

形形色色的发动机

之 形态各异的活塞式内燃机

主讲教师： 张新玉 教授





形形色色的发动机

内燃机：internal combustion engine，是一个意译的外来词，是热力发动机的一种，是指令燃料在其内部燃烧，先将燃料的化学能转化为热能，再将热能转化成机械功输出的发动机。从工作过程看，内燃机与外界不仅有能量交换，而且有工质交换。

汽油机、柴油机、燃气轮机等均属内燃机。从能量转换方式来看，内燃机分为：

活塞式内燃机和叶片式内燃机

叶片式内燃机是指燃气轮机，包括现在所说的航机和燃机。本节所讲述的内燃机是指活塞式内燃机，包括汽油机和柴油机。

19世纪引发人类第二次工业革命的内燃机就是活塞式内燃机。

活塞式内燃机从诞生至今，经过140余年的发展变化，因应用领域不同，呈现出形态各异、姿态万千的发展态势。





形形色色的发动机



这是一款现代汽车的直列4缸轿车用汽油机，采用双顶置式凸轮轴配气机构（DOHC，Double Overhead Camshaft），共16气阀，每缸4气阀，排量为1.6升，功率约82kW。



这是另一款轿车用汽油发动机-EcoBoost。这是一款直列、4缸、废气涡轮增压发动机。

EcoBoost发动机是福特汽车新动力技术代表之一，2013年，2.0升EcoBoost发动机获美国权威杂志社《Ward's Auto World》评出的全球十佳发动机第五名，2015年，1.0升EcoBoost发动机获全球十佳发动机第一名。其三大关键技术分别是燃油高压缸内直喷、先进涡轮增压器和双独立可变气门正时系统。



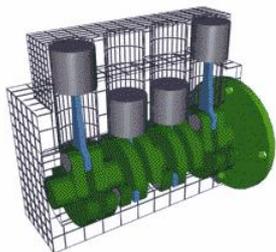
2.0升EcoBoost发动机的最大功率为245马力/180kW，扭矩350N·m，这是一款著名发动机，装备的典型车型比较常见的有福特蒙迪欧和路虎极光汽车。





形形色色的发动机

直列发动机



直列4缸发动机也称L型4缸发动机，即4个气缸依次排成一列，呈line形，即直线形分布。直列4缸发动机的1缸和4缸处在同一曲柄转角位置，2缸和3缸位于同一曲柄转角位置，1缸和4缸的曲柄与2缸和3缸的曲柄夹角为 180° 。

直列发动机（即L型发动机）除4缸外，还可以有2缸、3缸、5缸、6缸等形式，但直列发动机的气缸数一般不超过6缸。

这是为什么呢？

从增大发动机功率的角度考虑，增加气缸数是最直接有效的增大发动机功率的办法之一，换个角度说，将气缸数增加到6缸以上，比如8缸、10缸，甚至20缸，有时候是必要的。

为什么不能采用直列布置呢？





形形色色的发动机

如果我们设计一款20缸的发动机，若采用直列式结构，发动机会是一个怎样的形态呢？

显然，这款发动机会是一个十分夸张的瘦长形结构，这种设计会存在两方面问题。

一方面从空间上考虑，无论是车还是船，其发动机机舱的空间都是有限的，这种形态使发动机很难在机舱内布置；

另一方面，这样的直列式结构会使发动机的曲轴成为一根细长轴，会导致刚度下降，发动机振动加剧，其性能难以保证。

显然，这样的设计是不合理的。

因此，从保证发动机结构紧凑性与曲轴刚度等方面考虑，直列式发动机的气缸数一般以控制在6缸以内为宜。

那么，对于6缸以上的发动机，譬如前面所说的20缸发动机，应该采用什么样的结构形式更为合理呢？

我们来看下面两个例子。



形形色色的发动机

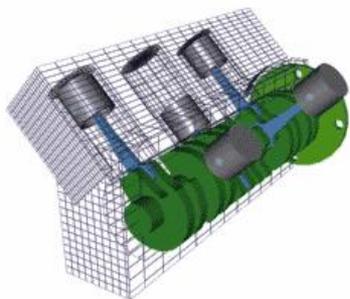
V形发动机



这同样是一款轿车用汽油机，但一共有8个气缸，从图中可以看出，它采用了另一种布置形式，即V形发动机布置形式。



这是另一款采用V形布置的车用汽油机，Audi R8双座跑车的V型8缸发动机，排量4.2升，自然吸气，最大功率316kW，最大扭矩430N·m。

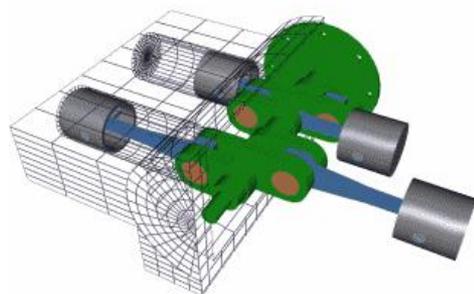
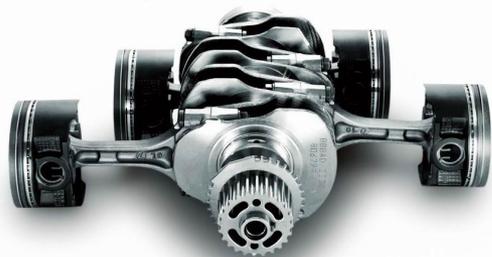


左图展示了V形6缸发动机结构示意图。如图所示，V形6缸发动机的6个气缸分成2排，每排有3个气缸，发动机V型夹角可以是 45° 、 60° 或 90° 等不同的角度，相比于直列式发动机，V形发动机，其结构更为紧凑，是多缸机的一种典型布置形式，在车用及船用发动机中均比较常用。V形发动机的气缸数可以是V6、V8、V12、V16、V18、V20等。



形形色色的发动机

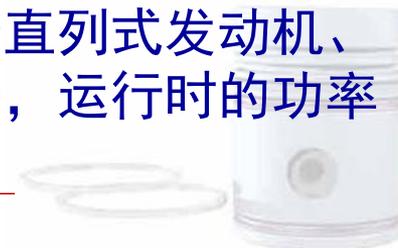
H形发动机



这是另一款车用汽油机的曲柄连杆机构，从结构上看，与之前的直列式及V形发动机均有所不同，这是什么布置形式的发动机呢？

这是斯巴鲁森林人汽车的H型发动机的曲柄连杆机构，该发动机为4缸双顶置凸轮轴，分为2.5升和2.0升两个排量，2.5升发动机功率126kW，最大扭矩235N·m，2.0升发动机功率110kW，最大扭矩198N·m。

H型发动机的气缸为“平放”布置，活塞平均分布在曲轴两侧，在水平方向上左右运动，使发动机的整体高度降低、长度缩短、重心降低。活塞运动180度抵消，平衡良好，相比于直列式发动机、V形发动机，其需要考虑的曲轴平衡配重因素减少，运行时的功率损耗也是最小的。





形形色色的发动机

这种H形发动机也是一种比较典型的发动机布置形式。但，除斯巴鲁和保时捷汽车外，少有其他汽车采用这种H型发动机结构。这是为什么呢？

这是因为H型发动机有其结构上的优点，也有其自身的缺点。

首先，H型发动机结构较为复杂，制造精度高、养护成本高，机体较宽，不利于布局。

其次，重力原因导致气缸内上下部润滑不均，机油润滑问题很难解决。

再有，活塞重力导致活塞顶部和底部与缸套摩擦不均匀。

这些因素使H型发动机的寿命和养护成本均受到了影响，最终影响了它的推广应用。



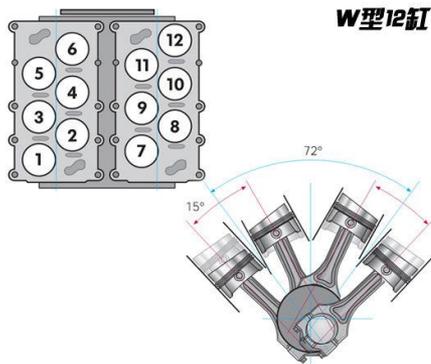
形形色色的发动机

W形发动机



这款大众旗下的奥迪A8L轿车采用的是一款6.3升W12发动机，自然吸气，双顶置凸轮轴，最大功率368kW，最大扭矩 625N·m。

W型发动机一般都是大排量的汽车发动机，大众旗下辉腾6.0也是采用了W12发动机，布加迪威龙则是采用了8.0L W16发动机其功率更是达到了1001马力，扭矩1250N·m。



W12缸发动机相当于两个超小型V6发动机的组合。图中1、2、3、4、5、6相当于1台V6发动机，7、8、9、10、11、12相当于另1台V6发动机，每组都有6个气缸、各呈15°角排列。将这两排气缸连接成72°，由同一根曲轴对外输出功，就构成了一台W12发动机。



形形色色的发动机

W形发动机的结构特点及优势

从图中不难看出，相当于1台V6发动机的长度，W12发动机的气缸数增大了1倍，理论功率也增加近一倍，其紧凑性及功率密度等均比直列发动机和V形发动机增加了很多。

也就是这种结构，才能实现将一台12缸甚至16缸的发动机安装在相对狭小的汽车发动机舱内，而采用直列或是V形发动机这几乎就是不可能的。

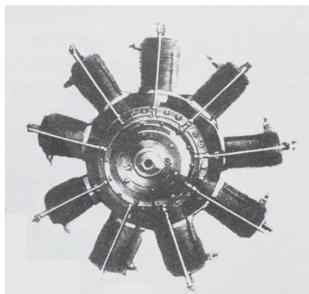
由此可见，高紧凑性和高功率密度是W形发动机的显著特点。





形形色色的发动机

旋转气缸发动机——Rotary engine



这款发动机的名字叫“土地神”，其气缸呈星形放射状分布。它的历史可以追溯到 1909年。

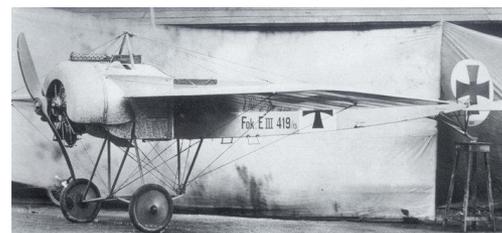
1909年的8月22日，在法国兰斯举行了历史上首次世界航空博览会，即著名巴黎航展的前身，法国人塞甘兄弟发明的“土地神”旋转气缸发动机引发了大会轰动。

右上是1917年的土地神 9N 单阀式旋转气缸发动机，输出功率可达 160 马力。气缸采用一整块镍钢切削而成，气缸周围布满散热片，在工作过程中曲轴不转而机体（即气缸）旋转，因此无论在地面还是空中都发动机都能得到有效的冷却。故除结构紧凑外，冷却效果要好于外形类似的星形发动机。



形形色色的发动机

初期的土地神发动机为 7 缸，重 75 公斤，排量 8 升，输出功率 50 马力。这种发动机出现后即受到热烈欢迎，一时间以土地神为代表的旋转气缸发动机大行其道，新型飞机如雨后春笋般出现，其中就包括法布尔的第一架水上飞机。



旋转气缸发动机的特点是风冷，重量轻，但寿命短，陀螺效应影响操纵性。可以是5缸、7缸80 马力，、9缸、双排 14 缸型 160 马力，最多时发展到4X7共28缸。

曾装备英国“骆驼” F1、德国福克等一战时的著名战机。

旋转气缸发动机在一战时曾红极一时，性能不断提升，并极大推动了当时战机的更新换代





形形色色的发动机

星形发动机——Radial engine



这是星形发动机工作过程示意图，如图所示，这是一个5缸的星形发动机，发动机工作时，机体不转而曲轴旋转，采用了主副连杆的曲柄连杆结构形式。

星形发动机专指那些星形布置，工作过程中机体不转而曲轴旋转的发动机，它的英文名称写成Radial engine。

这里给出的是罗罗公司1937年的飞马18（Pegasus18）星形发动机，单列9缸、机械增压、965马力、排量28L。



形形色色的发动机



除在飞机上有广泛应用外，星形发动机在舰船上也曾有应用案例，其典型代表当属轻42-160星形发动机。

此图所示即为轻42-160星形发动机，该发动机共42缸，呈星形6×7排列分布，缸径160/冲程170mm，功率2941kW，转速2200r/min。此机是20世纪60年代产品，主要用于作为快艇主机，其特点是紧凑性非常高，但缺点也非常明显，如存在因缸数过多发火顺序不易控制，结构复杂，故障率高，寿命短，维修养护成本高等问题。





形形色色的发动机

以上我们介绍了几种典型活塞式内燃机的结构形式，主要包括了L形、V形、W形、H形、星形发动机和旋转气缸发动机，实际上活塞式内燃机还有X形以及 Δ 形等不同的结构形式。根据应用领域及用途的不同，发动机结构形式还有有很多种，但比较常用的以直列式发动机和V形发动机居多。

以上案例多为汽油机，但从结构形式上看，以上各发动机结构形式同样适用于柴油机。

