

# “胖子”飞天的动力

在上一期写 A380 的文章中，讲到了像 A380 这样 500 多吨的“胖子”之所以飞天，根本在于有强大发动机推力在支撑。某种意义上说，发动机推力多大，决定了飞机能造多大。大飞机发展，根本上是发动机的发展。

目前已有的发动机，最大推力的是美国通用电气公司正在测试中的 GE9X，推力达到 10 万磅以上，超过了 45 吨，比 A380 飞机发动机，要高 10 吨左右。这是一个什么概念呢？即将用在国产大飞机 C919 上的赛峰公司 LEAP 发动机，推力在 12-15 吨之间，就是说，GE9X 比上一代大发动机增加的动力，接近一台 LEAP，进步是非常明显的。GE9X 将用于正在研制中的波音 777-9 飞机，这也使 777-9 成为迄今最大的双发飞机。

飞机发动机是个神奇的存在，它是依靠机械运行能在最小单位体积内产生最大力量的产物。试想一下，普通空气经过那么短小的一个机器，就能突然产生出无与伦比的力量，那真的是有点不可思议。

飞机性能得到大幅度提升，是在进入喷气时代之后。从螺旋桨到喷气式，一个是拉，一个是推，这是推进方式的革命性变化，也带来了飞行技术的跨时代进步。动力大幅度提升，飞机也因此能越造越大、越造越好。

进入喷气时代的早期，最著名的发动机是普拉特·惠特尼公司的 JT3。二战结束不久，各大工业公司英国的罗罗，美国的通用、普惠，都开始了对喷气发动机的研发。最早取得突破性进展的是普惠的 J57，它在试验中在历史上首次突破了 10000 磅的推力，后续的改进型最高推力达到 18000 磅。J57 的成功，诞生了美国第一种远程战略轰炸机 B-52，翼下挂载了 8 台 J57。波音制造的第一代空中加油机 KC-135，使用的也是 J57。J57 后来进入民用领域，这就是著名的 JT3。普惠公司并且创造性地将涡扇概念应用到 JT3 上，改进为 JT3D，诞生了当年最有名的一代名机，波音 707、道格拉斯 DC-8 等飞机上，用的都是 JT3D。

有个比较夸张的说法，当时 90% 的主流大型飞机上，用的都是 JT3D，包括 1972 年尼克松首次访华时坐的波音 707 专机。稍后中国民航向波音一次性订购了 10 架 707，除了装机的 40 台 JT3D 之外，额外多买了 40 台备份机。这既有准备发展国产大飞机的考虑，也是对 JT3D 的高度信赖。这是普拉特·惠特尼公司的黄金时代。

现代主流大推力发动机，都是涡轮风扇发动机。一般来说，具有较好性能水平的民用客机，需要 0.25 左右的推重比。就是说，飞机的最大起飞重量，大约是发动机推力的 4 倍。随着飞机的大型化、远程化，特别是发动机可靠性水平的提高，双发飞机比三发、四发飞机具有明显的经济、效率优势，也因此对发动机推力提出了越来越高的要求。如同前面讲到的，最新一代波音 777-9，作为最大双发客机，它需要 GE9X 的推力就在 45 吨以上。

提高推力有两个关键因素：压缩比和涡轮前温度。理论上比较容易理解，就是在单位时间内，将最多的空气压缩进发动机，然后以更高的温度燃烧，以达到更大的推力。

压缩比提高，除了发动机转子、压气机设置外，关键是增加迎风面空气流量，这就需要增加风扇直径，同时不增加、甚至减轻重量，提高进风效率。以 GE9X 为例，它通过优化风扇叶片设计，成功地将前一代风扇 24 片叶片，减到了 16 片，又使用钛合金前缘复合材料叶片，减轻了总体重量。它的风扇直径达到了 3.4 米，是飞机发动机中最大的，大致是两个成年人高度。

涡轮前温度提升，有赖于新材料运用。上世纪 60 年代至 80 年代，涡轮前温度平均每年能提高 15℃，其中材料改进的贡献在 7℃，接近 50%。新世纪以来，涡轮前温度提高中，新材料的贡献已经达到 78%。这些新材料主要包括单晶高温合金、粉末高温合金、陶瓷基复合材料。单晶体的优势毋庸置疑，粉末合金也在不断创新，效果明显的是陶瓷基复合材料（CMC），它的重量仅为镍基高温合金重量三分之一，使用温度可以更高 260℃。在最新的 GE9X 试验中，发动机重要部件都用上了陶瓷基复合材料，可以在 1200℃ 下持续工作，还不用进行特别冷却，这是非常了不起的成就，也是发动机技术最新进展。

对于某些喜欢嚼舌的人，大家常常会说一句：“你咋不上天呢？”

是啊，咋不上天呢？只要你有一台好的发动机。

