

轴承支承系统

特种主轴轴承支承系统支持下的 涡轮机叶片优化

涡轮机试验台是研发节能、排放低有害物质飞行器的基础。在这样的试验台上，将对涡轮机转子进行测试。由于提出的要求非常高，因此只能用非常稳定的、高速运行的主轴轴承支承系统才能完成相应的任务。

文 | PETER KLINGAUF

为了提高飞机动力系统的效率、降低飞机燃料的消耗，就需要对飞行器动力装置的零部件（如叶片、压缩机、燃烧室、涡轮机）进行研究和技术开发。而这些研究和开发的基础之一就是涡轮机试验台，德国航空航天中心 DLR 在 Göttingen 市就有一套这样的试

验台。与飞机的驱动装置不同，涡轮机的转子是单独安装在试验台上进行检测的，这就大大地减轻了安装和拆卸的难度、改善了检测仪器接近被测物时的条件。对于这种特殊的安装支承要求，就需要使用传动轴技术专家所研发制造的特种主轴轴承支承系统。

涡轮机的压缩机和燃烧室中蕴含的潜力

在航空航天工业领域中有许许多多用于节约能源、降低飞机有害物质排放的调节杠杆可以利用。除了降低飞行器的重量之外，提高喷气发动机的效率同样是一个非常重要的节能、减排攻关方向。

德国航空航天中心 DLR 的科技人员进行了细致的研究，并利用 RGG 风洞作为涡轮机的试验台。今天，Göttingen 的试验台已经具有对喷气涡轮机的转子叶片、定子叶片和整个涡轮机进行检测试验，并对下一步改进优化提出意见的能力了。

RGG 风洞是一个封闭式的、可以连续工作、以干燥空气作为流体介质的测试设备。它由一台 1 MW 功率的直流电动机驱动，并带有四级径流压缩机，调整所需的气体流动条件，从而得到希望的压力比。在这一试验台上，不仅能够完成常规的检测，而且也可以得到超声波范围内的流速数据。除了马



图 1 RGG 风洞使用的传动轴是性能优化了的轴承支承系统。其前、后轴承都可以单独预紧。另外，它所使用的液力悬浮轴承也大大地优化了传动轴的减振性能

赫数之外，雷诺数也是一个需要在试验台上按照真实工作条件检测、非常重要的相似参数。

涡轮机转子的支承方式有着非常重要的意义

涡轮机发出的功率和转速的调整都是通过一个直流电动机作为发电机制动完成的。最高 14 000 r/min 的转速对于喷气涡轮机的转子有着重要的意义：稳定地旋转和承受轴向力的同时，转子的准确定位是喷气涡轮机检测时的一个重要标准。

从一开始，人们就试图努力做到转子的浮动式支承，因为这种浮动支承能够大大地简化被测转子在试验台上的安装和拆卸。另外，采用浮动式支承后，试验台也有着很好的敞开性，同时检测仪器、设备也可以更加方便地接近被测转子了。

人们很快就明白：只有使用能够高速旋转的、非常稳定的主轴轴承支承系统才能实现上述目标，就像高性能金属切削加工机床中所使用的主轴轴承支承系统那样。在这一认识的基础上，航空航天中心的科学家们与多家传动轴生产供应商进行了联系。有些供应商不具备开发、生产这种主轴轴承支承系统来满足 DLR 中心需求的能力，而另一些则认为无法经济地提供这样的主轴轴承支承系统。只有西门子的子公司 Weiss 公司具有提供这种性价比比产品的能力。

为此，Weiss 公司获得了用卧式主轴轴承支承系统开发风洞设备的合同。设计的最高转速为 15 000 r/min，其长度尺寸和直径尺寸满足了研究中提出的驱动技术要求。这一主轴轴承支承系统能够承受的最大轴向负载高达 24 kN，并能够可靠地保证转子的圆跳动



图 2 RGG 风洞中、在新建的 NG-Turb 喷气涡轮机试验台测试中的喷气发动机转子是支承在 Weiss 公司特殊设计的主轴轴承支承系统上的，这也大大地简化了喷气发动机转子的安装和拆卸

≤ 0.1 mm，同时也毫无问题地保证了 1.8 Mio.mm/min 的转速系数。

为了实现上述目标，Weiss 公司的工程技术人员所设计的前、后轴承都可以单独地预紧。这就有可能实现单独地调整一侧轴承所受到的轴向压力和拉力负载了。除此以外，设计师们还为滚动轴承设计了液力悬浮的支承方式，从而提高和改善了滚动轴承承受振动的能力。Weiss 公司的该主轴轴承支承系统最具决定性的优点是：通过液压介质的压力和黏度可以对系统的减振性能、整个主轴轴承支承系统进行调整，保证它们始终平稳地运行。它甚至还可以在突破常规的共振区域来运行，而且丝毫不会损害上述种种运行质量。

所有的这些特性都使得 RGG 使用的主轴轴承支承系统成为非常有价值的系统。若转子旋转时有一点小小的偏心，则 DLR 航空航天中心就不会测得准确的检测数据。而 Weiss 公司成功地完成了这种特殊主轴轴承支承系统的设计，这与研发过程中合同双方定期的协商合作以及 Schweinfurt 市设计师们丰富的专业技术知识是密不可分的。

高精度的转子旋转保证了准确的检测

这一主轴轴承支承系统最重要的技术特色除了坚固的基础设计、复杂的支承方式之外，还专门集成了检测编码器：利用这一编码器可以准确地测定主轴转速。作为补充，还有专门监控振动的振动传感器。

由于喷气涡轮机研发技术的飞速发展，尽管对现有的 RGG 风洞不断地进行技术改造、完善，但仍然无法满足未来涡轮机研发的全部需要。因此，Göttingen 市的德国航空航天中心 DLR 新建了第二台风洞试验台 NG-Turb（图 2）：它是整个欧洲唯一的且在今年投产使用的风洞试验台。新建风洞试验台的动力高达 3.7 MW，四级压缩机，流量为 6 万 ~ 23 万 m³/h，其转子的支承方式也已经确定下来了。

在 NG-Turb 风洞试验台上可以完成双轴配置涡轮机的性能测试，例如把高、低增压技术组合在一起的涡轮机。在该双轴涡轮机的测试中，两套转子应相互独立地支承起来，进行测试。根据 RGG 风洞的使用经验，因此这台试验设备也采用了 Weiss 公司的主轴轴承支承方案。[MM]