

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2代奥迪(Audi)A3和A4轿车开发了一种新型横置式2.0L-4V-FSI分层直接喷射汽油机,除了将发动机功率由92kW增加到110kW使汽车的动力性得到了显著提高外,还使汽车燃油消耗降低了大约1L/100km,同时更加舒适,并达到了当时欧洲实施的欧IV废气排放标准。

这种采用汽油分层直接喷射(FSI)技术的直列4缸4气门汽油机成功地解决了传统汽车在功率、舒适性和燃油消耗之间的目标冲突,表明汽油分层直接喷射技术始终是提高汽油机燃烧效率潜力最大的一种技术措施。

2004年,大众公司在这种EA113汽油机系列平台基础上又开发出了世界上第一台涡轮增压缸内直接喷射2.0L-TFSI汽油机,功率为195kW,扭矩为350Nm。

2010年,为了给奥迪运动型轿车配备动力性能更好的汽油发动机,又将上述涡轮增压2.0L-TFSI燃油分层直喷式汽油机的燃油过程移植到奥迪直列5缸自然吸气2.5L-MPI多点气门口喷射汽油机上,成功地开发出了功率250kW,扭矩450Nm的2.5L-TFSI增压燃油分层直喷式汽油机。本文将详细介绍4缸自然吸气2.0L-FSI燃油分层直喷式汽油机和5缸涡轮增压2.5L-TFSI燃油分层直喷式汽油机。

## 大众公司EA113系列 2.0L-FSI燃油分层直喷式汽油机详解(三)

◆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,曾任中国第一汽车集团公司无锡研究所发动机研究室主任、湖南奔腾动力科技有限公司轿车柴油机项目部总工程师、无锡柴油机厂高级技术顾问和多所高校客座教授。

(接上期)

博世公司开发的新型连续变化式氧传感器( $\lambda$ 传感器)是第一次在汽油机上应用。这种LSU4.9型氧传感器应用了一种“基准泵电流”,因此对基准空气“中毒”现象并不敏感。借助于电控单元中新开发的控制功能模块能够调节这种氧传感器的温度,其中的测量元件被加热到恒定的780°C。与现在使用的温度控制相比,这种氧传感器的信号精度得到了明显的改善。在发动机倒拖断油阶段,这种氧传感器在其稀薄测量范围内进行特性曲线匹配,因此能够满足专门用于均质稀薄运行的信号所提出的较高要求。

图16示出了发动机电控系统的整套传感器和执行器。

大众公司已成功开发用于存储式NO<sub>x</sub>催化转化器的调节功能。这种存储式NO<sub>x</sub>催化转化器只能在一定的温度窗口内工作,但是大众公司成功开发的专利功能可以改变这种限制,因此能够消除这种部件的误差,并利用到最大的NO<sub>x</sub>存储能力,从而减少了存储式NO<sub>x</sub>催化转化器必须再生的次数,因而有助于降低燃油消耗。

在分层运行的直接喷射汽油机上组合应用均质燃烧过程,既可以使存储式NO<sub>x</sub>催化转化器获得良好的

加热特性,又能够降低HC排放,发动机运转稳定性也较好。

MED9.5.10型电控单元应用了一种新型的数字化爆燃调节功能模块,从而在确定滤波频率时获得更大的自由度,进一步改善了双爆燃传感器方案的爆燃识别品质。

在实际使用中特别关注前置催化转化器的热负荷。为了使全负荷时降低零件温度所要求的加浓量尽量小,应尽可能充分利用前置催化转化器所允许的温度范围。一般来说,高的稳态温度不至于损坏前置催化转化器,特别是瞬态过渡过程的温度峰值。让汽车在动态试验台上按照事先输入的行驶模式运行,并用专用摄像机观测催化转化器进口侧和出口侧在瞬态过渡过程中的温度变化情况,能够检测到催化转化器局部最热的部位或短时间温度的上升,从而能够在试验台上直接找到降低催化转化器热负荷的措施,并证实其实际使用效果。

综上所述,该发动机主要以4种模式运行(见图17):①有EGR的分层稀薄燃烧;②无EGR的均质稀薄燃烧;③有EGR的 $\lambda=1$ 的均质燃烧;④无EGR的 $\lambda \leq 1$ 的均质燃烧。

基于扭矩的发动机控制使得运转模式的转换在驾

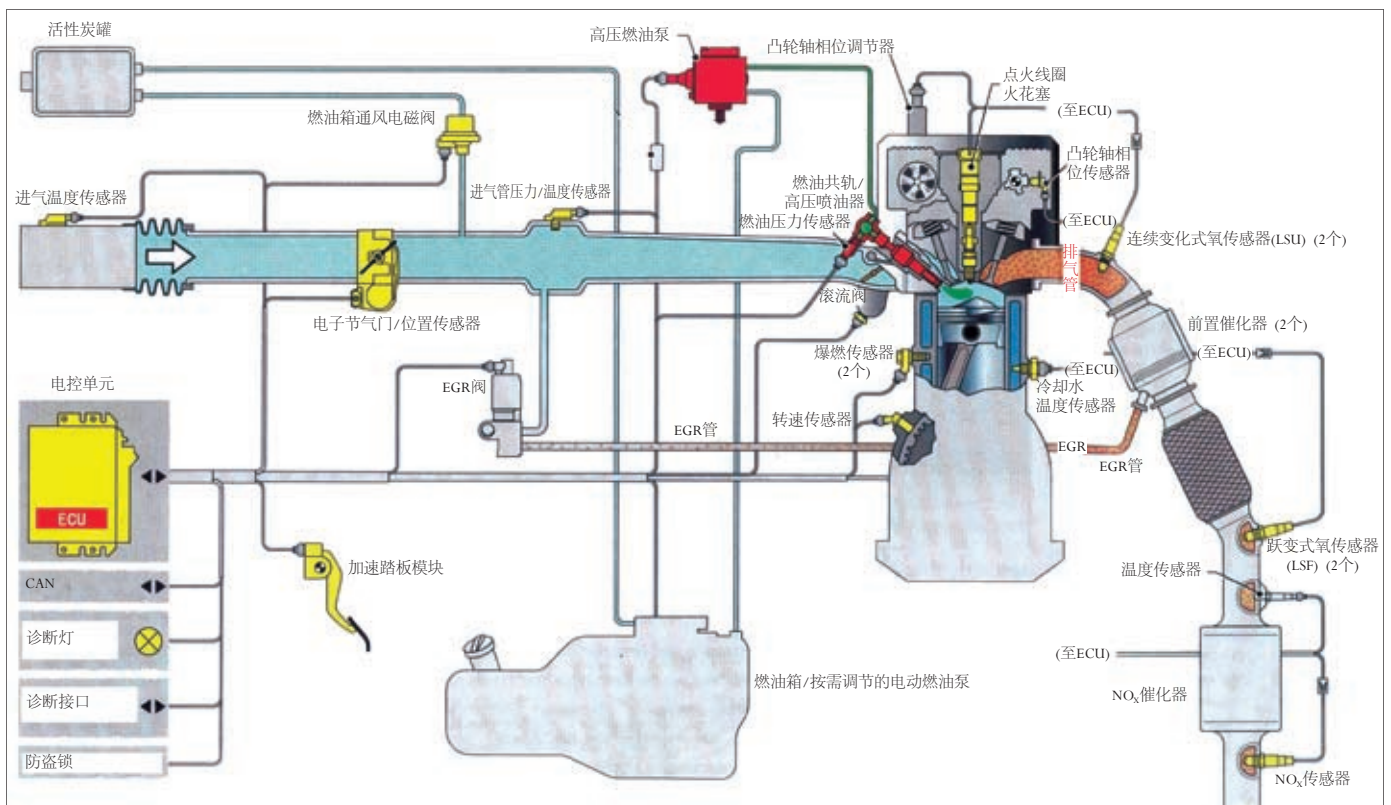


图16 发动机电子控制系统的传感器和执行器

驾驶员察觉不到的情况下就实现了。实施运转模式的选择首先取决于燃烧过程的稳定性和燃油消耗，而在稀薄燃烧运转时，还必须评估当时的NO<sub>x</sub>质量流量。由于存储式NO<sub>x</sub>催化转化器的每次再生阶段代表着燃油消耗的提高，因此即使分层稀薄燃烧运转的油耗要比均质稀薄燃烧运转的低，但是在某些运转工况点可能均质稀薄燃烧运转模式要比分层稀薄燃烧运转模式更为有利。

## 12. 废气后处理方案

废气后处理装置包括两个集成在排气

管上的金属载体前置催化转化器和一个位于汽车地板下的存储式NO<sub>x</sub>催化转化器。

当今的存储式NO<sub>x</sub>催化转化器只能在一个窄的温度窗口内工作，而且其允许的最高温度要比传统的三元催化器低。因此，在设计汽车地板时，一开始就要考虑到使存储式NO<sub>x</sub>催化转化器尽可能远离发动机。无论是排气管-前置催化转化器模块的温度还是存储式NO<sub>x</sub>催化转化器的温度都应该处于接近优化的范围内，这样就能够取消诸如管子隔热甚至可调式废气冷却器等附加的冷

却措施。

在前置催化转化器的前面各有一个连续变化式氧传感器，而在后面各有一个跃变式氧传感器。为了控制存储式NO<sub>x</sub>催化转化器的再生，在其后面装有一个通过CAN总线与发动机电控单元相连的NO<sub>x</sub>传感器，这与奥迪A4轿车汽油机上的结构相同。另外，在存储式NO<sub>x</sub>催化转化器前面还装有一个温度传感器，这样就构成了排气系统的整套传感器(见图18)。通过测定前置催化转化器吸收氧的能力来对其进行诊断，

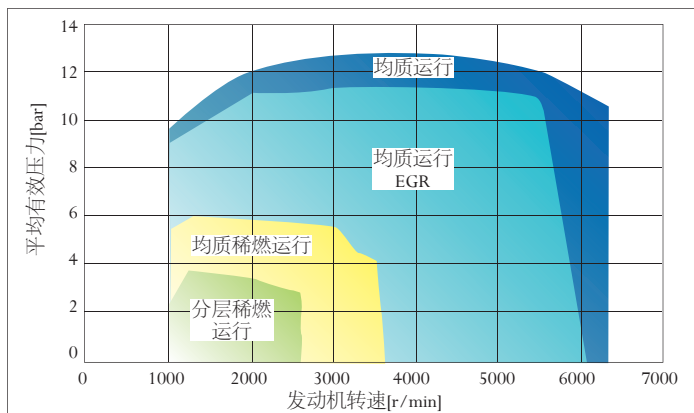


图17 发动机特性曲线场的运转模式



图18 排气及废气后处理系统

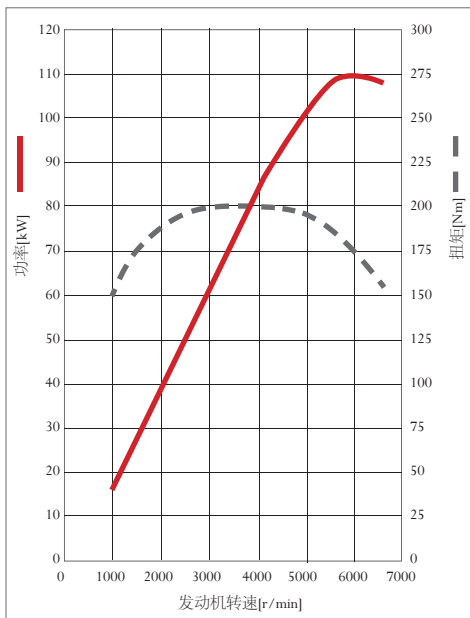


图19 功率和扭矩特性曲线

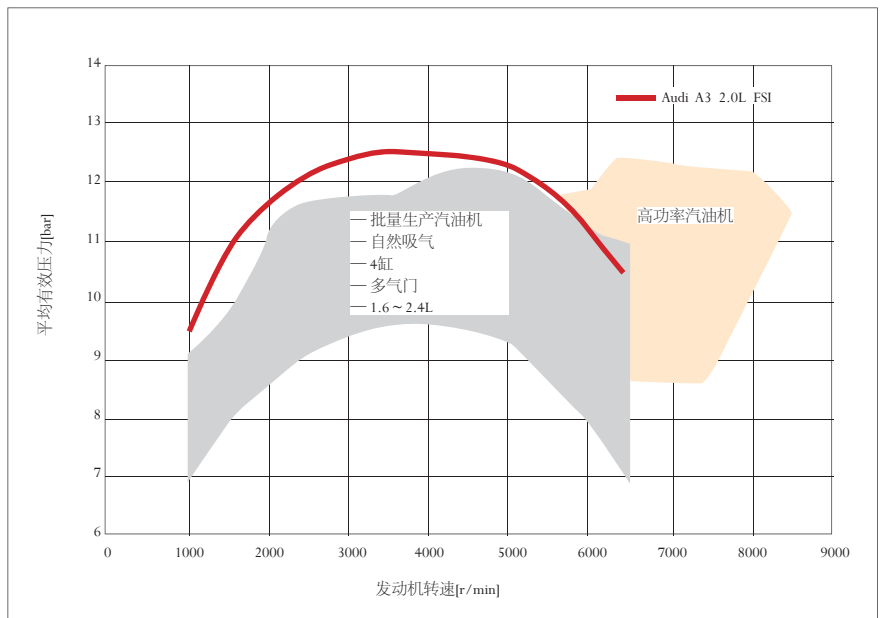


图20 平均有效压力曲线和同类型汽油机分布带

为此可有针对性地实施加浓/变稀的突变，再由前置催化转化器后面的跃变式氧传感器测出此时前置催化转化器吸收氧的能力。串联的存储式NOx催化转化器也具有三元催化功能，同样能够阻止有害物成分的通过。这种方案还能够诊断出未来更低排放的在线诊断限值。

### 13. 功率和扭矩

图19示出了2.0L-FSI汽油机的功率和扭矩特性曲线，在同类竞争机型中处于领先地位。最大平均有效压力为1.267MPa(见图20)。值得一提的是，在低转速范围内具有高的扭矩，在转速2000r/min时，扭矩达到了188Nm。

### 14. 燃油消耗

在新型奥迪A3轿车上，2.0L-FSI汽油机与同样也是新开发的MQ250系列6挡变速器组合。这种变速器的设计选择在5挡时达到最高车速，而6挡的行驶范围设计得适当宽一些，由于其具有较好的灵活性，因此非常适合作为行驶挡，无须频繁地换低挡位。但是，选用如此设计的6挡变速器，在废气排放试验循环中，因为试验中指定挡位，所以会对燃油消耗有些不利影响。

图21和图22分别示出了传统的5挡变速器和这种6挡变速器在发动机转速为

1000r/min时各挡位车速(V/1000)的比较，以及在机动车排放组合试验循环(MVEG)中的累计燃油消耗量的比较。

在试验中，从2挡到5挡的短暂换挡对燃油消耗有些许不利影响，但是只要在城郊行驶，车速从100km/h起就挂6挡行驶(参见图22中的挡位曲线)，这种不利影响不再需要补偿，与5挡变速器相比，这种6挡变速器在试验循环中的燃油消耗也就大约只差0.2L/100km。然而，在用户的实际行驶中，这种6挡变速器却明显起到了有利的作用，因为驾驶员总是倾向于挂高一挡，因此行驶起来反而省油。虽然从技术上看设计似乎有缺憾，但是MVEG行驶试验循环的燃油消耗只有6.9L/100km，达到了该车型等级的最佳值，这充分显示出了FSI技术的魅力。

## 二、涡轮增压2.5L-TFSI燃油分层直喷式汽油机

奥迪轿车搭载直列5缸涡轮增压发动机具有很久的历史。2010年，为了给奥迪运动型轿车配备动力性能更好的汽油发动机，将涡轮增压2.0L-TFSI燃油分层直喷式汽油机的燃油过程移植到奥迪直列5缸自然吸气2.5L-MPI多点气门口喷射汽油机上，成功地开发出了2.5L-TFSI增压燃油分层直

喷式汽油机。将缸内分层直接喷射与涡轮增压结合起来，2.5L排量的发动机就能达到250kW(5400~6500r/min)的功率和450Nm(1600r/min)的扭矩。在奥迪轿车上，这样的发动机动力指标与优化匹配的6挡手动变速器相结合，能够在适当的燃油消耗下，使其加速性和动力性指标达到运动型车

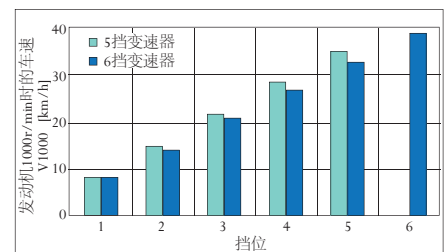


图21 5挡和6挡变速器在发动机1000r/min时车速的比较

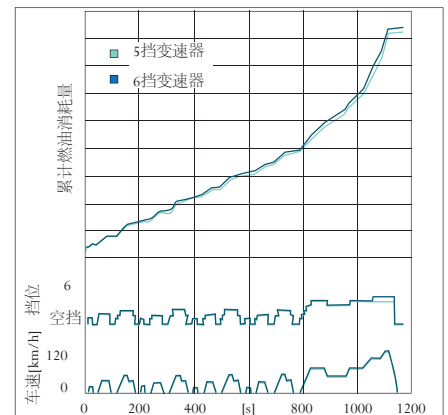


图22 5挡和6挡变速器在MVEG行驶试验循环中的计算累积燃油消耗量



型的水平。差不多相隔20年后, 奥迪轿车搭载的汽油机品种又增加了一种新型的直列5缸汽油机, 它被搭载于奥迪TT RS型轿车上。在奥迪汽车历史上早已报道过5缸汽油机的结构型式, 从Urquattro型一直到奥迪quattro S1运动型汽车以及IMSAGTO型汽车都装备了5缸涡轮增压发动机。

### 1. 开发目标和主要技术参数

该机型的开发目标是: ①在奥迪最小的运动型汽车中, 使TT RS车型的功率达到250kW; ②因TT车型中的发动机横置, 所以应采用紧凑的发动机-变速器总成; ③尽可能通用自然吸气125kW的2.5L-MPI多点气门口喷射汽油机的基础总成和奥迪发动机的标准部件; ④低转速时扭矩提升迅速, 在高转速范围内具有高的升功率。

表4列出了该机型最主要的尺寸和特性数据, 并与搭载于奥迪TTS车型的直列4缸R4-2.0L-TFSI增压燃油分层直喷式汽油机和搭载于大众捷达轿车的直列5缸R5-2.5L-

MPI多点气门口喷射汽油机进行对照。图23和图24分布示出了该机型搭载于奥迪TT-RS型轿车的总体局部剖视图及纵剖视图。

### 2. 发动机简介

超过4个汽缸的直列-横置式发动机必须设计得较短, 以便将发动机-变速器总成安装在车辆前部的纵梁之间。奥迪直列式汽油机具有传统88mm的缸心距, 如果能将两级配气正时链传动与皮带传动分开布置的话, 那么发动机的长度还能进一步缩短。2004年以来, 在北美市场上非常成功的自然吸气直列5缸R5-2.5L-MPI多点气门口喷射汽油机就具有这些特点。若横置式汽油机采用增压的方式, 则还要在汽车长度方向上布置废气涡轮增压器、增压空气管路和增压空气冷却器。图24示出该机型的长度为494mm, 与目前市场上现有的发动机机型(包括普通汽油机和TDI增压直喷式柴油机)相比, 奥迪R5-2.5L-TFSI直喷式汽油机是最紧凑的, 而且功率是最大的。

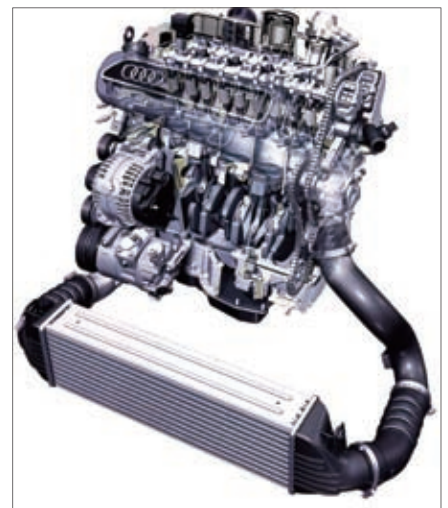


图23 Audi-TT-RS轿车用5缸2.5L-TFSI直喷式汽油机剖视图

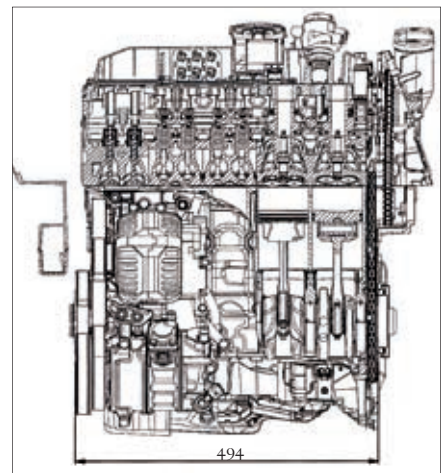


图24 发动机纵剖视图

发动机的长度主要取决于汽缸体曲轴箱的设计和外形尺寸。通过缩小连杆厚度和主轴承宽度能够将最外侧的两个主轴承移向发动机内侧, 因此能将变速器一侧的正时链条传动以及发动机前端的曲轴密封法兰和扭转减震器布置在冷却水套下面, 这样就能节省轴向长度而使结构设计得非常紧凑。

基于强度的原因, 涡轮增压发动机轴承载宽度的缩小已达到物理极限, 并且不得不采用高强度材料来予以补偿。出于这个原因, 选用了拉伸强度为450N/mm<sup>2</sup>的蠕墨铸铁(GJV)作为汽缸体曲轴箱的制作材料。自1999年以来, 奥迪公司就已将这种材料用于V6和V8-TDI柴油机的汽缸体曲轴箱, 而在高转速(6800r/min)增压直喷式汽油机上已达到了新的境界。(未完待续)

表4 发动机的主要尺寸和特性数据

	单位	R5 2.5L TFSI 250kW	R4 2.0L TFSI 195kW	R5 2.5L MPI 125kW
排量	cm <sup>3</sup>	2480	1984	2480
行程	mm	92.8	92.8	92.8
缸径	mm	82.5	82.5	82.5
行程/缸径比	-	1.12	1.12	1.12
缸心距	mm	88	88	88
汽缸体高度	mm	220	220	220
连杆长度	mm	144	144	144
曲轴轴承数	-	6	5	6
主轴承直径	mm	58	54	58
连杆轴承直径	mm	47.8	47.8	47.8
气门直径	-			
进气门	mm	33.85	33.85	32.35
排气门	mm	28	28	28
气门升程	-			
进气门	mm	10.7	10.7	10.7
排气门	mm	10	10	10
气门定时(在1mm气门升程时)	-			
进气门开	° 曲轴转角(上止点后)	28	28	28
进气门关	° 曲轴转角(下止点后)	38	38	38
排气门开	° 曲轴转角(下止点前)	83	38	28
排气门关	° 曲轴转角(上止点前)	23	8	8
进气凸轮轴相位调节范围	° 曲轴转角	42	42	42
排气凸轮轴相位调节范围	° 曲轴转角	42	-	-
压缩比	-	10	9.8	9.3
功率	kW( r/min)	250(5400~6700)	195(6000)	125(5800)
扭矩	Nm(r/min)	450(1600~5300)	350(2500~5000)	230(3500~4500)
汽油牌号	ROZ	98/95	98/95	98/95
机油首次加注量	L	7	5.3	6.6
重量	kg	183	153	164
达到的废气排放标准	-	欧V	欧IV	欧IV/ULEV