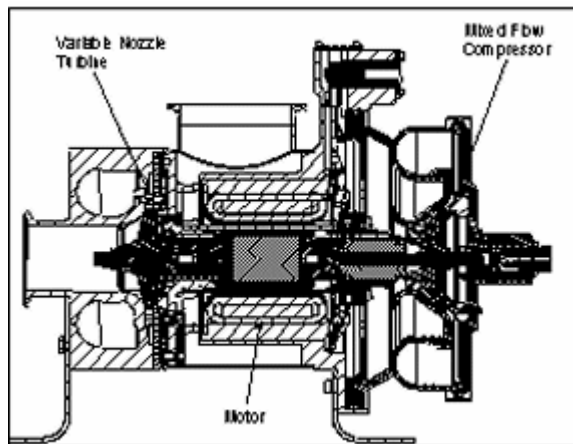


# 用于车用燃料电池系统的几种压缩/涡轮机

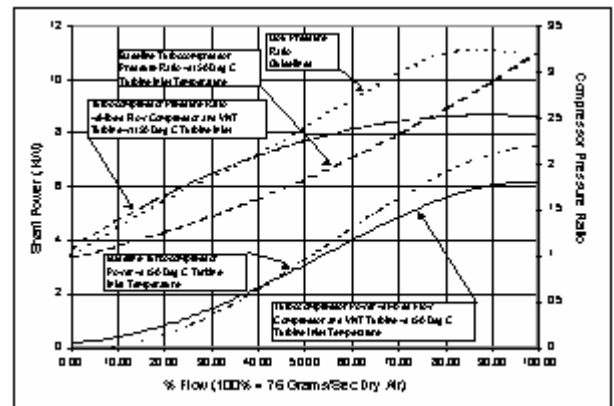
清华大学电动车辆研究室朱家琏编

用于车用燃料电池系统中的压缩/涡轮机是一个非常关键的部件，对燃料电池的效率、成本、各项性能指标等有重大影响，注意到，空气中氮含量约占 80%，在对空气进行压缩时，大部分压缩功率（压缩功率与空气质量流量和压力成正比）被用来压缩不起作用的氮上，氧的过量系数 OUR 取得越大，压缩机消耗功率越大，燃料电池输出的净功率减小，效率降低，特别是对最大空气供气压力达 2~3atm 的燃料电池系统，影响更大。因此，研制压缩机的目标是，利用先进的涡轮机械技术，寻求一种适用于 PEM 燃料电池系统的，经过优化的压缩/涡轮机系统结构，同时它必需有良好的功率平衡（功率消耗要低），能回收过量空气中的能量、紧凑的尺寸、较低的成本。FreedomCAR 项目要求此装置重量不超过 3kg，而进入燃料电池的压力达到外部空气压力近似两到三倍，使空气能通过质子交换膜（PEM）上的催化剂涂层。

Honeywell 公司开发并试验了一个涡轮压缩机，此装置将：进口处有一可变喷嘴的涡轮、一个混流式压缩机、一个两极无齿马达和一个无传感的变速马达控制器组合在一起，构成一个系统。为了适应高达 315° C 的涡轮进口温度，采用了无矿物油的空气轴承。这些部分组合在一起可减少尺寸和重量、增加效率、降低成本、改善小流量时（例如，车辆怠速时或其他利用小于 10-20%最大功率时）的增压比。



图一



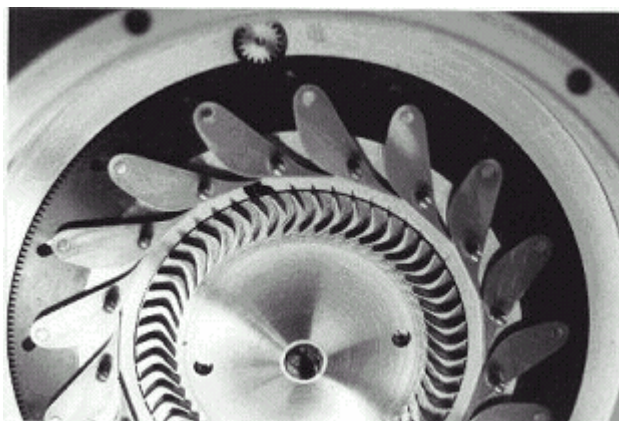
图二

2001 年中期，用 150° C 的涡轮温度标准，对此带有马达控制器的压缩/涡轮机，进行了试验，表明低功率消耗、恰当的增压比、紧凑的结构、较轻的重量等目标都已达到。

另外，Meruit, Inc. 开发了一个压缩/涡轮机，由于采用了气体轴承，使压缩/涡轮机转子处于悬浮状态，且摩擦力很低，该机在高效率与清洁工作两方面都达到了要求。车用燃料电池系统所用的压缩机除了要求重量轻、效率高以外，压缩的空气必须非常清洁，如果压缩机的润滑油进入空气供应系统，将导致燃料电池毁坏。空气轴承不但摩擦低而且无液体润滑剂，当轴旋转到某个转速时，在轴承座中围绕轴表面形成一类似流体的层，使轴浮起来，与轴承座不相接触。因为气体的黏度很低，故轴承中的能量损失很小，从而燃料电池系统排出的压缩气体进入膨胀器后，其回收的能量基本上都被用来带动压缩机，具有很高的效率。

空气轴承的关键技术是轴颈表面低摩擦涂层的耐久性，此涂层要求在低速下，很容易使轴浮起来，而且在整个车辆寿命期间，经历千万次起动—停止循环，减摩性能不变，仍能可靠地工作。可考虑采用的涂层有：Vespel (DuPont)、Delrin (DuPont)和几乎没有摩擦的 carbon (NFC)等。所设计供应 76 克/秒空气的涡轮压缩机原型已经过了试验。结果与预计的很接近。

Vespel (DuPont)涂层在 3,700 个起—停循环后停止试验，Delrin (DuPont)在 1,300 个循环后停止试验，两种涂层都还能经受更多的循环。对于 NFC 涂层，试验表明转子的平衡很重要，不平衡的转子只能通过不到 1,000 次起—停循环，而平衡的转子可达到 10,000 次起—停循环，只有很小的磨损。



图三

图三为该机的涡轮，图中示出了内叶片和涡轮。涡轮流量可通过转动外环来开闭叶片，而加以调整。

Vairex 公司开发的适用于 40—80Kw 燃料电池系统的压缩/膨胀机示于图四。它具有效率高、工作范围宽、流量和压力可以分别独立调节、压力保持不变的情况下，流量可以变化，而且响应迅速，压缩机、膨胀器、电机和控制器集成在一起，尺寸紧凑。



图四

主要参数：

重量: 约 40Kg

尺寸: 330X330X540mm

功率: 3.2Bar, 80g/sec 时 3.5Kw

2.0Bar, 7g/sec 时 500W

响应时间:  $\leq 500\text{ms}$ , 在 30—90%流量时

最大排气压力: 3.5Bar

排气压力 2.0Mpa 时质量流量 2—105g/sec

排气压力 3.2Mpa 时质量流量 4—85g/sec