

---

# 绿色制造理念在现代轿车 发动机生产工艺中的体现与实践

上海大众动力总成有限公司 朱正德

## 轻量化已成为轿车的一种产品战略

轿车是商品化程度很高的一种工业产品，为应对、适应和满足现今对环保、节能、安全等方面越来越高的要求，执行轻量化的产品战略在国内车企已成为一种趋势。事实上，这也是与当前社会和人们所追求的“绿色”产品、“绿色”制造的理念完全相吻合的。“绿色轿车”可以走新能源、轻量化这两条不同的技术途径，显然，后者在国内外车企中的推行和取得的进展更为明显。另一方面，轻量化和绿色制造理念也推动了企业生产工艺水平的提升。

---

研究表明，汽车自重减轻10%，其燃油效率一般可提高15%，而燃油效率的提高意味着汽车的耗油量和排污量降低，由此可知减轻车辆自重是实现环保、节能等目标最有效的方法。因此，对于作为汽车最重要大总成的发动机，减轻其重量有着很大的意义。

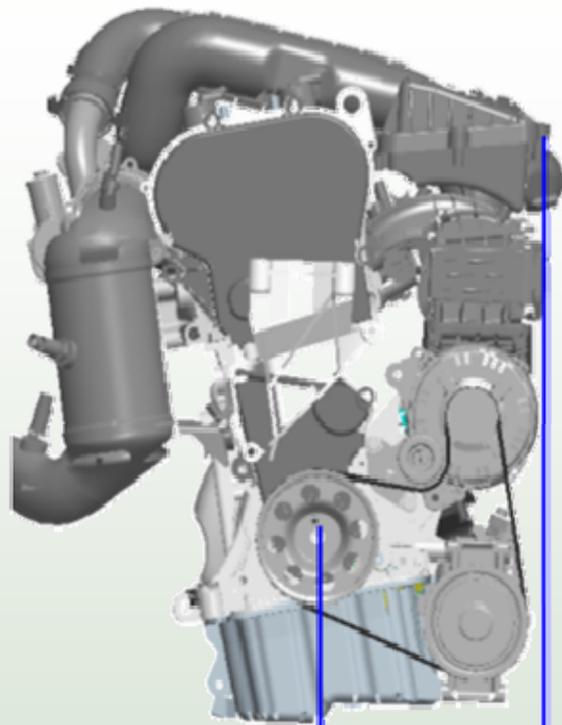
发动机的轻量化主要通过选用铝合金、镁合金、工程塑料等轻质材料作为结构材料，和对组成发动机的零件进行结构优化，及功能相近部件的集成化、模块化这样两个途径来实现。

客观地说，轿车发动机的轻量化已持续很长一段时间了，即使不少上世纪八、九十年代才批量生产的汽车企业，从其产品及发展中也都能看出。但那个时期的轻量化主要还是体现在部分零部件选用轻质材料替代传统材料方面，典型的例子就是已将铝合金较多地应用于中小排量发动机气缸盖和进气歧管等零部件的制造上。之后，进气歧管又出现了以玻纤增强尼龙一类工程塑料替代已采用多年的铝合金的趋势，而各类罩（壳）盖、油底壳等也已较多地选用了铝合金、工程塑料。尤其是自本世纪初起，国内已有不少企业，在所生产的中小排量发动机产品系列中采用了铝合金缸体。

至今，虽然在**EA888**系列中等排量及以上发动机中，仍基本上采用铸铁缸体，然而正是出于轻量化的考虑，采取了薄壁铸造技术生产的缸体。从而在确保发动机强度和性能的前提下有效地降低了重量，为降低油耗带来了直接的好处。此外，大众汽车的产品部门对发动机中任何一个可能降低重量的部件都潜心开发，比如：在**EA888**系列的**1.8TSI/2.0TSI**涡轮增压燃油直喷发动机中，即采用了一个铝合金附件支架来组合安装发电机、空调压缩机、皮带张紧器、机油滤清器等多个部件。这种设计与传统发动机每个零件都单独使用一个支架相比，大幅降低了重量，有助于油耗的降低；通过减少零件数量还降低了用户的成本，维护更换也更为方便。

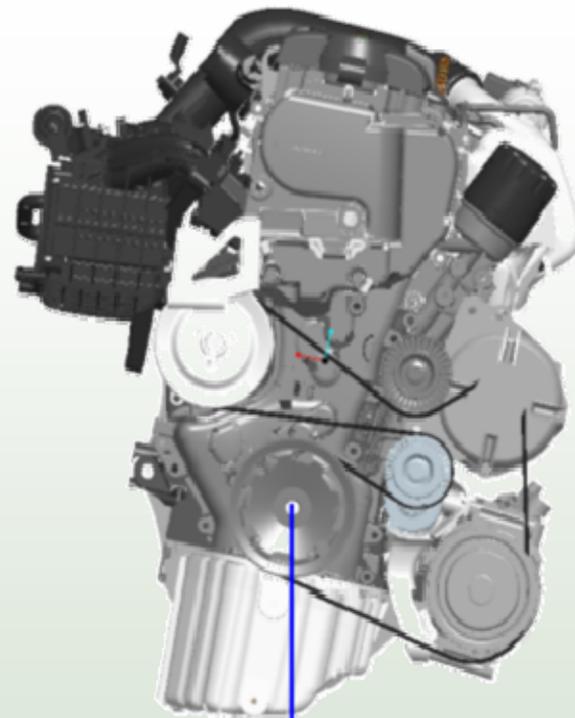
---

大众汽车的“蓝色驱动技术”项目是一系列节能、环保、面向未来的先进汽车技术的集合，而诞生于本世纪一零年代中的新一代的EA211小排量汽油发动机系列就是上述“蓝驱”项目的一个重要组成部分。由于采用了诸多新颖的发动机技术和结构上的轻量化和优化措施，EA211较之早几年的EA111在综合性能上、包括能耗、减排上都有了明显的提升，相比人们熟悉的上世纪八、九十年代大众系发动机更是不可同日而语。后图是这两个系列中的**1.4L TSI** 发动机的比较。



**EA211 TSI**

235mm



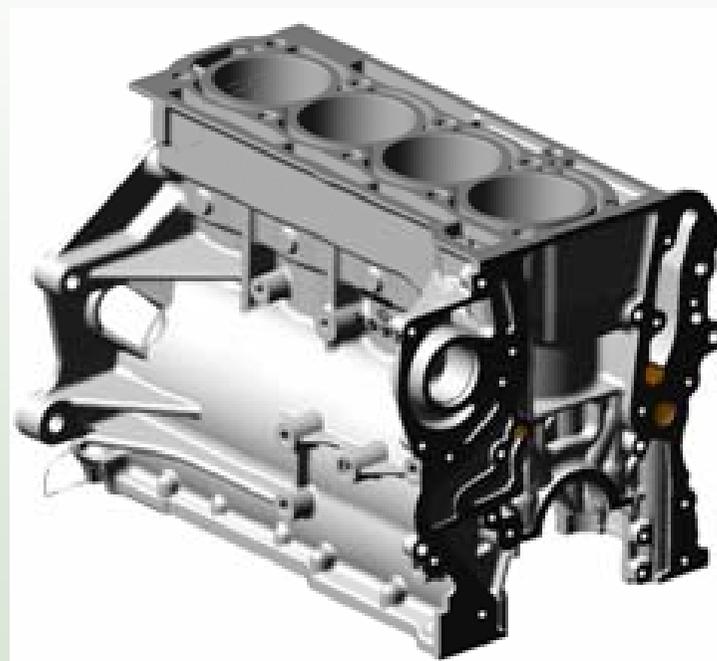
**EA111 TSI**

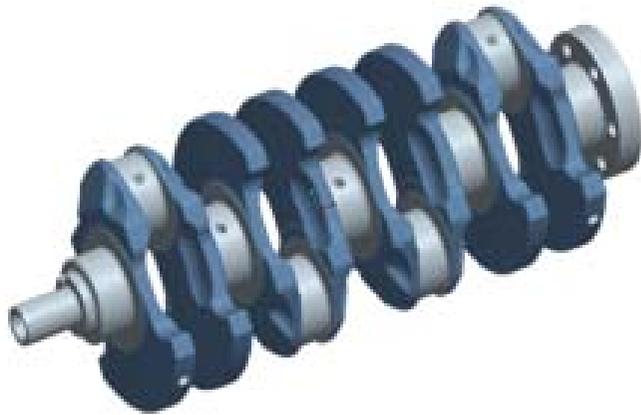
285mm

相比**EA111**，全新的**EA211**系列发动机更多地采用了如铝合金一类的轻质材料，在零部件的模块化和结构优化上也有了很大的突破，以上图所示的**1.4L TSI**为例，后者的重量整整轻了**22公斤**，即相比**EA111**减轻达**18%**，而燃油消耗也相应地下降了**8~10%**。再从两者的碳排放水平来看，**EA211**的减排效果也很明显，以有可比性的**1.6L MPI**发动机为例，每公里**CO2**的排放量可减少**10克**左右。

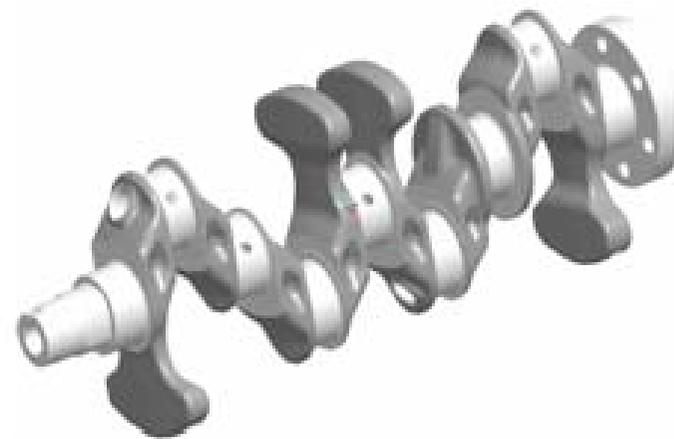
后面的几幅图分别是新系列发动机中若干种典型零件：全铝汽缸体、经结构优化后的曲轴、连杆的状况，从与之对应的**EA111**工件的对比可以看出之间的鲜明差异。

在EA211发动机系列产品中首次采用了铝合金气缸体（左下图），以替代传统的灰铸铁气缸体（右下图）。



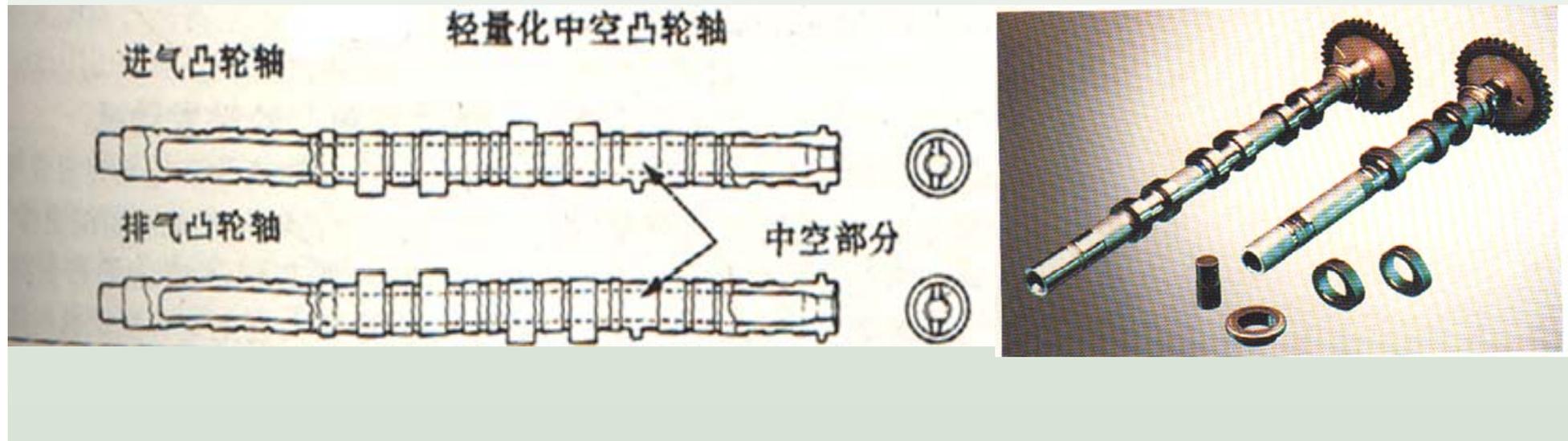


EA111



EA211

迄止上世纪八、九十年代，在德国大众的主流产品中，以**EA113**、**EA188**、**EA827**等系列为代表的中、小排量发动机，它们所采用的仍然都是整体式四气门和五气门凸轮轴，一般选择的材料都为冷激铸铁。但为了有效地减轻重量，自上世纪九十年代末起，无论是排量为**1.8**、**2.0**的**EA888**系列，还是排量为**1.4**、**1.6**的**EA111**系列，更不用说最新一代的**EA211**系列了，采用的都是轻量化的中空凸轮轴。为此，执行了全新的装配式毛坯件制造工艺，方法是将预制凸轮和相关部件装配到一根钢管上，焊接固定其轴向和角向位置。





朱正德

剖析一下EA211曲轴的结构优化，可以这样讲，设计开发部门已经在技术允许的情况下把 工件的减重轻量化做到了极致。采取的主要措施有以下一些：

- 减少扇板数量，从传统的8片减少到4片；
- 减小扇板的宽度，并进行形状优化；
- 缩小主轴颈的尺寸，平均缩小10%，如果有一款同类型发动机，EA111机型的主轴颈外径为 $\Phi 50$  mm，EA211消减为  $\Phi 45$ mm；
- 在每个连杆轴颈上加钻了去重孔。

其他细节上的结构优化就更多了，如改变过渡部位的形状，采取圆角优化，增加多出凹坑等等。如此，两者在自重上相比，新一代EA211的曲轴重量较之EA111平均要减轻15~20%。

## 轻量化产品战略和绿色制造理念推动发动机制造技术发展

纵观几代发动机生产线的工艺规划特点，可清楚地看出，从顺应当今轻量化的产品战略出发，发动机制造技术发展已出现以下趋势：

- 1**，为了确保一些关键零件（如汽缸体）在以铝合金一类轻质材料替代后的性能、质量，必须执行若干应对的工艺及监控措施。
- 2**，企业在新建或扩建的生产规划阶段，会选择更多地体现绿色制造理念的方案，以及采用更加节能和环保的加工工艺。
- 3**，对那些通过结构优化实现零部件轻量化的零件，特别是象曲轴一类形状和受力都很复杂的关键零件，为适应和应对，将采取与传统方法完全不同的工艺模式。

相比铸铁，铝合金等轻质材料在形成铸件过程中较易引起内部缺陷，并往往会在机加工时暴露出来，从而导致渗漏过大而产生废品，有时还会是批量的，从而造成工时、原材料和能源的严重浪费。为此，目前使用最为普遍的应对措施就是浸渗处理，所谓“浸渗”，就是在一定条件下把浸渗剂渗透到铝铸件的微孔隙中，经过固化后使渗入孔隙中的填料与铸件孔隙内壁连成一体，堵住微孔，使零件能满足加压、防渗及防漏等条件的工艺技术。但为了对零件的状态及下一步的处理方法作出正确判断，仍然需要通过泄漏检测的方式以进行验证。

铝缸体在进入中间清洗工位之前，已经完成了全部粗加工工序。而在执行下一道安装主轴承盖、以及之后的各道精加工工序之前，设置了如下右图所示的一个密封测试工位。该工位除了对铝缸体的低压油道、水道和高压油道进行泄漏检测，以检验它们的密封性外，也相当于设立了一道关口，根据测得的泄漏值来决定是否需要对这个工件实施浸渗处理。



①输送滚道 3    ②输送滚道 2    ③输送滚道 1  
④泄漏检测工位    ⑤机器人    ⑥清洗设备

表1 根据泄漏测得值确定的浸渗甄别界限

	泄漏值 (CC/min)		
	低压油道	水道	高压油道
合格, 进入后道工序	小于 30	小于 10	小于 5
需要取出进行浸渗	30 - 500	10 - 200	5 - 100
不需浸渗, 报废处理	大于500	大于200	大于100

从表1可见, 对工件而言, 所设定的甄别界限共有二项, 第一项是被检部位的泄漏率, 以低压油道为例, 泄漏率为**30 CC/min**。第二项甄别界限是以这个被检部位为对象, 判别该铝缸体虽然存在泄漏, 还有没有通过浸渗处理进行补救的必要。

## 执行体现了绿色制造理念、更加节能和环保的加工工艺

- 1, 在粗加工阶段, 加工深孔采用了高速深孔钻方式, 并利用了微量润滑技术, 取消了期间的中间清洗工序;
- 2, 在工艺规划阶段, 就考虑到通过采用或改进相关加工工艺, 以及加强现场管理, 来达到精减清洗工序设置的目的。

关于微量润滑技术：对微量润滑技术的应用，在国外一些汽车工业强国始于上世纪**90**年代末，开始时仅限铸件加工领域，此后，又逐渐扩展到钢件和铝制件。但这项与绿色制造理念相吻合的先进工艺在国内汽车制造业进入实用阶段则还是近几年的事。使用微量润滑的初衷之一就是构建一个洁净的工作环境，显然，由于没有油腻湿滑的地面、且所有切屑都是干燥的，因此，只需每隔**2**到**3**周对机床进行一次清洁就足够了。第二个初衷是以之前几乎不可想象的力度达到了节约和保护资源的目标，而冷却润滑剂使用量大幅度降低，及制备和废弃处理工作量的大大减少也真正实现了相当环保的“绿色”生产。以某缸盖生产线为例：单台加工中心处于循环的冷却润滑液约为**400**升/分，若按**20**台机床算，则需从相应的流体回路中摄取**8000**升/分润滑液。为此就需要使用容量高达**350**立方米的冷却润滑液设备，以及用于放置所需的场地，算下来生产一个缸盖的消耗量约**4.3**升。而在应用微量润滑时，仅**7**至**10**毫升就足够了，尤其是若每台机床有两个主轴，则每个主轴每小时所用的仅略微多于**17**毫升/轴.小时。此外，在生产过程中所采用的“在两个加工间歇中切断润滑剂输送”的技术有效地节约了资源，还明显减少了用水量。由于省去了冷却润滑液系统回路的循环泵，同时用于部件清洁和切屑干燥的资源消耗量也急剧减少，因此生产过程的总能源需求量得以显著降低。

在曲轴的粗加工阶段，加工深孔、即斜油孔是一道十分重要的工序，迄至本世纪初，即使如上海大众动力总成这样国内一线的、主流汽车发动机企业，所采取的依然是“枪钻”这种已沿用多年的传统工艺，真因为它具有高效可靠等特点，至使在很多工厂里现今仍被采用着。但随着对环保、绿色制造的考量和日益重视，其投入和使用成本高，在加工过程中冷却（润滑）液的消耗量大等种种不足也引起更大关注。我公司在**2009**年规划建设“二期项目”就一改原来的枪钻为“高速深孔钻”工艺，从而为利用了微量润滑技术创造了条件。

执行枪钻工艺时，采用的是传统润滑方式，单单它的一套体积庞大的润滑冷却系统就十分昂贵，且后续的使用成本也相当高。另一方面，还必须有大流量，高压，高过滤精度的润滑冷却液，否则就会影响油膜的建立并造成排屑的困难。这主要是与经过“枪钻”加工后的孔壁会呈现一定程度的螺旋状密切相关，此种表面性状对排屑造成的不利影响，在曲轴斜油孔这样的径长比很大的孔的加工中显得就更突出了。可参见右面两的那幅图。



因枪钻是偏心的，故必须配有钻套，而采取微量润滑后，改为双刃高速钢麻花钻就不再需要钻套。另外，由于微量润滑的油雾本身质量就很小，且因加工中受力对称，形成的孔壁就较光滑（见下图）。相应的工艺试验则表明，应用微量润滑还明显地改善了工件清洁度，这是因为此时切屑将更容易在加工中排出，有利于切屑回收，而且在清洗过程中也更不易残留。事实上，这种切削可以认为是准干式的，相比传统方式不但使用成本更低，且雾化的润滑油也更利于油膜的建立。



随着对产品清洁度的日益重视，生产线上的清洗工序也受到了更多的关注，尤其是象发动机中的那些关键零件。但另一方面清洗工序产生的大量的、必须予以处理的污水对那些有社会责任心的企业形成了压力。为此，近年来一些主流汽车发动机厂在规划新（生产）线时，出现了通过采用或改进相关加工工艺，以及加强现场管理，以达到精减所设置清洗工序数量的趋势。仍以我们公司为例，不同于“一期”，在生产纲领更大的二期、三期中，连杆、曲轴两条生产线清洗工序的设置，相比国内极大部分同类企业、乃至较早的“一期”都明显减少：

- 取消了连杆生产线的终清洗工位（全线已无清洗工序）；
- 取消曲轴生产线的中间清洗工位（全线只有终清洗工位）

## 对“高度”轻量化的EA211曲轴在工艺上采取的措施

施

纯粹从整条生产线的角度来看，相比“一期项目”，二期的曲轴线改变极大，这主要是由建线规划时的出发点决定的。

此处只就为了应对“高度”轻量化的曲轴而在工艺上采取的措施。

众所周知，由于曲轴处于的工况十分恶劣，且承受着很大的交变应力，尤其是其轴颈圆角处，最容易产生应力集中，因此自八十年代以来延续至今，对轴颈区域采用“中频淬火+中温感应回火”、再对圆角部分执行“滚压校直”已成为十分成熟、有效的经典工艺了。但EA211、即“二期项目”的曲轴线选择了截然不同的工艺-----

圆角淬火+回火炉回火，而取消了“滚压校直”工序，但又以

“止推挡磨削”替代了原来的滚压止推面工序，这都是为了适应

“高度”轻量化曲轴的结构变化而精心规划、设计的

EA111: 轴颈淬火+感应回火+圆角滚压



EA 111 曲轴淬火区域

EA211: 圆角淬火+回火炉回火(球铁)  
圆角淬火+余温回火(钢)



EA 211 曲轴淬火区域

谢谢!

