

涡桨 6 助力“鲲龙” 翱翔碧海蓝天

WJ 6 , the Power of AG600

■ 颜维/中国航发南方

2017年12月24日，大型灭火/水上救援水陆两栖飞机AG600“鲲龙”成功首飞，这是我国大飞机项目（运20、C919、AG600）中唯一安装国产发动机进行首飞的机型，其动力装置为中国航发南方生产的涡桨6（WJ6）发动机。经过40年的持续改进与延寿，该发动机的制造技术成熟、可靠性高并具有较长寿命，是目前我国装机数量最多、累计飞行时间和服役时间最长的国产发动机。

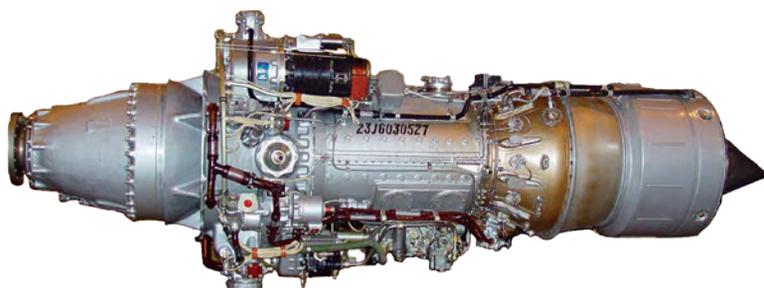
型号发展 发展历程

WJ6发动机于1969年8月开始研制，1970年9月试制出第一台发动机，1976年通过设计定型审查，1977年正式批准定型投入小批量生产，首翻期为500h。投入小批量生产以后，至1983年完全解决了设计定型时遗留的问题，并将小批量生产阶段的500h暂定寿命延长至1000h。1983—1986年，通过开展结构改进，提高制造质量，并结合外场使用，将发动机的首翻期逐步延长至2000h。通过寿命考核试车，结合发动机外场领先使用，WJ6发动机总寿命分批次分阶段逐步延长至5000h以上。

从1991年起，为了开拓民用市场，按照CCAR-33部要求，开展了WJ6发动机适航取证工作，进行了全面的计算分析工作，补充进行防火试验、超转试验、振动试验、功率及推力响应试验、校准试验、持久试验、超温试验和工作试验，完成了空中再起动机飞行试验。结合符合性声明、说明性文件、安全评估等符合性方法，系统说明了其余适航条款的符合性。WJ6发动机于



2017年12月24日，AG600安装4台WJ6发动机成功首飞（摄影：岳书华）



WJ6发动机

1993年2月取得型号合格证，1996年3月取得生产许可证。

基本构型

WJ6发动机由减速器、附件传

动装置、压气机、燃烧室、涡轮、排气装置，以及燃油系统、滑油系统、电气系统、空气系统、螺旋桨操纵系统、起动系统、防冰系统和灭火

系统组成。

WJ6的减速器为双级封闭差动游星式，可将发动机输出轴功率分为两路传递给螺旋桨，并降低螺旋桨转速。减速器内还装有测扭机构、负拉力自动顺桨传感器及负拉力自动顺桨检查装置。

附件传动机匣位于压气机和减速器之间，发动机传动的飞机附件和发动机附件均由该机匣内的传动机构带动，附件传动机匣的内外壁构成发动机进气道的一部分。

压气机为10级轴流式压气机，由转子、静子和进气导向器组成。转子为盘鼓式结构，静子为焊接结构，在第5级和第8级各装有两个放气阀。

燃烧室为带10个头部的环形燃烧室，由钣金焊接的燃烧机匣、带气膜冷却的火焰筒、单油路离心式的工作喷嘴、燃油总管和点火器组成。

3级轴流反力式涡轮由转子和静子组成。转子的轴与轮盘用长、短螺栓连接，轮盘与带冠叶片用枞树形榫头连接，每两个叶片装于轮盘的一个榫槽内。导向叶片用挂钩挂在整体涡轮机匣的环形槽内。

排气装置装在涡轮与飞机尾喷管之间，其上有4个热电偶安装座，在涡轮和排气装置外包有吹风罩，以冷却这两个部件。

发动机的滑油系统采用闭式循环，以润滑和冷却各齿轮及轴承，同时还要向螺旋桨调速器、燃油调节器、测扭机构及负拉力自动顺桨传感器供油，作为这些附件或机构的工作介质。

发动机的燃油系统保证供给发动机一定数量的燃油，使发动机在各状态都能正常工作。燃油调节器为液压机械式，根据发动机的工作

表1 WJ6发动机主要技术数据

当量功率	起飞状态	3126 kW
	额定状态	2700 kW
耗油率	起飞状态	0.33 kg / (kW · h)
	额定状态	0.34 kg / (kW · h)
发动机转速	12300 r/min	
螺旋桨转速	1075 r/min	
干质量	1200kg	
外廓尺寸	3558 mm × 892 mm × 1174 mm	

状态、大气条件和飞行情况，自动调节发动机的供油量，保证实现选定的发动机调节规律。飞行员通过操纵燃油调节器油门改变发动机的工作状态。

螺旋桨操纵系统通过改变螺旋桨桨叶角，来保证发动机除慢车外的所有工作状态转速相同。系统设有扭矩、负拉力和人工顺桨及中距限动等装置，以保证飞机飞行的安全可靠。

发动机装有起动系统，保证发动机的冷转、地面和空中起动。起动时，由两个起动发电机带动发动机转子转动，两个点火器将燃烧室内的燃油点燃，并用人工切油防止起动时涡轮前温度超过规定值。

发动机的空气系统具有封严、冷却、通气及提供引气等功能。发动机所有电气附件均通过主电缆与飞机有关电气系统连接。

发动机还设有防冰系统和灭火系统，以保证发动机和飞机工作安全。

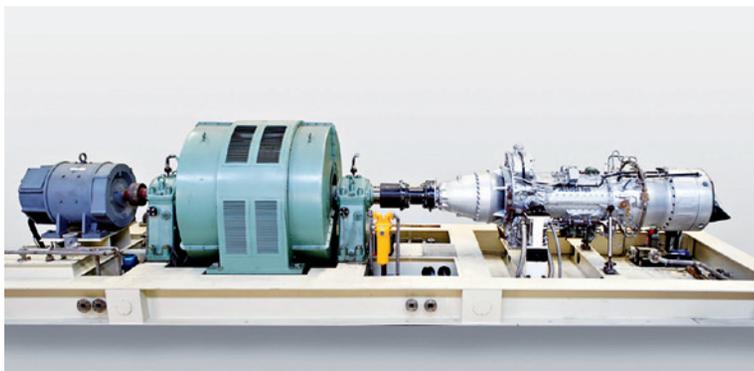
根据涡桨发动机的特点，WJ6发动机选用了转速、当量功率和涡轮前燃气温度作为被调参数，它们比较全面地反映了发动机的工作特性、零件的载荷和热负荷。等转速调节是依靠调速器的离心机构感受发动机转速，并自动操纵螺旋桨改

变桨叶角，即改变螺旋桨所需功率以适应发动机的输出功率，保证发动机转速恒定。因此，采用等转速调节还可以省掉一个油门-转速联动机构，简化了操纵系统。WJ6发动机在高空采用等当量功率调节规律。当以某一速度飞行时，有一相应的限制高度，从该高度直至地面的范围内，涡轮前燃气温度由最大允许值逐渐降低，以保持当量功率大体不变。在限制高度以下，发动机经济性较好，各部分零件（特别是高温零件）的强度利用得较充分。WJ6发动机在限制高度以上的范围内，采用等涡轮前燃气温度调节规律，即涡轮前燃气温度始终保持为最大允许值（不同工作状态有不同的最大值），此时发动机的热负荷达到了该状态允许的最大程度，充分利用了发动机热部件的能力，发出了最大可能的高空功率。WJ6发动机主要技术数据见表1。

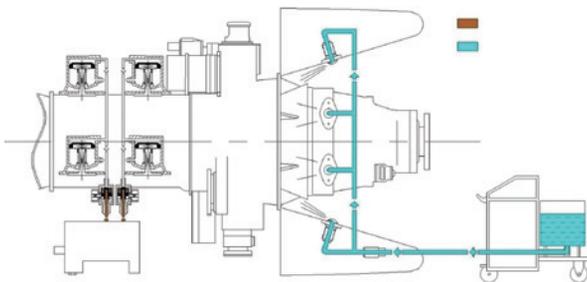
应用情况

WJ6发动机定型后，用作运8系列飞机的动力，交付数量超过800台，累计飞行时间超过300万小时，是目前我国装机数量最多、累计飞行时间最长的国产发动机。

为满足发电、输油、输气管道加压、船舶动力的需要，在WJ6发动



WJ6G系列地面轻型燃气轮机



清洗系统

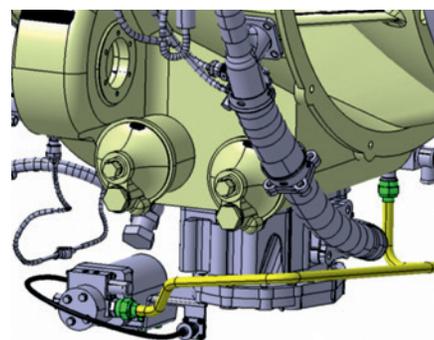
机的基础上研制了WJ6G系列地面轻型燃气轮机，包括最大输出功率为3200 kW，长期使用功率为2000 ~ 2500 kW，可用天然气、中热值煤气等燃料并改用电调控制，输出转速分别为单轴1000 r/min和3000 r/min的WJ6G1和WJ6G1A；采用自由涡轮，输出转速为12000 r/min的WJ6G2、WJ6G2A、WJ6G4和WJ6G4A。目前，WJ6G系列燃气轮机已经用于全国40多个发电站的200个发电机组，累计运行超过500万小时，发电超过80亿度，生产蒸汽3500万吨以上。对于节约能源，减少大气污染，提高经济效益均发挥了很大的作用，深受用户好评。2000年以后，为满足各类飞机需求，系列化改进改型研制了多型发动机，均已装机使用。

AG600飞机/WJ6发动机的飞发匹配

AG600飞机立项研制后，中航通飞研究院有限公司从发动机性能、适航性、经济性、适用性、采购可达性和装机使用经历等方面对多型发动机进行了综合比较。国产WJ6发动机能满足飞机总功率和使用包线需求，已经拥有型号合格证，技术成熟、使用可靠，综合保障能力强，

为货架产品、采购渠道畅通、价格合理。2014年3月，WJ6发动机被选作AG600飞机动力。

为使WJ6发动机与AG600飞机具有良好的匹配性，开展了一系列适应性改进和试验验证工作。首先针对AG600飞机水陆两栖使用环境下高湿热和重盐雾的特点，采用设计小改方式在WJ6发动机和AG600飞机上加装清洗系统。清洗系统可对发动机气流通道进行清洗，去除零件表面盐分、沉积物和油垢等，降低这些物质造成的腐蚀破坏，延缓零部件腐蚀，恢复因沉积物导致的发动机性能衰减，提高发动机防盐雾和防湿热的能力。清洗系统由地面清洗车、自封快卸接头、安装在飞机进气整流罩内的清洗喷嘴及环状管路、发动机上的第5级和第8级的放气阀的断油开关组成。此后，鉴于AG600飞机选用JL-4A/1复合材料螺旋桨，开展了WJ6发动机与该螺旋桨的匹配试验，试验结果表明：顺桨后，附件传动机匣内油平面高度超过了引起空中顺桨停车后再启动滑油系统故障模式时的油平面高度临界值。根据试验结果，与中航通飞研究院有限公司共同完成加装发动机顺桨停车抽油系统的设计以



顺桨停车抽油系统

避免空中再起启动不成功风险，该加装系统随飞机补充取证。

结束语

在40年的服役历史中，WJ6发动机通过持续改进与延寿，走出了自主改进研发的新模式。预计在今后10年乃至更长的时间内，WJ6发动机仍然是我国中型运输机的主要动力，占有重要地位。随着国家重大专项的开展，更先进的涡桨发动机的研发已提上日程，达到世界先进技术水平的国产涡桨发动机必然会出现。

航空动力

（颜维，中国航发南方，高级工程师，主要从事涡桨发动机总体技术研究。）