

车闻天下（第 23 期）—— 增压发动机介绍

本期引言：

随着汽车发动机小型化、节能化的趋势越来越凸显，增压技术成为了市场的宠儿，主流车型纷纷加入增压发动机大军，为此本期车闻天下我们将为大家奉上增压发动机的介绍，内容包括增压发动机的概述、分类、构造、关键零部件、市场容量、竞争格局及相关上市公司，并且为大家对比了增压发动机和非增压发动机之间的异同。希望借此专题能让大家对增压发动机这个技术有一个总体的认识，并能解答大家心中对该技术的部分问题。



增压技术的历史

汽车发动机是靠燃料在发动机汽缸内燃烧做功而对外输出功率。在发动机排量一定的情况下，要提高输出功率，最有效的方法就是提供更多燃料燃烧，但传统发动机进气系统却难以提供充足的空气。增压技术是一种提高发动机的进气能力的技术，它采用专门的压气机将气体预先压缩再输入汽缸，这样，气体的质量将大大增加。一台发动机装上涡轮增压器后，其最大功率可提高大约 40%。

说到增压技术，其实它已经有 100 多年历史了。早在 1905 年 Alfred Buchi 博士就申请了第一款增压器的专利——动力驱动的轴向增压器。世界上第一台废气驱动的增压器问世于 1912 年，而增压器的规模化生产出现在二战时期，由美国首先将其运用在军用飞机上。Saab 则是第一家把增压器应用到汽车产品上的汽车制造商。

到了 1961 年，小轿车开始试探性地安装增压器，但因为瞬间产生的巨大压力和热量，使安装后效果并不理想。而来自于北欧瑞典的 Saab 萨博公司则是第一家把增压器应用到汽车产品上的汽车制造商，1977 年问世的 Saab 萨博 99 汽车，使汽车发动机在应用增压技术上，真正开始走向成熟，它的到来同时宣告了汽车产业一个新时代的诞生。增压技术改写了“排量大小决定功率”的传统概念。

而目前，走在增压技术前沿的毫无疑问是德国人，特别是大众汽车，始终引领着全球直喷增压技术的发展，旗下性能强大的涡轮增压发动机覆盖了从 Polo 到 CC 等的众多车型，从而大幅改善旗下车型的动力性和燃油经济性。以 1.4TSI 双增压发动机为例，其输出功率高达 110 千瓦/150 马力，而它的每百公里油耗却仅为 7.2 升。2010 年 6 月 29 日，该发动机赢得了“年度最佳发动机”这一被众多汽车厂商竞相追逐的大奖，这也是大众汽车第十次将这一殊荣带回沃尔夫斯堡。同时该发动机还赢得了此次评选的最大奖项，“全球年度最佳发动机”。

图 1：大众 1.4TSI 发动机



资料来源：百度图片

增压发动机概况

增压技术其实就是将空气预先压缩然后再供入汽缸，以期提高空气密度、增加进气量的一项技术。由于进气量增加，可相应地增加循环供油量，从而可以增加发动机功率。

众所周知发动机是靠燃料在汽缸内燃烧做功来产生功率的，由于输入的燃料量受到吸入汽缸内空气量的限制，因此发动机所产生的功率也会受到限制，如果发动机的运行性能已处于最佳状态，再增加输出功率只能通过压缩更多的空气进入汽缸来增加燃料量，从而提高燃烧做功能力。因此在目前的技术条件下，增压器是惟一能使发动机在工作效率不变的情况下增加输出功率的机械装置。

我们平常所说的增压装置其实就是一种空气压缩机，通过压缩空气来增加发动机的进气量，一般来说，涡轮增压都是利用发动机排出的废气惯性冲力来推动涡轮室内的涡轮，涡轮又带动同轴的叶轮，叶轮压送由空气滤清器管道送来的空气，使之增压进入汽缸。当发动机转速增快，废气排出速度与涡轮转速也同步增快，叶轮就压缩更多的空气进入汽缸，空气的压力和密度增大可以燃烧更多的燃料，相应增加燃料量和调整一下发动机的转速，就可以增加发动机的输出功率了。

大家可能会觉得涡轮增压装置非常复杂，其实并不复杂，涡轮增压装置主要是由涡轮室和增压器组成。首先是涡轮室的进气口与发动机排气歧管相连，排气口则接在排气管上。然后增压器的进气口与空气滤清器管道相连，排气口接在进气歧管上，最后涡轮和叶轮分别装在涡轮室和增压器内，二者同轴刚性联接。这样一个整体的涡轮增压装置就做好。

图 2：增压发动机结构图



资料来源：百度图片

增压发动机的分类

增压发动机主要分为机械增压、废气涡轮增压、气波增压和复合增压四类，其中最主流的技术是机械增压和废气涡轮增压发动机。

1、机械增压系统（Supercharger，常缩写为 S）：该装置安装在发动机上并由皮带与发动机曲轴相连接，从发动机输出轴获得动力来驱动增压器的转子旋转，从而将空气增压吹到进气歧道里。其优点是涡轮转速和发动机相同，因此没有滞后现象，动力输出非常流畅。但是由于装在发动机转动轴里面，因此还是消耗了部分动力，增压出来的效果并不高。

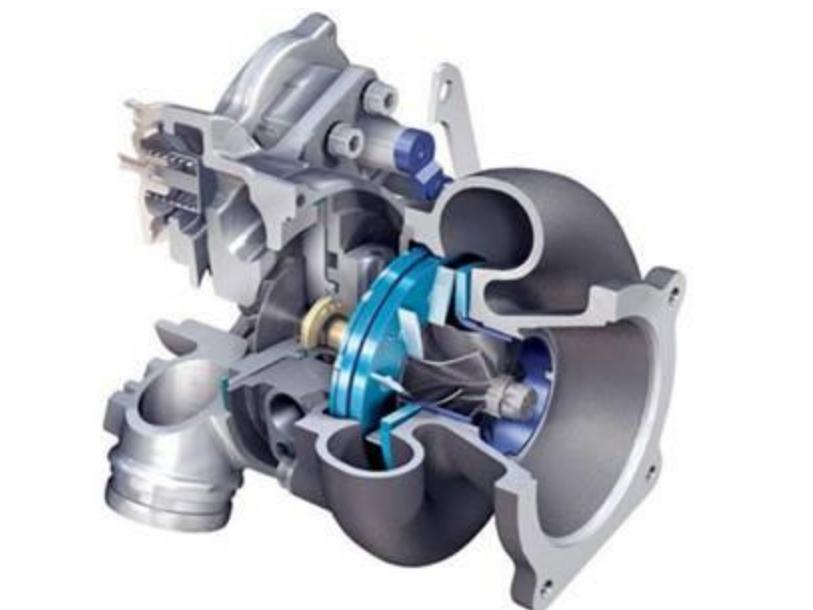
图 3：机械增压器结构图



资料来源：百度图片

2、废气涡轮增压系统（Turbocharger，常缩写为 T）：这就是我们平时最常见的涡轮增压装置了，增压器与发动机无任何机械联系，实际上是一种空气压缩机，通过压缩空气来增加进气量。它是利用发动机排出的废气惯性冲力来推动涡轮室内的涡轮，涡轮又带动同轴的叶轮，叶轮压送由空气滤清器管道送来的空气，使之增压进入气缸。当发动机转速增快，废气排出速度与涡轮转速也同步增快，叶轮就压缩更多的空气进入气缸，空气的压力和密度增大可以燃烧更多的燃料，相应增加燃料量就可以增加发动机的输出功率。一般而言，加装废气涡轮增压器后的发动机功率及扭矩要增大 20%—30%。但是废气涡轮增压器技术也有其必须注意的地方，那就是泵轮和涡轮由一根轴相连，也就是转子，发动机排出的废气驱动泵轮，泵轮带动涡轮旋转，涡轮转动后给进气系统增压。增压器安装在发动机的排气一侧，所以增压器的工作温度很高，而且增压器在工作时转子的转速非常高，可达到每分钟十几万转，如此高的转速和温度使得常见的机械滚针或滚珠轴承无法为转子工作，因此涡轮增压器普遍采用全浮动轴承，由机油来进行润滑，还有冷却液为增压器进行冷却。

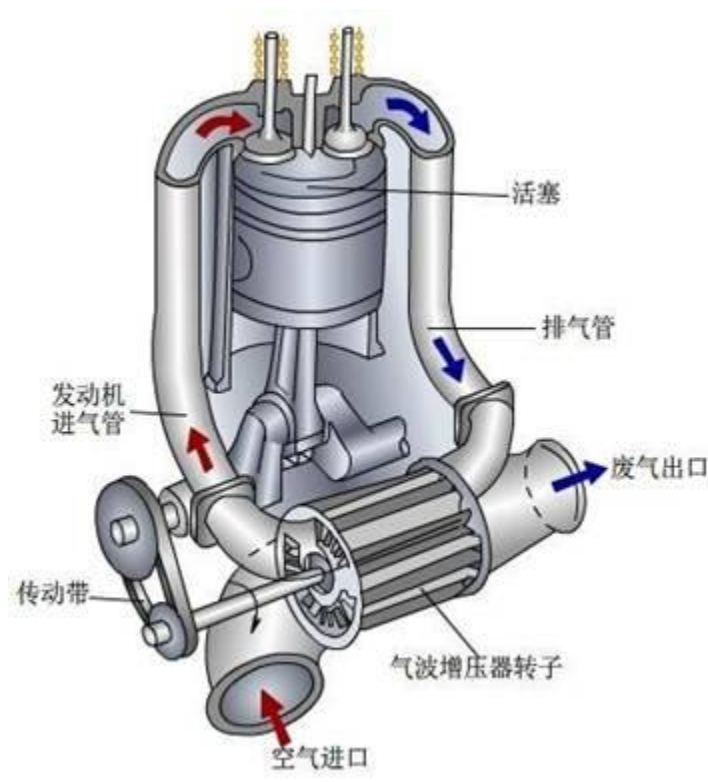
图 4：涡轮增压器结构图



资料来源：百度图片

3、气波增压系统：利用高压废气的脉冲气波迫使空气压缩。这种系统增压性能好、加速性好但是整个装置比较笨重，不太适合安装在体积较小的轿车里面。

图 5：气波增压器结构图



资料来源：百度图片

4、复合增压系统：即废气涡轮增压和机械增压并用，这种装置在大功率柴油机上采用比较多，其发动机输出功率大、燃油消耗率低、噪声小，只是结构太复杂，技术含量高，维修保养不容易，因此很难普及。

涡轮增压发动机

提到发动机提升动力，首先想到的就是涡轮增压（一般在发动机排量后用 T 来表示）。加一个涡轮，民用车上的涡轮可以将进气压力提升至 0.5-1bar，将动力大幅度甚至成倍的提升，这个诱惑力很大。而赛车上的涡轮增压值则更高，可以几倍提升原始排量发动机的动力。

涡轮增压最大亮点即是将尾气动力充分利用，在做功行程之后，发动机排出的尾气仍有一定动能和热量，直接排出未免有些浪费，涡轮增压器正好可以吸收这部分能量，以弥补进气时的“泵气损失”。而且尾气在经过涡轮之后，温度会有一定幅度下降，这不单纯是将内能传递给涡轮，很大程度是将内能向动能转化的过程，这就进一步利用了燃油产生的能量，优化了能耗，因此涡轮增压发动机最直接的优势就是增加了同排量发动机的功率、扭矩等各个关键指标，从而也提高了燃油经济性和减少了排放。

表 1：高尔夫 1.4TSI 与朗逸 2.0L 自然吸气发动机对比

| | 高尔夫 2011 款 1.4TSI 自动舒适型 | 朗逸 2011 款 2.0L 自动品悠版 |
|-------------|-------------------------|----------------------|
| 厂商指导价 | 14.98 万 | 12.88 万 |
| 发动机型号 | EA111 | EA113 |
| 排量(mL) | 1390 | 1984 |
| 进气形式 | 涡轮增压 | 自然吸气 |
| 最大马力(Ps) | 131 | 120 |
| 最大功率(kW) | 96 | 88 |
| 最大功率转速(rpm) | 5000 | 5000 |
| 最大扭矩(N·m) | 220 | 180 |
| 最大扭矩转速(rpm) | 1750-3500 | 3750 |
| 供油方式 | 直喷 | 多点电喷 |

资料来源：汽车之家

我们以大众典型涡轮增压 1.4T 发动机和自然吸气 2.0L 发动机的对比(如表 1)可以发现，虽然 1.4T 发动机的排量远小于 2.0L 的发动机，但其表现却要明显优于 2.0L 发动机：1.4T 的最大马力为 131Ps，高于 2.0L 发动机的 120Ps；1.4T 的最大功率为 96kW，高于 2.0L 发动机的 88kW；1.4T 的最大扭矩为 220N·m，同样也高于 2.0L 发动机的 180 N·m，而且 2.0L 发动机的最大扭矩仅能在 3750 转左右输出，而 1.4T 发动机则可以在 1750-3500 转的广泛转速范围内实现。无疑，无论是动力性、燃油经济性还是排放表现，涡轮增压发动机均要远优于自然吸气发动机。

然而，涡轮增压发动机也有自己的缺点。涡轮增压发动机上，涡轮不是始终运转的，在低速时，涡轮不介入，相当于相同排量的自然吸气发动机（甚至更低一些，因为压缩比降低了）。而在 1500-2000 转速时才开始介入，强大扭矩随即输出，所以在 2000-3000 转时就会得到最大扭矩，相当于排量增加，此时发动机才会很“有劲儿”。正因为涡轮不是一直在工作，所以有无涡轮，发动机是两个性格的，尤其是在低转速加速时，不会立即得到最大动力，而是经过短暂的转速提升后，涡轮介入，才会动力陡增，显得很突兀，会让人觉得不是很舒服。由于转子的惯性作用，叶轮对油门的骤时变化反应还是迟缓。从大脚油门希望立即提速，到叶轮高速转动将更多空气压进发动机之间，存在一个时间差，而且这个时间还不短。一般经过改良的涡轮也要至少 2 秒左右来增加或者减少进气的压力。如果要突然加速的话，瞬间会有提不上速度的感觉。这就是涡轮增压发动机的一大通病——“涡轮迟滞”，即动力输出反应滞后，这在早期涡轮增压发动机，以及采用了大号涡轮的赛车、改装车上非常明显。

此外涡轮增压器的工作环境可以用“水深火热”来形容。发动机排出的尾气有 700-900℃，不假思索，全部吹到涡轮上，而另一端压气涡轮那边也不容乐观，每分钟十几万甚至更高的转速的涡轮强烈搅动空气，除将空气压缩而产生的热量之外，空气摩擦产生的热也不容小觑，加上另一边废气的热量，整个涡轮的温度都非常高，而且因为这种六位数的转速，涡轮轴承不同于一般滚珠轴承而采用在润滑油中浮动的行驶，如果没有良好的散热和润滑，涡轮很快就会损坏。因此，涡轮增压发动机还有维护保养方面的问题，以宝来的 1.8T 为例，一般 6 万公里左右就要更换涡轮了。当然，配备涡轮增压发动机的汽车要比同级别的自然吸气的汽车要贵出几万块钱，较高的成本也是其缺点之一。

机械增压发动机

同涡轮增压一样，机械增压（一般在发动机排量后用 S 来表示）也是通过增加发动机的进气量而提升引擎的动力。不过没有涡轮增压那么暴躁，是一种很稳健的力量。

机械增压的压气机通过皮带轮直接取动力自发动机，也就是说只要发动机一启动，机械增压就在运转，只要车辆开始前进，驱动车辆的就是已经被机械增压增强了的动力，此时的发动机，相当于扩大了排量，在低速时，机械增压比涡轮增压有更好的表现。而且动力提升幅度，是和节气门的开度同步的，不会像涡轮增压一样，有个明显的发力点。这就可以通过油门精确地控制车速，在操控表现上机械增压更占优势。

由于机械增压器没有排气的事儿，所以工作环境温度不高，也没有高速涡轮形成的扰流，增压后的空气温度也不高。而且压气机最高转速仅为 20000-30000 转，且没有太高的温度，所以对润滑和冷却也没有太高的要求，工况也就更稳定。

图 6：机械增压器



资料来源：百度图片

当然，相比自然吸气的发动机，其优势还是一样明显，从表 2 奇瑞瑞虎 1.6S 和自然吸气的 2.0 发动机的对比中一目了然：虽然 1.6S 发动机的排量远小于 2.0 的发动机，但 1.6S 的最大马力为 150Ps，高于 2.0 自然吸气发动机的 139Ps；1.6S 的最大功率为 110kW，高于 2.0 自然吸气发动机的 102kW；1.6S 的最大扭矩为 205N·m，同样也高于 2.0 自然吸气发动机的 182 N·m，而且 2.0L 发动机的最大扭矩仅能在 4300-4500 转输出，但 1.6S 发动机则可以在 3500-4500 转的更广泛的转速范围内实现。无疑，无论是动力性、燃油经济性还是排放表现，机械增压发动机同样也均要远优于自然吸气发动机。

表 1：瑞虎 1.6S 与瑞虎 2.0L 发动机对比

| | 瑞虎 2010 款 精英版 1.6S MT 舒适型 | 瑞虎 2009 款 经典版 2.0 MT 舒适型 |
|-------------|---------------------------|--------------------------|
| 厂商指导价 | 9.38 万 | 10.58 万 |
| 发动机型号 | ACTECO-SQR481FG | 4G63S4M |
| 排量(mL) | 1597 | 1971 |
| 进气形式 | 机械增压 | 自然吸气 |
| 最大马力(Ps) | 150 | 139 |
| 最大功率(kW) | 110 | 102 |
| 最大功率转速(rpm) | 5500 | 5750 |
| 最大扭矩(N·m) | 205 | 182 |
| 最大扭矩转速(rpm) | 3500-4500 | 4300-4500 |
| 供油方式 | 多点电喷 | 多点电喷 |

资料来源：汽车之家

不过机械增压是要消耗引擎动力的，所以从这方面看，经济性略低一些。而且单级压气机增压幅度有限，在高转速时增压的难度呈几何增加，形成瓶颈。一般机械增压器增压幅度在 0.6-1.2bar 左右，最高不过 1.5bar，而涡轮增压很容易达到 1.5bar。但这不算什么问题，使用机械增压的民用车型往往都突出平顺性而对动力的提升没有过分的要求，1bar 的增压已经足够了，很多车型都在 0.5 左右，而且机械增压只不过是为了改善进气环境充分发挥发动机性能而已。虽然浪费一些动力，但是让动力提前输出也可以将功补过，平衡油耗。

增压发动机市场竞争格局和相关公司

市场容量

增压发动机使用最为广泛的市场是欧洲，特别是欧洲的柴油车市场，由于其严格的排放法规，几乎所有的柴油发动机都安装了增压器，以满足排放的要求。而在汽油车市场，虽然普及率不及柴油车，但欧洲仍是世界上最大的涡轮增压发动机市场。

据全球领先的汽车涡轮增压器开发商霍尼韦尔公司预计，全球涡轮市场将在未来 5 年实现销量翻倍。2009 年，涡轮增压发动机全球销售共计 1700 万台，2015 年，这一数字将达到 3500 万台，其中，全球商用车涡轮增压发动机销量将从 2009 年的 350 万台增长到 600 万台。

到 2015 年，中国市场涡轮增压发动机份额将从现在的近 10% 上升到 20%。

霍尼韦尔的预测是根据所收集到的 HIS Global Insight (环球视野咨询公司)、J. D Power 和 R. L Polk 等公司的分析数据，并结合了客户预期、权威专业人士访谈所得出的。按照这个预测进行估计，到 2015 年我国的增压发动机销量（不考虑存量更新的贡献）将超过 550 万台，年复合增长率超过 25%。

目前中国已经是世界第一大汽车产销国，未来的增长更是极具潜力，并且随着国家对汽车排放标准的逐步提高，我们认为这样的增速是比较合理的，也就是说到 2015 年，每年仅增压器的市场（不考虑存量更新的贡献）就将超过 27 亿人民币。

竞争格局

目前，世界增压发动机市场中主要的参与者包括博格华纳（BorgWarner Turbo Systems GmbH）、康明斯（Cummins Turbo Technologies）、霍尼韦尔（Honeywell Turbo Technologies）、IHI 集团（IHI Corporation）和三菱重工（Mitsubishi Heavy Industries Ltd.）等。

为了能抢占这块大蛋糕，国际增压发动机巨头纷纷进入中国，以霍尼韦尔公司为例，最近就宣布了两个新的汽油涡轮增压项目，分别是：广汽—菲亚特公司和江淮汽车的小排量汽油发动机供应涡轮增压器。其中广汽采用的为 1.4 至 1.6L 发动机，江淮为 1.5L 发动机。目前，霍尼韦尔已与十多家中国汽车制造商开展联合开发项目。

而国内企业显然并不愿意将这块“肥肉”拱手让人。近期国内的汽车设备企业开始了行业整合以及加大研发力度，以应对国外巨头的冲击。

目前，在中国市场中，无锡康明斯涡轮增压技术有限公司是该领域的龙头制造商，年销量约为 40 万-50 万台。

而威孚高科通过收购宁波天力增压器公司 51%的股权，一跃成为了国内涡轮增压发动机市场第一梯队的公司。增资收购宁波天力，进一步完善了威孚高科的涡轮增压发动机产品系列。2009 年 5 月，威孚高科公司收购了英特迈机械公司 100%股权，英特迈机械公司主要生产大中型涡轮增压柴油机增压发动机，计划 2012 年达到 10 万-15 万台的市场规模。而此次增资收购宁波天力增压器有限公司 51%股权，将有望开拓中小型涡轮增压柴油机增压发动机的能力，同时，该公司正在研发汽油机涡轮增压发动机。

从产品层面来讲，随着日系品牌首款涡轮增压车型 TIIDA GTS 上市，国内车市涡轮增压之战进入新的高潮。原本德系和美系之间的“楚汉之争”，因为 TIIDA GTS 的“搅局”，演变为“三足鼎立”。

在大众凭借一台 1.8T 发动机打开了国内涡轮增压市场之后，各种“T”字头动力如雨后春笋般被快速引入中国市场。而随着涡轮增压动力优势的不断展现，车市“T”时代正式兴起，目前大众凭借着先发优势，占据涡轮增压汽车市场最大的份额。

以大众品牌为代表的德系车型中，除了桑塔纳、捷达等入门级车型之外，南北大众几乎全系车型都配备了涡轮增压发动机。同时，美系的上海通用也借助别克和雪佛兰两大品牌的新君威、科鲁兹等推出搭载涡轮增压发动机车型，福特也通过蒙迪欧致胜等打入涡轮增压车市场。

虽然日系品牌一直以出色的节油性能著称，但是，面对各项汽车政策对排量的限制，以及节能车补贴等措施的吸引，汽车厂商想要在不损失动力的情况下，进一步下探排量，涡轮增压成为应对政策的最佳选择。因此，日系车一改多年来不在国内推广涡轮增压发动机从而减少成本的做法，也开始顺应节能减排的趋势引进涡轮增压发动机。

随着增压技术的不断成熟和市场认可度的不断提升，未来无论是增压器供应市场还是整车销售市场，增压技术的竞争无疑都将越来越激烈。

主流 2.0T 发动机参数对比

最后，我们选取了市场上价格相近的三款使用主流涡轮增压发动机车型进行对比。

表 2：主流 2.0T 发动机参数对比

| | 迈腾 2011 款 2.0TSI DSG 舒适型 | 蒙迪欧-致胜 2011 款 2.0 GTDi240 至尊型 | 君威 2010 款 2.0T 豪华运动版 |
|----------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 厂商指导价 | 25.18 万 | 25.28 万 | 25.89 万 |
| 发动机排量(mL) | 1984 | 1999 | 1998 |
| 进气形式 | 涡轮增压 | 涡轮增压 | 涡轮增压 |
| 压缩比 | 9.6 | 10.1 | 9.3 |
| 最大马力(Ps) | 200 | 240 | 220 |
| 最大功率(kW) | 147 | 176.5 | 162 |
| 最大功率转速(rpm) | 5000-6000 | 6000 | 5300 |
| 最大扭矩(N·m) | 280 | 340 | 350 |
| 最大扭矩转速(rpm) | 1800-5000 | 1900-3500 | 2000-4000 |
| 发动机特有技术 | 可变相位 | - | - |
| 环保标准 | 国 IV+OBD | 国 IV | 国 IV |
| 最高车速(km/h) | 230 | 245 | 232 |
| 官方 0-100 加速(s) | 8.3 | 8.3 | 7.7 |
| 工信部综合油耗(L) | 8.3 | 7.9 | 9.6 |

资料来源：汽车之家

三款发动机参数表现较好的是蒙迪欧致胜，除了最大扭矩（340 牛米）略低于君威（350 牛米）和百公里加速时间（8.3s）也略逊于君威（7.7s）以外，其最大马力、最大功率、压缩比、最高车速和油耗的表现都是三款发动机中最好的，但蒙迪欧致胜的变速箱表现稍逊。迈腾 2.0TSI 是三款发动机中表现比较中庸的一款，但是其最大扭矩的输出转速范围是最大的，可以从 1800 转到 5000 转，同时还具有可变相位技术。君威的这款发动机动力性表现总体不错，其最大扭矩最大，百公里加速时间最短，最大功率和最高车速的表现亦可圈可点，只是油耗相对较高。