的废气温度，这就确保了能可靠地满足有关使用寿命方面的功能要求，并且这种材料能够在涡轮壳体上配置涡轮前氧传感器。借助于一直延伸到涡轮前不远处的双流道导向，实现了将排气尽可能好地按点火次序分开流动并过渡到单涡道。因采用了整体式废气冷却方案，涡轮壳体的总质量也就是含镍的高级合金材料的使用量能节省大约40%。由于涡轮壳体的结构型式较紧凑，采用螺栓和螺母的标准紧固方式固定在汽缸盖上就已足够了。涡轮叶轮首次采用713C镀铬耐热合金(镍基合金)代替牌号MAR的材料，为此曾专门对涡轮叶轮的蠕变性能进行前期试验。

压气机壳体是铝合金硬模铸造而成的，集成了脉冲噪声阻尼器、电动倒拖旁通空气阀以及曲轴箱通风和燃油箱通风气体的引入接口。为了能明显地提高电动废气放气阀调节器的调节力，压气机壳体已在结构上进行了优化。压气机叶轮是用整块材料铣削而成的，这就带来了诸如较高的转速稳定性和良好的降噪效果等方面的优点。

新设计的电动废气放气阀调节器比目前使用的气动膜盒调节器调节起来更为迅速和精确，而且能够与产生的增压压力进行调节。这种实时主动调节的主要优点是：

- ①因电动废气放气阀调节器具有较高的密封力，因此能产生高达320N·m的最大扭矩；
- ②在1400r/min的低转速下就能达到最大扭矩；
- ③因废气放气阀能在部分负荷时主动打开，从而能降低基础增压压力，降低燃油消耗，在机动车排放组合行驶循环(MVEG)中能降低CO₂排放大约1.2g/km；
- ④由于能在催化转化器加热期间主动打开废气放气阀，可使催化转化器前的废气温度提高10℃，从而使得冷启动时的废气排放较低；
- ⑤由于电动废气放气阀调节器具有较高的调节速度，在负荷降低时能立即减小增压压力，这特别是对废气涡轮增压器的声学特性(放气嘘叫声、呼噜声)产生有利的影响。同样，由于动态增压压力建立较快，在负荷增加时发动机的加速性也得到了改善。

奥迪公司首次将氧传感器设置在涡轮增压器涡轮前，这可使其露点结束得较早，

从而在发动机启动后能较早地开始进气量调节以及良好的单缸识别。在确定氧传感器位置时，特别注意到良好的流动状况和尽可能低的温度负荷。

9. 行驶功率和燃油消耗

在设计废气涡轮增压器、燃烧过程和换气时采取了多种多样的优化措施，最终都被反映到稳态和动态全负荷性能上。这种最新一代1.8L-TFSI汽油机在1400r/min时就已达到320N·m最大扭矩，并且在3800~6200r/min之间提供了125kW的最大功率平台(图36左)。未来还能进一步提升功率。此外，与第二代机型相比，即使明显提高了平均有效压力，并且最大功率也较高，但是达到最大扭矩的时间再次缩短了(图36右)，从而确保了在行驶功率不受限制情况下的自行加速性。

奥迪公司为了评价一辆汽车的行驶功率和行驶动力性能，引入了称之为“性能感觉指数”(PFI=Performanc Feel Index)的评价指标，用来衡量汽车加速性的好坏，并经常与燃油消耗结合起来应用。与第二代1.8L-TFSI汽油机(118kW/250N·m)相比，第三代1.8L-TFSI汽油机(125kW/320N·m)即使为了优化燃油消耗而加大了变速器速比，但是还是明显改善了行驶功率。图37形象地示出了在明显降低燃油消耗(-22%)的同时加速性的改善情况(+12%)。即使与装有Audi valvelif系统的第二代2.0L-TFSI汽油机(132kW/320N·m)相比，在行驶动力性能相同的情况下依然获得了14%的节油效果。

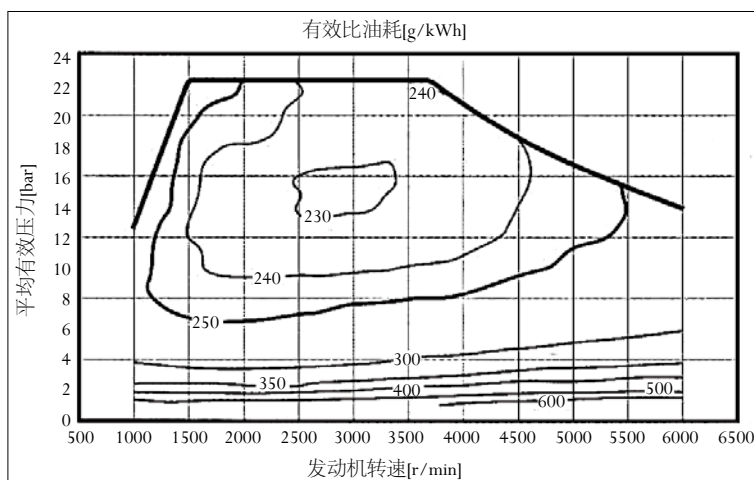


图34 燃油消耗特性曲线场 (有效比油耗)

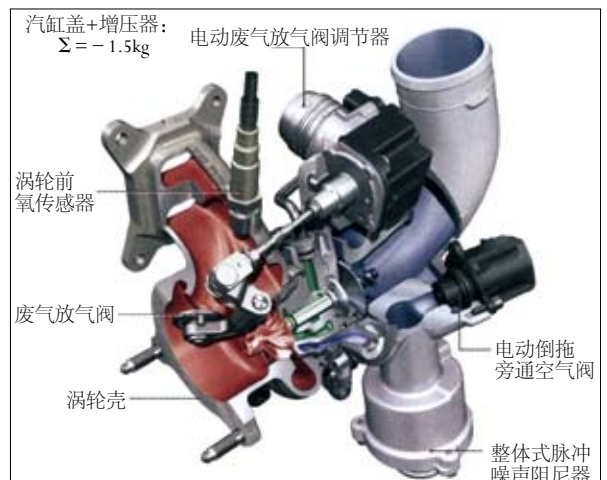


图35 单涡道废气涡轮增压器

通过采取降低转速、降低摩擦和热管理等方面的措施以及多种多样的热力学优化,并与汽车其他方面的改进相结合,搭载最新的第三代1.8L-TFSI汽油机的新型奥迪A4轿车的机动车排放组合行驶循环(MVEG)燃油消耗明显降低。特别是排气凸轮轴相位调节器与排气侧Audi valvelif系统、电动废气放气阀和双喷油系统相结合,改善了部分负荷的效率,并对达到节目标做出了贡献。

10. 废气排放

为了满足欧VI排放限值的要求,已优化了汽油机原始排放的水平。为此,已将喷油压力从150bar提高到200bar,优化了高压喷油器的安装位置改善混合汽形成,并将废气管道的结构设计得表面积最小。此外,氧传感器安装在增压器涡轮前,使得在发动机冷启动时氧传感器能快速起燃,并能动态采集过量空气系数。

除此之外,废气后处理装置已经过优化,采用了新型的整块式薄壁陶瓷载体,并采用了新开发的JM835贵金属涂层。通过这种薄壁基质载体明显降低了废气背压,同时缩短了废气后处理装置的起燃时间。在部分负荷时,可通过打开电动废气放气阀,使废气绕过涡轮,这样就能够在发动机冷启动时为催化转化器的加热提供最多的废气热量尽快升温。

在发动机启动时,采取在压缩行程期间3次缸内直接喷射,而在暖机运转阶段,则在适度推迟点火的同时实施在进气行程和压缩行程的两次喷射。通过应用实验设计(DoE)方法对喷油参数、点火参数和凸轮轴参数进行试验,能够寻找到一种加权平均折中,使得气态排放低且颗粒数最少,而发动机又具有非常良好的运转平稳性。在暖机运转结束后紧接着使用MPI喷油系统,使发动机处于非爆燃区域运转且又能获得最佳的部分负荷效率。除了前面已提及的热管理之外,众所周知的启动-停车系统和制动能量回收措施也能附加降低CO₂排放,从而确保发动机排放能可靠地低于欧VI排放限值。

综上所述,奥迪公司最新推出的新型1.8L-TFSI汽油机已使卓有成效的EA888汽油机系列的第3代机型成为“全球发动

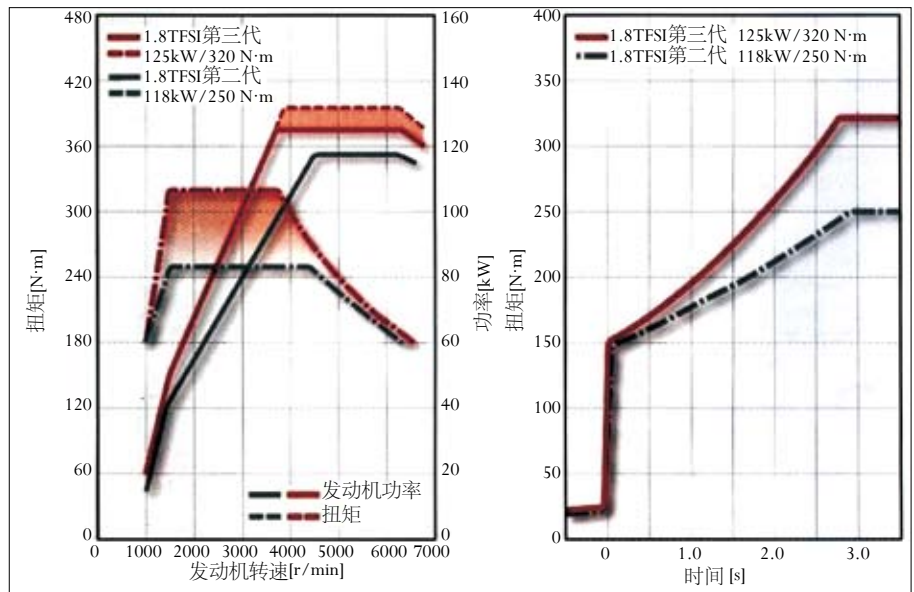


图36 汽油机功率和扭矩曲线

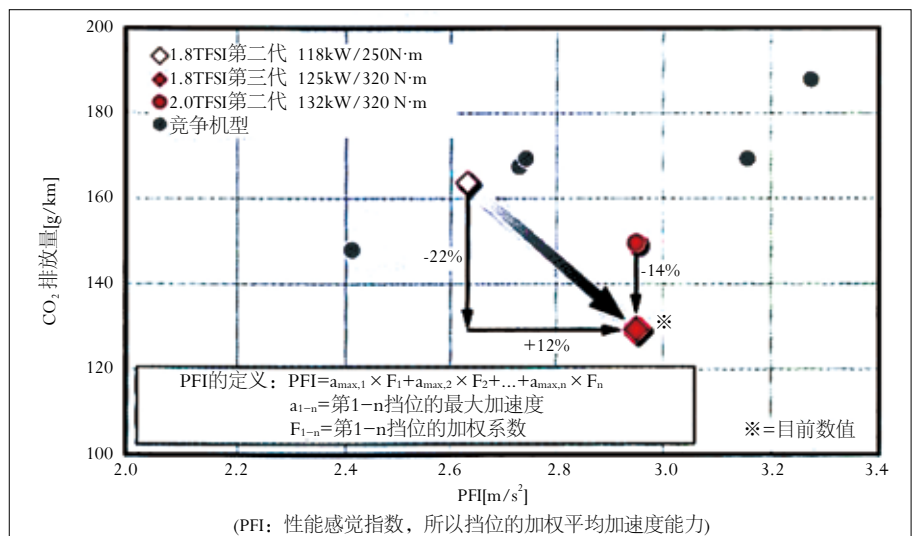


图37 CO₂排放与加速性的比较

机”。这里所介绍的第三代1.8L-TFSI汽油机为开发出更多的机型以及更进一步提升功率和扭矩奠定了基础。这种汽油机通过持续不断的改进,在已经非常优秀的EA888汽油机系列第二代机型的基础上再次取得了显著的进步,从而确立了在竞争机型领域内的领先地位,因此最新一代1.8L-TFSI汽油机是奥迪公司实施发动机小型化和降低转速策略中的又一个里程碑。EA888汽油机系列的所有性能之所以能获得如此显著的改善,是应用了以下技术措施: ①持续不断地降低摩擦率,并在所有功能部件中应用轻量化结构; ②汽缸盖集成了整体式废气冷却功能; ③排气侧Audi valvelif系统与进排气凸轮轴

相位调节器组合应用; ④创新的热管理及其全电子控制冷却液调节; ⑤200bar高压喷射FSI与MPI组合的双喷油系统; ⑥新开发的紧凑型涡轮增压器模块,采用铸钢涡轮壳体、电动废气放气阀和涡轮前氧传感器。

第三代机型具有最好的装备,能满足在全世界所有市场上应用的高要求。为了能覆盖大众集团内尽可能多的车型,至今在中国、墨西哥、匈牙利三个国家生产EA888系列汽油机。这种第三代机型已于2011年在匈牙利Győr的奥迪发动机厂投产,继而将在墨西哥和中国开始生产,而Győr发动机厂是世界上最大的发动机生产厂,也是EA888系列汽油机所有新投产厂家的主导工厂。(全文完)