

DOI: 10.3969/j.issn.1001-8972.2013.06.058

# 民航燃气涡轮发动机启动原理

陈俊逸

深圳航空有限责任公司维修工程部

Starting principle of civil aviation gas turbofan engine

## 摘要

为了保证航空燃气涡轮发动机能顺利启动, 需要有两个相互协调工作的系统: 启动系统和点火系统。发动机在地面正常启动时, 两个系统必须同时工作: 首先由启动系统将发动机转子N带转到一定转速, 使适量高温高压空气进入燃烧室并与燃油喷嘴喷出的燃油相混合; 其次再由点火系统点燃燃烧室里的油气混合物, 释放燃料化学能并转化为热能推动涡轮对外做功。启动过程中两个系统的工作需要相互协调, 并在循环开始后, 由启动控制电路自动调节两个系统的工作。点火系统还应该能够独立工作, 以实现空中再点火以及恶劣天气情况下为防止发动机熄火而进行的常明灯式的持续点火; 启动系统也应能单独工作, 以实现“干冷转”和“湿冷转”, 以便于发动机检查及维修后的试车。

## 关键词

APU; 空气涡轮启动机; EEC; 点火激励器; 燃油喷嘴; 火花塞

## Abstract

To ensure aviation gas turbofan engine can be started smoothly, you need two mutual coordination work system: the starting system and the ignition system. Normal engine starting on the ground, these two systems must work at the same time. First, the starting system drives the N engine rotor to a certain speed, then add amount of high temperature and high pressure air into the combustion chamber and mixed with fuel from the fuel nozzle. In order to drive the worm wheel, the ignition system lights the gas mixture in the combustion chamber to release the fuel chemical energy into heat energy. The two systems require work coordination in the starting process. In the cycle after the start, the two systems must be automatic adjustment by the control circuit. The ignition system should work independently, in order to ignition successfully in the air or prevent the engine flameout in the bad weather conditions.

## Keywords

APU; air turbo-starter; EEC; ignition exciter; fuel nozzle; spark plug

## 1 启动系统

启动系统的功用是通过引入发动机外部动力源来使航空涡轮发动机从静止状态过渡到稳定的慢车工作状态的一整套独立工作系统。

航空燃气涡轮发动机的结构和循环过程, 决定了它不能像民用汽车发动机那样使用自主式点火启动。因为, 航空涡轮发动机的压气机没有提前带动旋转, 其间空气没有产生足够的压力而在发动机燃烧室中直接喷油点火将使其核心机内部产生强大的反压差使燃气无法向后流动, 也就无法使发动机的涡轮转动起来, 时间过长还会烧毁燃烧室及涡轮导向叶片。为此, 现代燃气涡轮发动机的启动特点就是: 先要使发动机里的气流流动起来, 再在燃烧室喷油点火进行燃烧; 也

即是发动机里的转子必须要提前旋转形成气流流动, 再加点火启动。而这与传统的发动机设计原理相反, 发动还没启动, 燃烧室还未点火, 却要其先转动。根据这个启动特点, 就必须在点火燃烧前先由其它动力源带动发动机里的转子旋转。在以前的小功率发动机上, 带动发动机到达一定转速所需的功

率小, 人们采用了启动电机来带动发动机旋转, 如用于国产运-7、运-8飞机的涡桨5、涡桨6发动机。但随着大推力发动机的出现, 用电动机启动已无法提供如此大的能量来带动发动机转子达到点火燃烧时的转速, 因此需要更大的动力源来带动发动机; 这时, 采用Auxiliary Power Unit辅助动力装置源来产生压缩空气, 用气源代替电源来启动发动机成为了现在所有高涵道比发动机的启动方式, 而且在现代化的大、中型客机上, APU是保证发动机空中停车后再启动的主要装备, 它的性能直接影响飞行安全。

压气机是压缩空气最好的来源。采用涡轮带动压气机可以连续不断提供飞机所需的压缩气源。而由于这个燃气涡轮装置提供的气源只要能满足发动机启动的需要即可; 所以其功率、体积相比发动机要小得多这就使

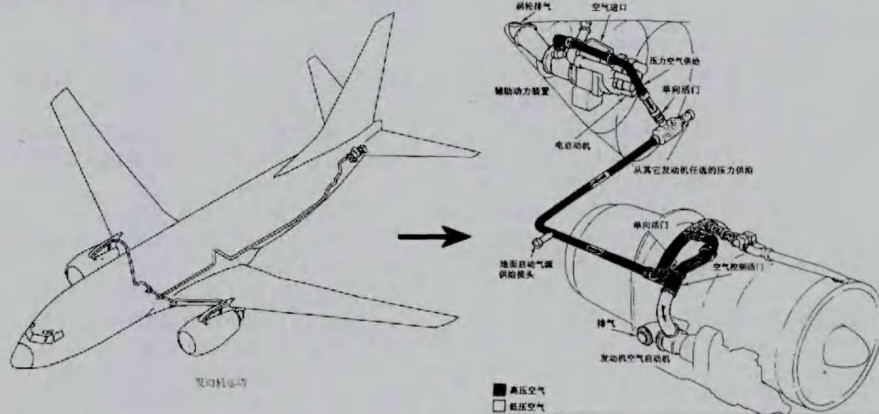


图1

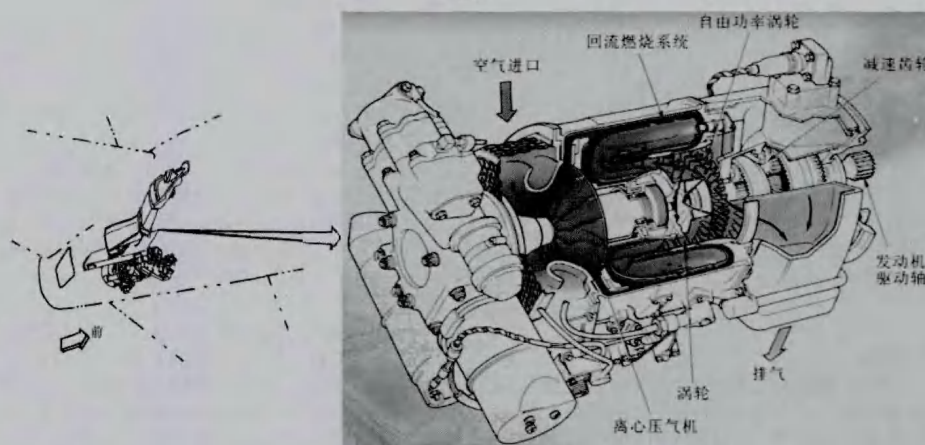


图2

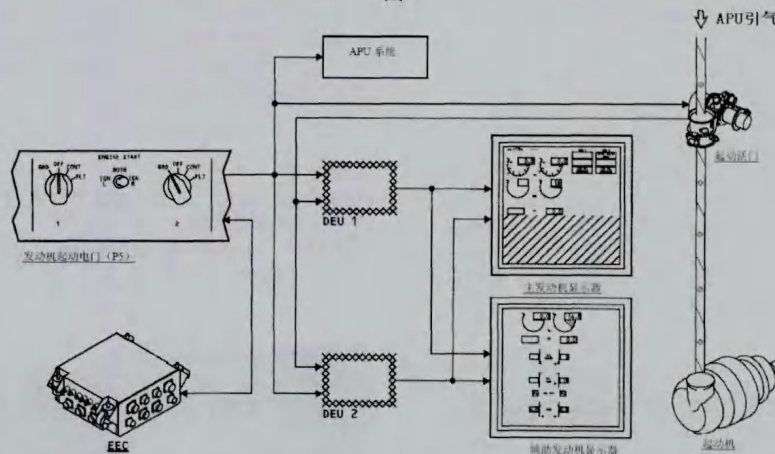


图3

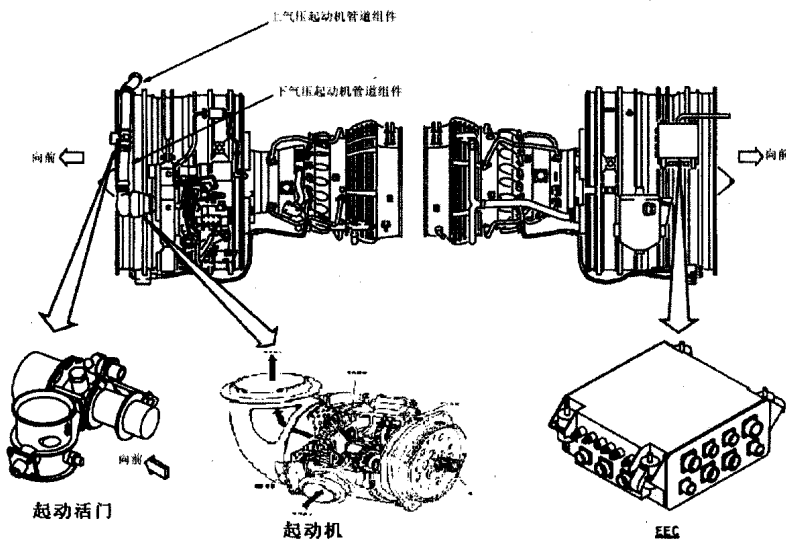


图4

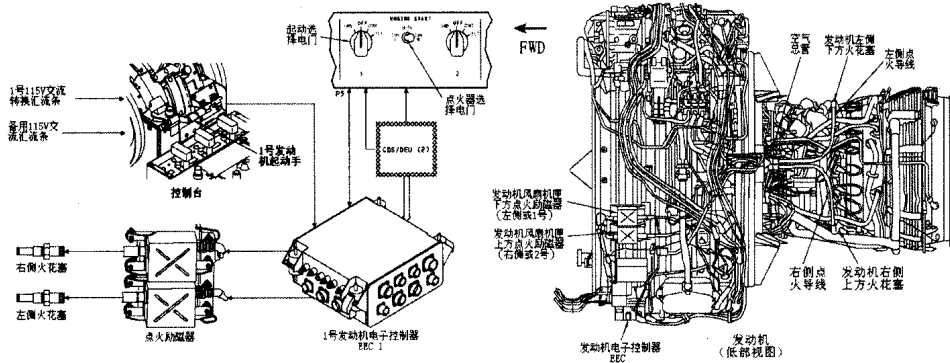


图5

这套燃气涡轮装置可以采用电动机来启动，然后再由这套燃气涡轮装置产生压缩空气来起带动发动机，通过这样的设计便可以克服现代发动机启动时载荷大的问题。这套燃气涡轮装置就称作APU（辅助动力装置）。APU的作用是向飞机独立地提供电力和压缩空气，也有少量的APU可以向飞机提供附加的推力。飞机在地面上起飞前，由APU供气来启动主发动机，从而不需要依靠地面电、气源车来启动发动机。在地面时APU提供电力和压缩空气，保证客舱和驾驶舱内的照明和空调，在飞机起飞时使发动机功率全部用于地面加速和爬升，改善了起飞性能。降落后，仍由APU供应照明电力和空调，使主发动机提早关闭，从而节省了燃油，降低噪音污染。

辅助动力装置的核心部分是一个小型的涡轮发动机，一般装载在飞机机身最后段的尾锥之内，在机身上方垂尾附近开有进气口，排气直接由尾锥后端的排气口排出。发动机前端除正常压气机外还装有一个工作压气机。工作压气机向机身前部的空调组件输送高温高压的压缩空气，以保证机舱的空调系统供给，同时还带一个发电机，可以向飞机电网送出115伏的三相交流电。APU有自己单独的启动电机并由单独的电池供电；APU还有独立的附件齿轮箱、润滑系统、冷却系统和防火装置，而它的燃油来自飞机上的燃油系统。所以，飞机的APU是一个完整的动力装置，但在控制上它和整架飞机是一体的。其控制板装载驾驶员上方仪表板上，它的启动程序、操纵、监控及空气输出都由飞机的电子控制组件（ECU）进行统一协调，并显示到驾驶舱相关位置，如

EICAS的屏幕上。

发动机的启动过程实质上是一个能量逐级放大的过程。先由蓄电池提供电源给APU启动机，带动APU转子旋转；APU达到启动转速后其内部的燃烧室喷油燃烧，把燃料提供的化学能转变为涡轮的机械能，并通过压气机把机械能转换为空气的内能。由于燃料的加入，APU产生的压缩空气的能量已远远大于蓄电池的能量。APU的气压力通过引气管流过发动机上一个打开的启动活门并转动发动机上的启动机内部涡轮空气马达。涡轮转动齿轮和接合离合器。离合器传递扭矩至启动机的输出轴带动AGB，AGB通过轴和其他齿轮转动发动机N<sub>2</sub>转子。这样发动机上的空气涡轮启动机把APU空气的压力转化为带动发动机核心机转子旋转的机械能，在达到发动机启动转速时发动机燃烧室才喷油点火，最终靠燃料的燃烧使化学能转变为热能再驱动涡轮旋转带动压气机转子旋转对空气加速增压形成一个封闭的循环使发动机进入稳定工作状态。在约55%N<sub>2</sub>时空气涡轮启动机已不能带动发动机转子，启动活门关闭并从启动机除去气压力。涡轮和减速齿轮减速且离合器脱开。启动机输出轴随齿轮箱和发动机转动。涡轮和减速齿轮继续减慢直至它们停止为止。所以在整个启动过程中，带动发动机核心机旋转的能量，从很低的蓄电池电能，通过燃料燃烧后释放能量的加入使发动机转子的能量及速度逐级提升。

## 2 点火系统

飞机发动机的点火系统在发动机启动过程中，产生高压电火花去引燃燃烧室的油气

混合物；并在起飞、不利天气情况下飞行和着陆时提供连续点火以保证火焰连续燃烧。

飞机在这些飞行状态下使用电火系统：

1) 地面启动；2) 起飞和着陆；3) 飞行中（在强紊流或恶劣天气期间）；4) 飞行中再启动

点火系统供给发动机燃烧室内油气混合物引燃所需的高能电火花，每台发动机有两套独立工作的点火系统；它们均由电源、点火励磁器、高压导线、点火电嘴等部件组成。位于驾驶舱的启动手柄控制到EEC的点火系统电源，启动电门和点火选择器给EEC提供输入；点火器的电能输出既有高值输出又有低值输出是一套复合式点火系统，以满足不同条件下使用。点火系统通常是人工操作的，这是因为燃气涡轮发动机的点火系统与活塞式发动机的点火系统不同，它只在发动机启动点火的过程中工作，只要在发动机燃烧室中形成稳定的点火火源之后燃烧室将持续燃烧，点火系统便停止工作；所以当发动机电子控制器（EEC）接收到系统的或人工触发的使发动机熄火信号时，点火系统才会自动工作。发动机驾驶舱的启动手柄控制接到EEC的点火系统电源，点火系统依靠启动电门和点火选择电门选择正确的输入信号至EEC，EEC利用这些输入信号控制输出至点火激励器的电源，点火激励器通过对EEC控制信号的适当放大后再将电源供至点火系统的终点火花塞。

发动机1号点火系统的电源来自于飞机电源系统中1号交流转换汇流条和交流备用汇流条。发动机电子控制器EEC通过控制输出115伏特的交流电到位于发动机风扇机匣右侧下部5点钟位置的点火激励器中的内部电门触发电点火激励器将输入的115伏交流电转变为输出端火花塞所需的15000至20000伏特的直流电并通过高压点火导线将高压直流电输送到发动机4点及8点钟位置的火花塞，火花塞中心极上的高压电使内部中心电极和壳体间的半导体绝缘材料表面产生电离作用，为储存在电容器中的电能提供一条低电阻通路实现高压跳火高强度放电，从而产生高能电火花引燃燃烧室中高温高压的油气混合物。同理，发动机2号点火系统从飞机的2号交流转换汇流条及飞机交流备用汇流条电源接收交流电源。正常情况下，每台发动机一次只使用一个格点火励磁器。

## 3 结语

现代航空涡扇发动机推力远超传统类型发动机，为克服其启动载荷的大副提升现代航空涡扇发动机的启动设计原理也有别于传统发动机。现代航空涡扇发动机其启动原理是通过能量的逐级放大，通过外部的动力源带动发动机内部转子旋转对其内部空气进行压缩并形成稳定流向尾喷管的气流；再在燃烧室喷油燃烧释放燃料的能量并通过对涡轮做功实现能量的转换产生所需的推力，同时防止燃烧室先引燃后形成的气压倒流或气流屏障问题。

## 参考文献

- [1] 飞安波音.B737-NG AMM维护手册
- [2] CFM国际发动机公司.CFM56发动机维护手册
- [3] 王云.北京航空航天大学出版社.航空发动机原理
- [4] 吴大观.航空工业出版社.航空发动机研制工作论文集
- [5] 方昌德.航空工业出版社.航空发动机的发展历程
- [6] 钟培道.国防工业出版社.航空发动机转动部件的失效与预防