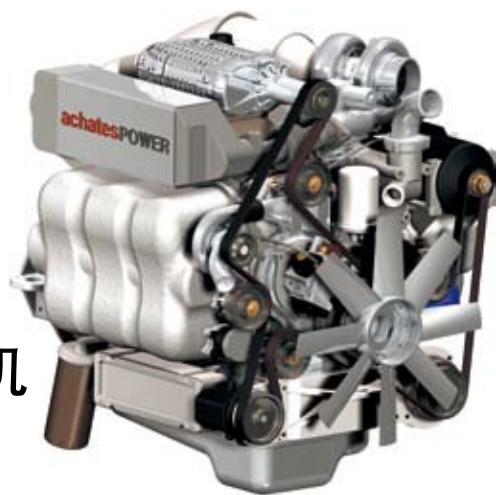


# 继承与创新

## 阿凯提斯动力公司 致力开发对置活塞二冲程发动机

撰文 / 张颖 朱敏慧



Achatés Power  
公司总裁兼首席  
执行官David M  
Johnson

为何Achatés Power(阿凯提斯动力)公司的发动机采用的是极其独特的——缸二活塞对置的型式? 它们在下一轮的新能源车浪潮中是否较传统发动机更有发展机遇? 带着这些疑问, 本刊记者在Achatés Power公司总裁兼首席执行官David M Johnson来华访问期间与他进行了技术探讨。

David Johnson在2008年8月加入Achatés Power公司。他凭借20年的行业经验, 加快内燃机革新, 以低成本提供优异的燃油效率, 从而进一步实现公司的可持续发展。Johnson不但负责公司的技术、商业及业务发展, 还统揽销售、财务和运营。同时他也是公司董事会成员。

记者: 在传统柴油机技术已经发展得相对非常成熟的今天, 为何另辟蹊径, 选择开发对置活塞二冲程发动机?

Johnson: 从历史上看, 对置活塞二冲程柴油发动机在燃油效率和功率密度所创的记录, 还尚未被任何其他类型的发动机所打破。在二十世纪后半叶, 现代排放法规的出现阻止了两冲程发动机在高速公路上的广泛使用。Achatés Power公司运用现代分析工具, 材料和工程法发展对置活塞二冲程发动机, 在排放量相同的情况下, 比最先进的2010中型柴油发动机节省燃油13%。对置活塞二冲程柴油发动机的另一个优点是, 比起传统四冲程发动机, 减少了元件数并降低了成本。

对置活塞二冲程发动机的设想最早起于19世纪末的德国, 其后多个国家发展了这一技术并应用于各方面。最初, 对置活塞二冲程发动机凭借其工艺性、高功率密度和高燃油效率, 主要应用于包括飞机、船舶、坦克、卡车和机车等诸领域, 它在二十世纪绝大部分时间

都表现活跃。从历史上看, 所有类型的发动机都面临着许多技术挑战, 如排放、燃油效率、成本和耐用性, 而被广泛应用的四冲程发动机更是经常受此困扰。然而, 石油的有限储备量和燃料成本的相应增加与内燃机的燃油效率低的根本矛盾日益凸显, 而对置活塞发动机, 凭借其固有的热力学优势, 则略胜一筹。

记者: 对置活塞二冲程发动机的优势是如何体现的?

Johnson: 对置活塞二冲程发动机具有的许多优势使得其成为替代普通四冲程发动机的有吸引力的选择。对置活塞(OP)是两个在一个普通气缸内向相反方向进行往复运动的活塞, 比起只有一个活塞和气缸盖的标准曲柄滑块, 对置活塞具有热传递性, 实现无发动机摩擦, 保持机械耐用性。首先, 两个活塞运动可以在一个既定缸径下产生更大的气缸排量, 比起只有一个标准曲柄滑块或气缸盖的发动机, 减少了气缸数量, 从而减少了缸内传热表面积。其次, 在活塞速度不变的情况下实现了有效的在2:1~3:1之间的冲程缸径比, 从而实现更有利的表面积体积比, 进一步减少了缸内传热。第三, OP结构用一个



喷射测量



活塞取代了气缸盖，活塞可维持较高的金属温度，降低燃烧室表面热损失。

比起普通四冲程发动机，OP发动机还具有机械优势。两个运动的活塞可以进行活塞开合运动，活塞可以打开气缸相反两端的进排气口，分别将燃烧室面对进气集管和排气集管。活塞开合减少了提升阀和阀动机构，使得发动机变得更为简洁，降低了成本，同时消除了发动机气门的摩擦和耐用性。OP近对称运动有效地实现了发动机甚至是单缸的平衡，从而减少了曲轴轴承的负荷。

比起同等功率输出的四冲程发动机，二冲程循环及其双点火频率使得设计人员可以选择减少制动平均有效压力(BMEP)，增加功率密度比。还可实现低BMEP和气缸低尖峰压，降低汽缸温度尖峰值，实现设计优势。低气缸压力降低发动机部件的机械压力，从而使部件重量更轻。低气缸温度减少燃烧过程中氮氧化物的形成，降低对废气再循环(EGR)和/或氮氧化物后处理设备要求。功率密度增加直接使得发动机变小变轻，这两者都有利于提高整车燃油效率，减少生产成本。

记者：应对未来激烈的竞争，对置活塞二冲程还将迎接哪些技术方面的挑战？

Johnson：任何二冲程发动机都难以克服由二十世纪后半期出台的排放法规所带来的挑战，导致发动机制造商普遍青睐四冲程发动机。当采用现代分析工具、材料及工程法重新审视排放限制，会忽然发现清洁高效的OP二冲程发动机反而能成功解决这一问题。

由于OP装置没有气缸盖，喷油器必须安装在气缸套。比起曲柄滑块装置将喷油器安装在气缸盖中心的技术，这更是一种创举。

喷油方向距离远(如横穿气缸直径距离)，加上低喷油压力，很难取得全部燃烧室的可用空气，导致燃烧不完全，生成较多的氮氧化物和油烟。此外，燃油喷射和伴随原有强涡流的缸内新鲜充量运动相互作用，导致了燃烧室表面附近发生燃烧，增加了活塞、活塞环和缸套的热负荷，并降低了热效率，增加了散热要求。

凭借现代开发工具和先进燃料系统，配备衬套式喷油器的OP装置已经将技术难题转化为发展良机。高喷射压力的燃油系统的可获得性和不对称喷油器喷嘴方向的制造便利性，使得衬套式喷油器能在碰壁几乎为零的情况下更好地利用燃烧室内的空气。此外，采用计算流体力学(CFD)软件包能快速准确地模拟燃油喷射、缸内气体运动和燃烧，帮助燃烧室几何工程和喷嘴配置进行清洁高效燃烧。塑造两个燃烧室表面(两个活塞顶)成形，将多个喷油位置安在衬套上，使得OP装置比普通四冲程发动机具有更大的设计空间。

相对四冲程发动机，OP装置由于热缓解废气和进气周期，机械零件热负荷较高，这一问题通过现代工具和材料已得到解决。如前所述，一般设计在远离活塞和衬套表面处进行燃烧，从而降低这些组件的冷却要求。此外，共轭热传(CHT)模拟是用来分析发动机冷却回路，设计有效的保护和防止油液降解的冷却系统。

作为两冲程和四冲程发动机的一个主要区别，气缸扫气是所有二冲程发动机面临的一个技术挑战。与四冲程发动机的一整圈形成对比，为了实现每转一次的点火频率，二冲程发动机必须在大约每三分之一转圈完成气缸扫气，而且没有借助一个直接的机械排泵(即活塞)。相反，二冲程发动机在进排

气口之间需要一个外部压力差，使气流通过气缸，在气缸中新鲜充量会替换排出的燃烧产物。相对于其



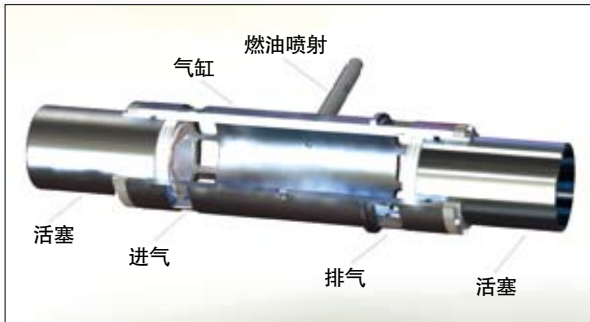
所展现的效率优势



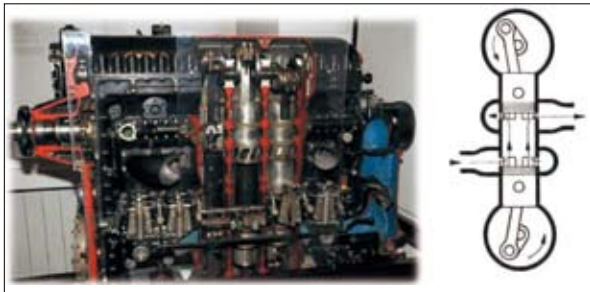
实验台



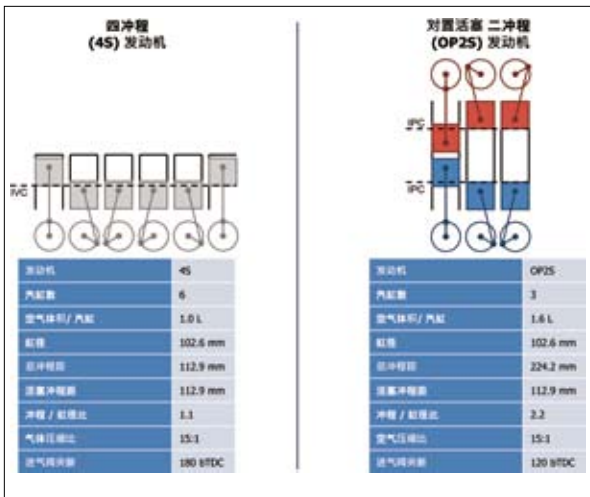
阿凯提斯动力发动机：A40(左上)、A47(左下)、A48(右)



动力气缸



容克的巨无霸205、207柴油航空发动机



摩擦可比的发动机结构

他使用环流扫气的两冲程结构，OP发动机的进排气口位于气缸相反两端，采用了更高效的单流扫气。扫气的发展目标是减少清除气缸废气残余所需的外部抽气，为随后进气时的燃油/空气混合进行充量运动。使用高效准确的CFD软件包可以描述扫气过程的全部特征。无需耗时和硬件制造测试花费，通过软件就能对进出口、气缸和活塞几何进行优化，并计算它们对缸内发展流场的影响。

二冲程扫气在排放方面的优势之一是能够在燃烧后在气缸内保留部分充量(“内部”废气再循环(EGR))以控制氮氧化物，只要通过进气系统减少抽气就能做到。这样做有助于改善部分负荷的燃油效率。为了得到高废气再循环率，还需要进行外部冷却EGR。

二冲程发动机经常面临高油耗的困扰，原因有二。首先，游离油是微粒排放的一个重要来源，二是石油添加剂生产的高灰渣经常污染后处理装置。该工程旨在开发一种用油尽可能少、耐用的活塞衬套和环衬接口。幸运的是，已开发出许多技术用于减少四冲程发动机油耗：缸径材料改进、缸径表面加工、活塞环技术、曲轴箱呼吸系统、缸径油气浸蚀处理、合成油、低灰分和磷油，它们都已经应用到四冲程发动机，且同样适用于二冲程发动机。先进的油耗分析机已被用来这里的工作，使得这些控油技术的研究与发展更快更集中。

肘节销轴承的润滑是二冲程经常遇到的挑战。因为不断加载的肘节销轴承补油比较困难。随着表面积大幅增加，阶梯槽和边界润滑的特种涂料的发展，许多轴承利用技术已大大改善。

记者：可以看出对置活塞二冲程发动机在结构方面与传统车用发动机的区别是很大的，那从生产成本方面分析，其有何优劣势？

Johnson：由于元件数少，OP发动机的成本也低。这一优势在大批量生产时体现尤为明显，如每个发动机可以节省500美元，那对于制造商而言就是一笔巨大的收益。为了评估这种成本优势，一位成本分析专家在比较了Achates Power公司A40发动机和传统柴油发动机的零部件成本，双方排放标准类似，生产量相当。

专家购买了一个2007年6.7L直列六缸发动机，将其拆卸成为一个个单一组件。分析每个组件的材料成分、形成过程、机加工时间、复杂性以及其他过程，如电镀或涂层。将其主要组件和Achates Power发动机同样的功能组件就材料成分、质量、机加工时间和速率直接进行对比。只分析了发动机组件和主要子系统，如涡轮增压器、燃油系统和润滑系统。对置活塞结构的成本优势主要在于其省去了气缸盖和相应的配气系统。发动机越小巧紧密，需要的子系统越少(如冷却和润滑系统)，节省了额外的开支。同样，其结构和曲轴组件越小，成本更低。OP发动机成本略微增加的地方在于其气缸衬套、机械装置和增压器，后者需要用于二冲程操作。分析表明，OP发动机比同等功率的四冲程发动机节省约11%的成本。

记者：能否介绍一下Achates Power公司是个怎样的公司，它的股权结构是怎样的以及公司未来的发展计划？

Johnson：公司成立于2004年，最初的构想始于1998年。公司由美国工程科学院(NAE)院士Jim Lemkel以及已故的John Walton所创办。公司吸引了来自几个创投公司超过6千万美元投资，其中包括Madrone Capital(沃尔玛Walton家族所有)、红杉资本(Sequoia Capital)、Rockport Capital、InterWest以及Triangle Peak Partners公司。

公司研制成功的对置活塞二冲程发动机的性能已经经过验证，截至目前测试时间超过1900小时。目前已经有相关企业与我们进行各种合作形式的洽谈，希望能尽早达成一致，使我们的产品早日实现量产。CVE