

发动机的增压类型及原理

摘要：

使用涡轮增压发动机车型现在越来越多，到底什么是涡轮增压发动机，它的基本结构和工作原理又如何呢？现在坊间越来越多车迷朋友知道涡轮增压可以提升动力，但却不知道它是如何完成，如果要改装又应如何改动？一切的一切，我们都需要从涡轮增压系统的基本原理谈起。

关键字：

涡轮增压 中冷器 涡轮 叶轮 旁通阀 汽车 基础知识

LAUNCH

概述

影响发动机动力输出的原因有很多，但其中最重要的，莫过于如何把更多的空气塞进汽缸，提高容积效率（更多的空气将带来更大的动力）。排量为 3000cc 的引擎所能够产生的马力与扭矩，在理论上必然会比相同设计的 2000cc 引擎来得大。

NA(自然进气) 动力提升方法

一般的 NA(自然进气)发动机的做法，逃不开加大节气门口径，或换多喉直喷等，使高转速时可以在同油门深度下，获得更多的空气量。但这种方法在某一转数后，作用就有限了。毕竟 NA 发动机的空气是靠真空吸入的。在汽缸容积固定不变的情况下，真空吸入空气有一个相对的限度。

有的 NA 发动机改用高角度凸轮轴(Hi Cam，借此增加进排气门重叠角度)，可以在高转速下获得高动力，但缺点是低转的扭矩较差，而且如果角度过大，会有发动机怠速不稳的现象。所以现在不少的新车都用上可变气门正时技术，再配合可变凸轮轴等技术(如 VVTL-i、i-VTEC、MIVEC)……以期在低转扭矩和高转马力之间取得很好的平衡。

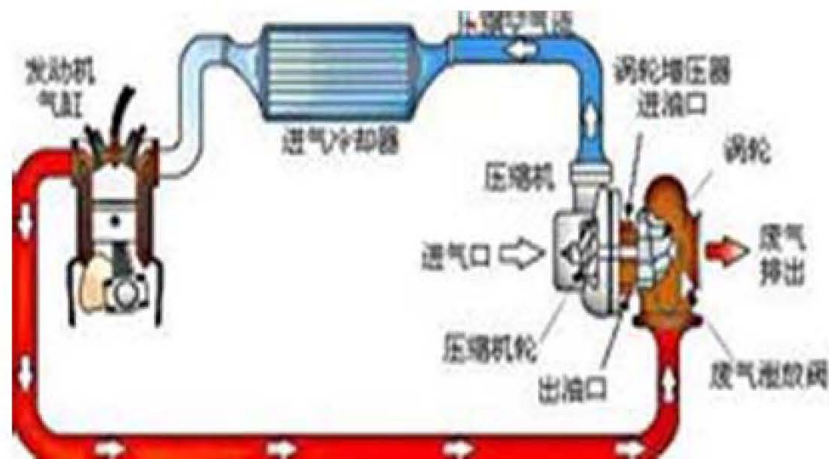
但即便是用尽以上方法，发动机的进气效率顶多提高 60%。NA 发动机始终无法避免其宿命—空气是被动地被吸入汽缸内的。也就是说，引擎所需的空气完全依靠活塞下行时产生的负压而进入，即便汽缸吸满了空气，缸中气压也就小于或等于一个大气压。所以 NA 发动机的升功率始终远不如能将空气与燃油强制送入的汽缸中，可轻松获得一倍以上马力的增压发动机。

涡轮增压系统原理解构

涡轮系统是增压发动机中最常见的增压系统之一。如果在相同的单位时间里，能够把更多的空气及燃油的混合气强制挤入汽缸(燃烧室)进行压缩燃爆动作(小排气量的引擎能“吸入”和大排气量相同的空气，提高容积效率)，便能在相同的转速下产生较自然进气发动机更大的动力输出。涡轮增压利用废气驱动，基本没有额外的能量损耗(对发动机没有额外的负担)，便能轻易地创造出大马力，是非常聪明的设计。情形就像你拿一台电风扇向汽缸内吹，硬是把风往里面灌，使里面的空气量增多，以得到较大的马力，只是这个扇子不是用电动马达，而是用引擎排出的废气来驱动。

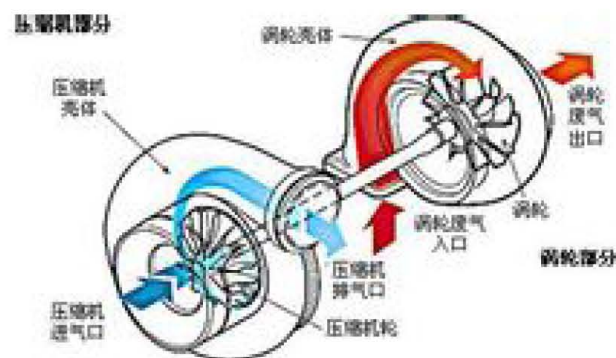
一般而言，引擎在配合这样的一个“强制进气”的动作后，起码都能提升 30%~40% 的额外动力，如此惊人的效果就是涡轮增压器令人爱不释手的原因。况且，获得完美的燃烧效率以及让动力得以大幅提升，原本就是涡轮增压系统所能提供给车辆最大的价值所在。

该系统包括涡轮增压器、中冷器、进气旁通阀、排气旁通阀及配套的进排气管道。涡轮增压器在汽车中的连接方式如图：



涡轮增压系统如何工作

我们希望用以下简单的步骤让你明白涡轮增压的工作顺序，从而便能清楚了解涡轮增压系统的工作原理。原理图如下：



发动机排出的废气，推动涡轮排气端的涡轮叶轮 (Turbine Wheel) ②，并使之旋转。由此便能带动与之相连的另一侧的压气机叶轮 (Turbine Wheel) ③ 也同时转动。压气机叶轮把空气从进风口强制吸进，并经叶片的旋转压缩后，再进入管径越来越小的压缩通道作二次压缩，这些经压缩的空气被注入汽缸内燃烧。有的发动机设有中冷器，以此降低被压缩空气的温度、提高密度，防止发动机产生爆震。被压缩(并被冷却后)的空气经进气管进入汽缸，参与燃烧做功。燃烧后的废气从排气管排出，进入涡轮，再重复以上(一)的动作。

涡轮增压器

涡轮增压器本体是涡轮增压系统中最重要的部件，也就是我们一般所说的“蜗牛”或“螺仔”。因涡轮的外形与蜗牛背上的壳或海产摊内的海螺十分近似而得名。

涡轮增压器本体是提高容积效率的核心部件，其基本结构分为：进气端、排气端和中间的连接部分。

其中进气端包括压气机壳体 (Compressor Housing)，包括压气机进风口

(Compressor Inlet)、压气机出风口(Compressor Discharge)、压气机叶轮(Compressor Wheel)。而排气端包括涡轮壳体(Turbine Housing, 其中包括涡轮进风口(Turbine Inlet)、涡轮出风口(Turbine Discharge)、涡轮叶轮(Turbine Wheel))。

在两个壳体间负责连接两者的, 还有一个轴承室(Center Housing), 安装有负责连接并承托起压气机叶轮、涡轮叶轮, 应付上万转速的涡轮轴(Shaft), 以及与之对应的机油入口(Oil Inlet)、机油出口(Oil Outlet)等(甚至包括水入口和出口)。

“高温”是涡轮增压器运作时面临的重大考验。涡轮运转时, 首先接触的便是由引擎排出的高温废气(第一热源), 其推动涡轮叶轮并带动了另一侧的压气机叶轮同步运转。整个叶片轮轴的转速动辄 120000-160000rpm。所以涡轮轴高速转动所产生的热量非常惊人(第二热源), 再加上空气经压气机叶轮压缩后所提高的温度(第三热源), 这三者成为涡轮增压器最严峻的高温负担。涡轮增压器成为一个集高温原件于一体的独立工作系统。所以“散热”对于涡轮增压器非常重要。涡轮本体内部有专门的机油道(散热及润滑), 有不少更同时设计有机油道以及水道, 通过油冷及水冷双重散热, 降低增压器温度。

涡轮轴

涡轮轴(Bearing)看起来只是一根金属管, 但实际上它是一个肩负 120000-160000rpm 转动及超高温的精密零件。其精细的加工公差、精深的材料运用和处理正是所有涡轮厂最为核心的技术。传统的涡轮轴使用波司轴承(Bushing Bearing)结构。它确实只是一根金属管, 其完全倚仗高压进入轴承室的机油实现承托散热, 因此才能高速地转动。

而新近出现的滚珠轴承(Ball Bearing)逐渐成为涡轮轴发展的趋势。顾名思义, 滚珠轴承就是在涡轮轴上安装滚珠, 取代机油成为轴承。滚珠轴承有众多好处: 摩擦力更小, 因此将有更好的涡轮响应(可减少涡轮迟滞), 并对动力的极限榨取更有利; 它对涡轮轴的转动动态控制更稳定(传统的是靠机油做轴承, 行程漂浮); 对机油压力和品质的要求相对可以降低, 间接提高了涡轮的使用寿命。但其缺点是耐用性不如传统的波司轴承, 大约 7 万-8 万公里就到寿命极限, 且不易维修、维修费昂贵。因此重视耐久性的涡轮制造厂(如 KKK)就不会推出此型式涡轮。

涡轮叶轮

涡轮叶轮的叶片型式, 可分为“水车式”叶片(外形是直片设计, 让废气冲撞而产生回旋力量, 直接与回转运动结合), 及“风车式”叶片(外形为弯曲型叶片设计, 除了利用冲撞的力量以外, 还能有效利用气流进入叶片与叶片之间, 获取废气膨胀能量)。涡轮叶轮的轮径及叶片数会影响马力线性, 理论上来说, 叶片数愈少, 低速响应较差, 但高速时的爆发力与持续力却不是多叶片可比拟的。

涡轮叶轮的叶片大多以耐高热的钢铁制造(有的使用陶瓷技术),但由于铁本身的质量较大,于是又轻又强的钛合金叶片因此产生。只是在量产车中,现在只有三菱LancerEVO IX RS 车型有搭载钛合金叶片涡轮(EVO 的钛合金涡轮型号为TD05-HRA,一般的则为TD05-HR 请读者明鉴)。而改装品中,也只有Garrett 出品的赛车专用涡轮使用钛合金,除此以外暂没听说。

压气机叶轮

叶片是涡轮的动力来源。但压气机叶轮及涡轮叶轮各有不同的功用,因此叶片外形当然也不一样。压气机叶轮基本上是把如何将空气有效率地推挤入压缩信道视为首要任务,然后再加以决定其形状。

一般原厂涡轮的压气机叶轮(Compressor Wheel)都使用全叶片的设计,即叶片是整片从顶端到末端的设计。而为了增加吸入空气的通路面积,提升高速回转时的效率,目前已出现了许多在全叶片旁穿插安装半块叶片的叶轮(此种设计多出现在改装品上)。

而压气机叶轮设计的另一个目的是让压缩空气的流速均等化。传统的叶轮为“放射型压缩轮”,其两叶片之间的气体流速变化很快:位于叶轮运转方向前方的空气,被叶片挤压,故流速很快。但叶片后方的空气则因为吸入阻力及回压力等因素,流速较慢。当节气门半开时,压气机叶轮转速下降,进入压缩轮的空气速度就会降低。而之前已被压缩的空气量如果此时相对过多,便会出现“真空”的状态,无法输送空气(压气机叶轮转速无法产生大于进气管中气压的压力),相对压力也就无法产生了(压力回馈),这也就是所谓的“气体剥离”(Compressor Surge)现象。

所谓的 Surge 效应,就好比我们用手去搅动水桶里的水,当手搅动的速度愈快,水桶里的水就会愈来愈向水桶边缘扩散,接着水桶里的水位也就会愈来愈低,到最后水桶里的水则变成只能在水桶周围旋转,而无法落下。这样的现象也会发生在空气流体力学上。大家可以试想:压气机进风口就好比是一个水桶,周围空气就像是水,至于涡轮叶片就好比是搅动的手,当涡轮叶片转速一旦提升,进气口内的气流就会逐渐向周围扩散,转速提升愈高,气流就愈向周围靠近,导致涡轮叶片中央位置会愈来愈吸不到空气,到最后甚至会呈现真空的状态,使得空气只能从叶片周围进入,进气效率当然也就会跟着下降,这样的现象就是所谓的 Surge 效应。而迎风角度大的叶片,进气效率虽较好,但却容易在高转速时发生 Surge 效应,而角度较小的叶片则反之。

为了防止“气体剥离”现象,把叶片角度设计成向运转方向缩小(与涡轮轴线方向更接近),以维持流速均一化的“反向”压缩轮渐渐成为改装品的主流,而这也就是改装界所谓的“斜流”叶片。“斜流”叶片通常都在原有的主叶片下,多加半个叶片(一般其角度更接近涡轮轴线方向,即更竖直)。若从进气入口正视压气机叶轮,可看到两个叶片重叠,就代表这是“斜流”叶轮。而 Hybrid Turbine 的压气机叶轮通常亦会使用“斜流”叶片(后方并加以切平)搭配漏斗式的加大吸气口来增加出风量。此外,还有压气机进风口处加设循环排气孔,

让流失的压缩空气 2 次循环来减少 surge 效应的新设计(此处不赘述, HKS T04Z 便有此设计)。

内置式排气旁通阀

内置式排气旁通阀(Internal Wastegate, 俗称 Actuator), 是目前涡轮系统中最常见的泄压装置, 一般又被称为连动式排气泄压阀。“Actuator”直接配置在涡轮上, 利用一支连杆来控制涡轮排气中的阀门, 一旦涡轮压缩空气端的增压值达到限定的程度, 进气压力便会推“Actuator”的连杆, 使涡轮排气侧内的旁通阀门开启, 部分废气不经涡轮叶轮(Turbine Wheel)直接排到排气管。这样减少“吹动”涡轮叶轮的废气流量, 涡轮叶轮转速降低, 同时带动压气机叶轮转速降低。因此“Actuator”既是限制涡轮最高转速的装置, 也是使涡轮进气端增压压力维持一个稳定值(不会长时间过高)的装置。

外置式排气旁通阀

外置式排气旁通阀(External Wastegate, 俗称 Wastegate)也被称为排气泄压阀, 功能与“Actuator”大致相同, 但结构与安装位置有别。结构上“Wastegate”省去了连杆和在涡轮内的排气阀门。而位置上“Wastegate”以独立方式安装在涡轮与排气管头段之间, 而无须像“Actuator”那样依附于涡轮增压器本体上。一旦涡轮增压值达到设定上限, “Wastegate”排出(可直接排向大气或导回排气管内)多余的废气, 减少“吹动”涡轮叶轮的废气流量, 进而使涡轮保持稳定的增压值。“Wastegate”比“Actuator”有更大的增压容量(可配用大的弹簧)且反应灵敏, 所以更适合用在大马力或高增压涡轮增压发动机上, 尤其是使用差异过大的 Hybrid 涡轮, 更是必备用品!

中冷器

中冷器(中央冷却器, Intercooler)位于压气机出风口与节气门之间的“散热排”。其构造有点像水箱, 就是运用横向的众多小扁铝管分割压缩空气, 然后利用外界的冷风吹过与细管相连的散热鳍片, 达到冷却压缩空气的目的, 使进气温度较为接近常温。

引擎最不喜欢高温的气体, 因为高温空气会使马力下降。特别是四季炎热的亚热带地区。但由于涡轮增压器会把吸进引擎的气体进行强制压缩, 从而使空气密度提高, 但与此同时, 空气的温度也会急剧上升。温度上升又反过来造成被压缩空气的氧含量下降。此外这股热气未经冷却即进入高温的汽缸, 将导致燃油的不规则预燃(爆震), 使引擎温升进一步加剧, 增加了熔毁活塞的可能。

为了提升空气密度, 同时兼顾空气中的含氧量, 我们需要在压缩空气后(压缩程度较大)降低进气的温度。中冷器因此而产生。中冷器的面积及厚度越大, 其散热能力越强。因为面积和厚度大, 其内的小扁管数量、长度和散热叶片等皆随之增加, 中冷器内的高温压缩空气及中冷器外的大气就有更多的接触面积及接触时间, 热交换(散热)的面积和时间更充分, 降温效果更好。虽然大容量中冷器

有更好的冷却效能，但其加长了散热路径和增大了进气容度，会带来相对的压力损失，TurboLag 容易变大。

进气旁通阀

进气旁通阀(ReliefValve)一般又称为“进气泄压阀”。它安装在靠近节气门的进气管上，它是大部分涡轮增压发动机出厂时原配的泄压装置。

由于涡轮是利用废气排出的力量来驱动，当驾驶过程中收油门(如换挡、急刹车时)，节气门关闭。涡轮叶片(压气机叶轮)在惯性作用下仍旧持续转动。此时因节气门的截断和叶片的继续增压所致，进气管路中(在节气门与涡轮之间)的空气压力会迅速提高。为了保护增压系统，当压力达到某一限定值后，进气旁通阀打开，把过剩的空气(压力)导回至滤清器与涡轮之间，实现降压保护的功能。

Blow-Off Valve(BOV)即俗称的“放气哇佬”，同样属于进气旁通阀。只是它一般被用作取代 Relief Valve 的改装部件。其功能基本上和 Relief Valve 相同，唯一的差异仅在于 Blow-off Valve 的阀门并不会像 Relief Valve 那样容易受到进气压力的影响而开启(导致进气压力下降)。而且在节气门关闭后，Blow-off Valve 是将剩余压力直接向大气释放，并非再导于涡轮与滤清器之间再度增压。因此 BlowoffValve 除了同样具有保护涡轮系统的效果外，在泄压反应上也比起原厂配置的 Relief Valve 更为优异。但对于小排量或小增压的涡轮增压发动机来说，Blow-off Valve 对再加油的动力响应会变差。另外 Blow-off Valve 泄压时会产生更大的泄气声，令人听得更为兴奋，也成为涡轮增压车最为特殊的音效。