



M5.5.2.7 涡轮轴发动机

修订批准页:

1

版次	修订时间	编写/改版	修订说明	审核/时间	审批/时间
R0	2020.06.14	谈海军	新编课件	谈海军 2020.08.06	张玉 2020.08.11

目的与要求:

目的	通过本次课程的学习，掌握作用和组成和工作，典型涡轴发动机维护介绍
要求	<ol style="list-style-type: none">1. 涡轴发动机作用与工作特点2. 涡轴发动机的组成、安装位置、相连系统3. 涡轴发动机工作原理，4. 涡轴发动机燃油及控制系统5. 典型涡轴发动机常见维护

课程安排:

序号	内容	等级	课时
1	作用和组成		1H
2	工作		3H
3	典型涡轴发动机维护介绍		2H

A faint, light-colored illustration of a commercial airplane from a front-on perspective, centered in the background.

5.2.7.1 作用和组成

5.2.7.2 工作

5.2.7.3 典型涡轴发动机维护介绍

A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and engines.

5.2.7.1 作用和组成

涡轴发动机介绍

a 用途

时间：20 世纪 50 年代，研制涡轮轴发动机（简称涡轴发动机）

优点 {

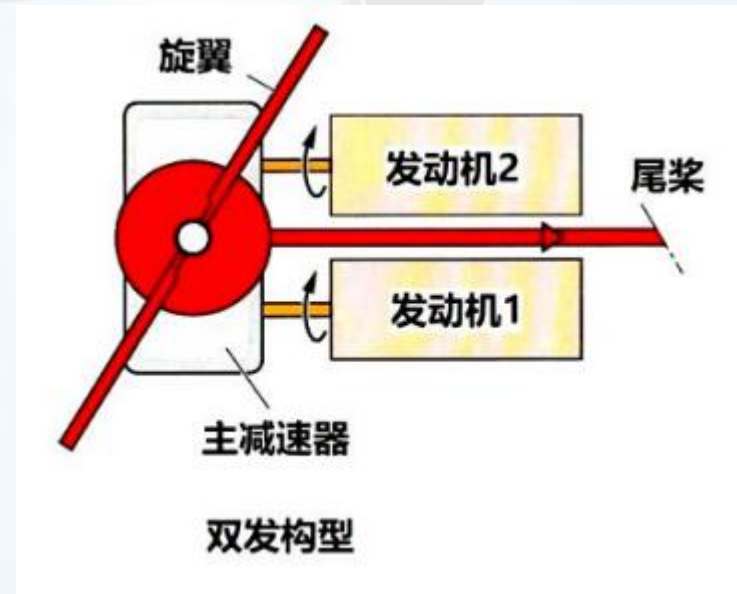
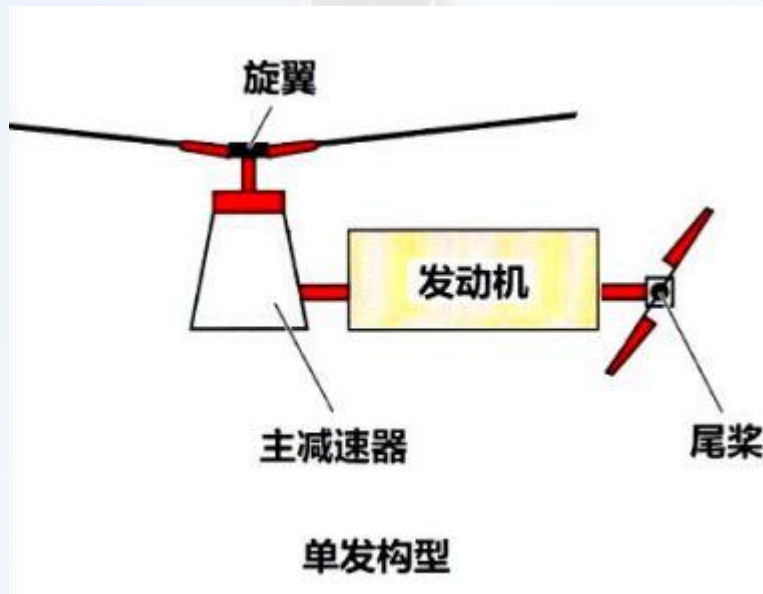
- ◆ 和燃气发动机，在低速更好的经济性好
- ◆ 和活塞发动机，输出功率大且功重比大

用途：直升机外，用为舰船、机车、坦克地面发电设备

b 主减速器

安装：发动机安装在飞机主减速器（MGB: Main Gearbox）后面

驱动：通过离合器（也称自由轮）驱动主减速器



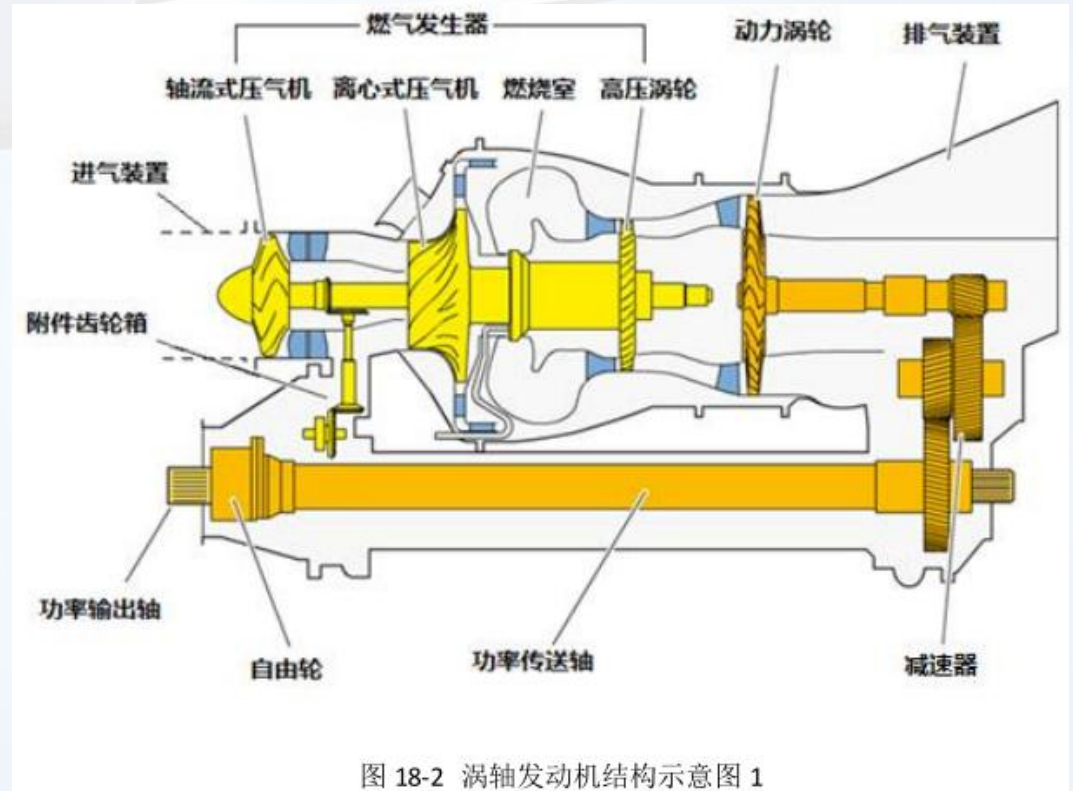
1 涡轴发动机的结构

特点

- ◆ 自由涡轮式，无机械联系，有气动联系
- ◆ 功率由燃气发生器状态决定，自由涡轮（旋翼）转速保持不变

结构组成

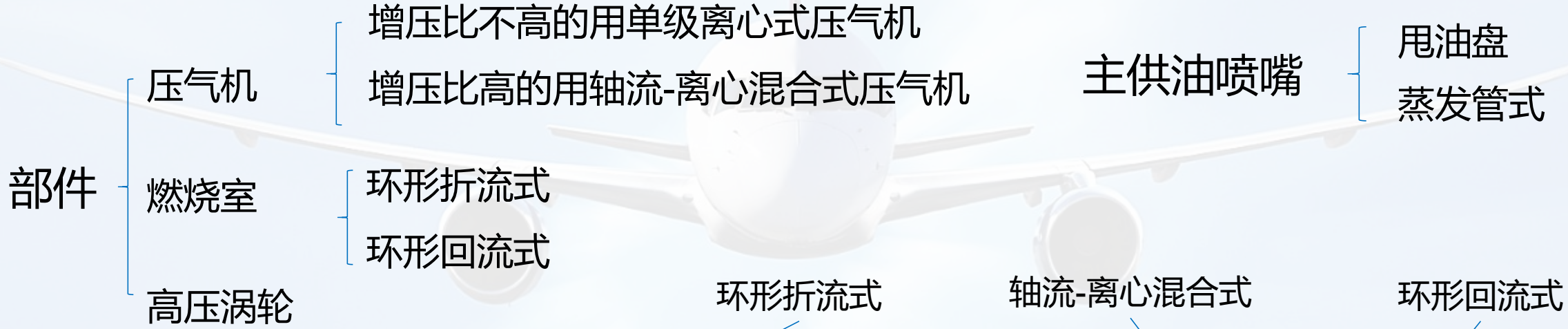
- a. 进气装置
- b. 燃气发生器
- c. 动力涡轮
- d. 减速器
- e. 排气装置



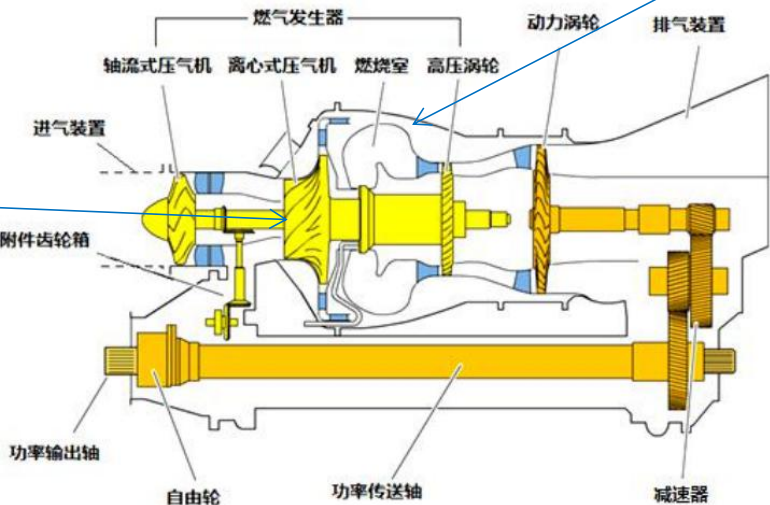
a. 进气装置

作用是确保将清洁的空气引入发动机，有防尘、防冰装置

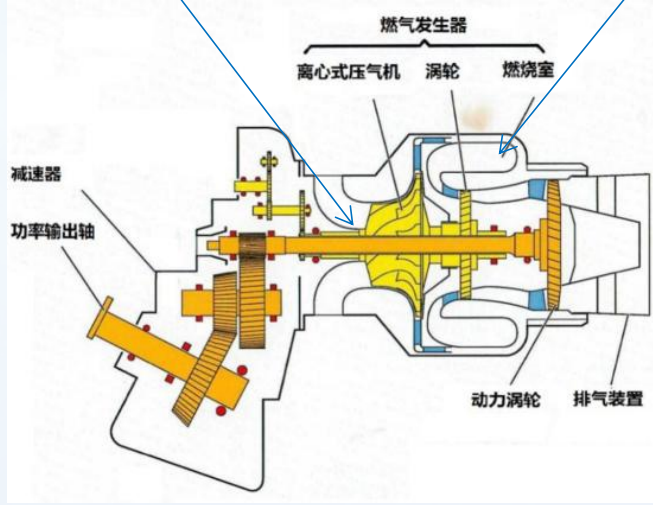
b 燃气发生器



单级离心式



环形折流式 轴流-离心混合式 环形回流式



c 动力涡轮

功用：燃气在动力涡轮中膨胀，做功，带动旋翼、尾桨和飞机附件。

d 减速器

功用 经多级减速才能实现功率的传递和旋翼的工作要求

分类 {
◆ 体内减速器（简称体减）是发动机部件
◆ 主减速器（简称主减）为直升机的部件发动机与旋翼连接

传动过程： 动力涡轮（自由涡轮）→减速器→功率输出轴→主减

减速器（体减）的功用是使功率输出轴转速降低，使功率输出轴转速满足飞机的要求。便于旋翼和尾桨的工作

e 排气装置

作用 膨胀后的燃气顺利地排出发动机，几乎不产生推力

排气装置附件

- ◆ 热交换器，提高热利用率
- ◆ 消音器，降低噪音


形状和位置

- ◆ 涡轴发动机的排气管道通常设计为扩散状
- ◆ 排气管口可以按飞机的整体确定位置和排气方向

f 工作系统组成

工作系统

- ◆ 燃油及控制系统
- ◆ 滑油系统
- ◆ 空气系统
- ◆ 测量与指示系统
- ◆ 起动与点火系统
- ◆ 电气系统



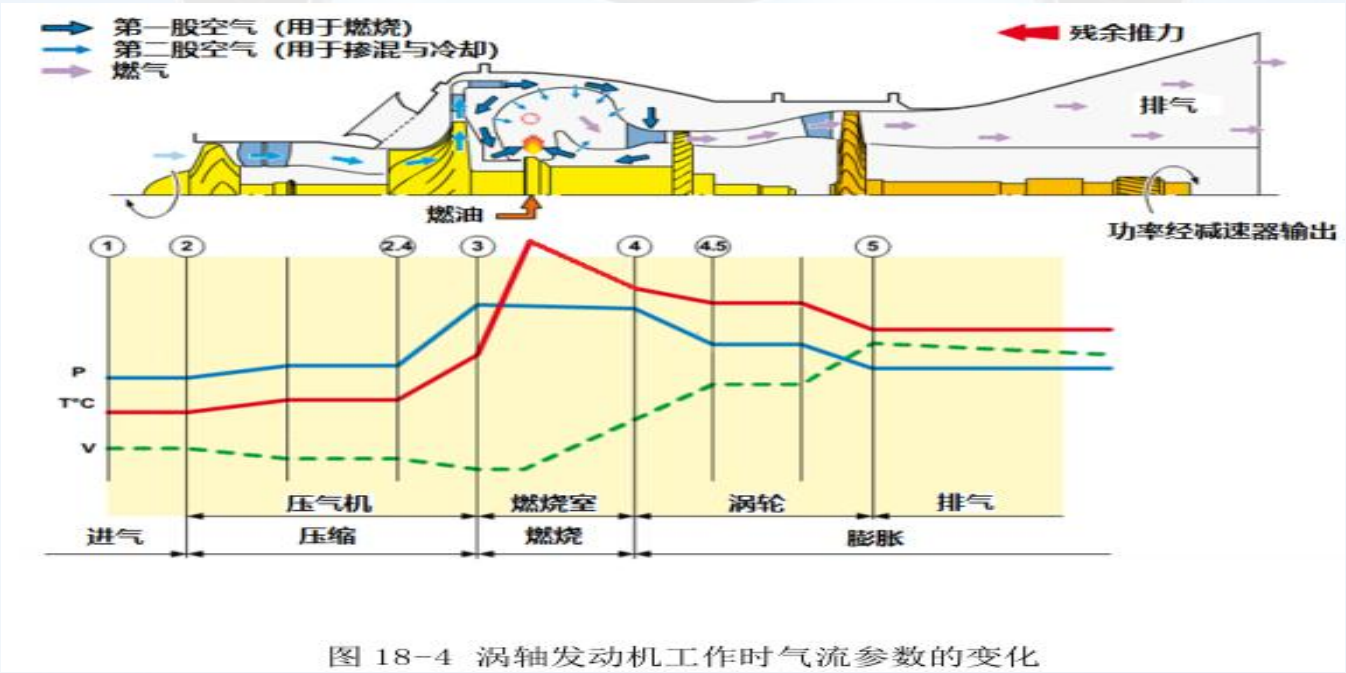
5.2.7.2 工作

2.1 涡轴发动机的工作原理

a 工作原理

进气，压缩，燃烧，膨胀做功，


- ◆ 燃气发生器涡轮带动压气机和附件
- ◆ 动力涡轮输出给飞机负载。



b 排气特点

- ◆ 提高发动机的热效率，燃气在涡轮中已膨胀充分，涡轮出口燃气静压已接近或低于大气压力，所以排气管道通常设计为扩散状
- ◆ 减速扩压，出口处静压等于外界大气压力排气管口，可以按照飞机的整体要求确定其位置和排气方向

2.2 涡轴发动机的工作特点

- 
- a. 几乎将所有可用能量通过动力涡轮输出机械功
 - b. 发动机经济性好
 - c. 发动机的工作环境恶劣
 - d. 应用广泛

a. 几乎将所有可用能量通过动力涡轮输出机械功

- ◆ 燃气在涡轮中过度膨胀，能量通过动力涡轮输出
- ◆ 发动机排气基本上不产生推力
- ◆ 涡轴发动机基本上已演变成热机

b 发动机经济性好

推进效率高，经济性好 {

- ◆ 直升机在低速范围($Ma < 0.3$)
- ◆ 发动机排气速度低，气体离速损失小

经济性与航空活塞发动机相当。

c 发动机的工作环境较为恶劣

- ◆ 直升机起飞、爬高和悬停，大功率状态，状态多变，热循环次数增加，机件寿命消耗快
- ◆ 野外频繁起降，飞行高度较低，易受到外来物的侵袭

d 应用广泛

舰船、坦克、机车动力装置；发电设备、石油及天然气输送设备

优势

- ◆ 功率质量比
- ◆ 转子振动
- ◆ 启动性和加速性
- ◆ 发动机噪声
- ◆ 使用寿命及维护性能

缺点

- ◆ 对活塞发动机，制造成本较高
- ◆ 小功率发动机经济性不好

2.3 涡轴发动机的燃油及控制

a 控制的基本原则

- a) 基本要求：所有工作状况下保持旋翼的转速 N_R 不变，并对发动机和直升机提供安全保护，

b) 安全保护

- ◆ 最大扭矩限制
- ◆ 最大、最小燃气发生器转速限制
- ◆ 涡轮前温度TET 限制
- ◆ 多发有动力涡轮超转保护负载匹配

c) 原理

控制系统

计量供入燃烧室燃油流量



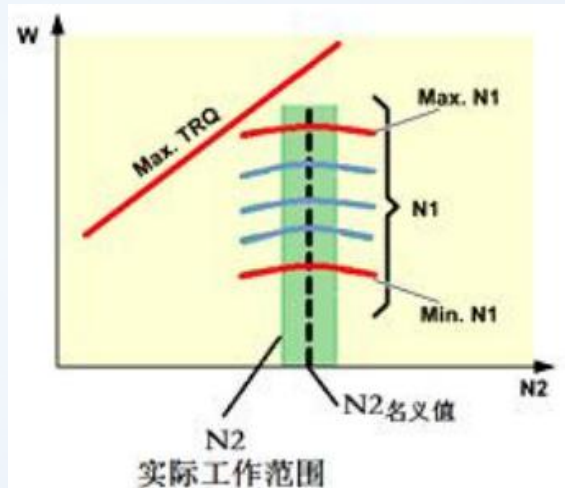
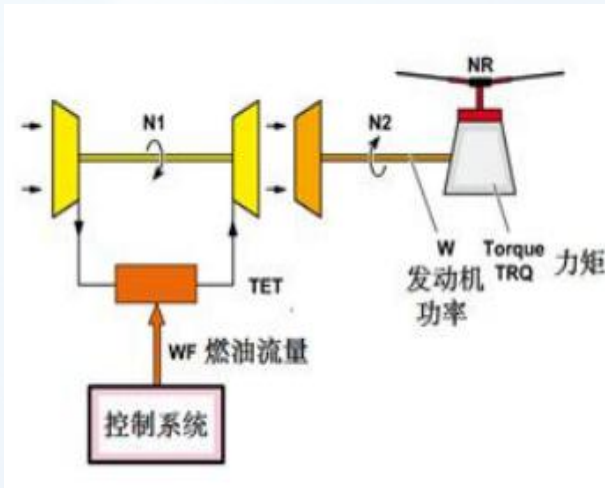
控制燃气发生器的转速



动力涡轮

保持旋翼（即动力涡轮）转速不变

- ◆ 提供飞机所要求的功率
- ◆ 发动机在安全限制范围内

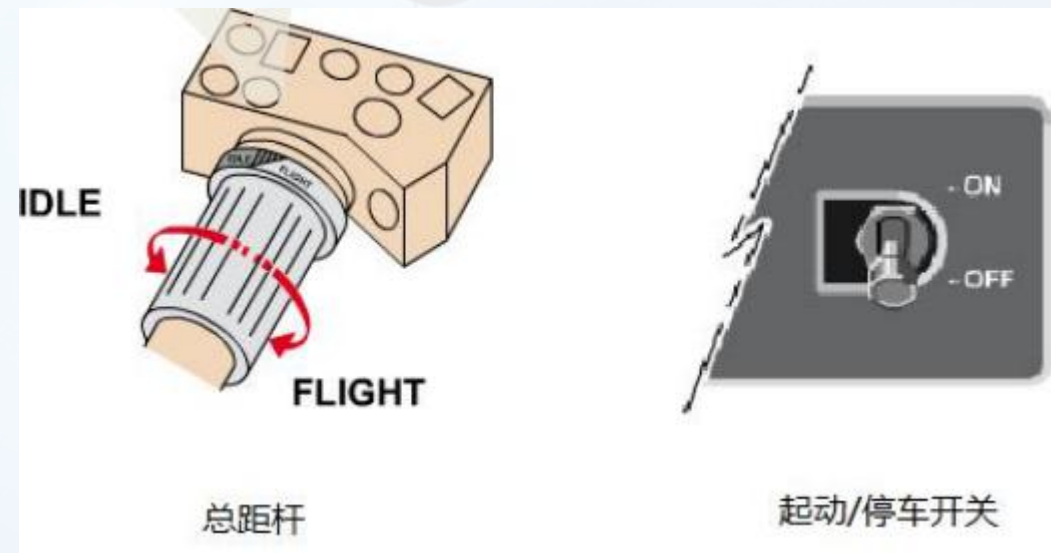


b 涡轴发动机控制 小松鼠 AS350 为例

a) 控制

- ◆ 总距杆 给出飞机的功率要求
- ◆ 飞行/慢车选择转动环（总距杆上） 飞行或慢车状态转换
- ◆ 起动/停车选择开关 实施发动机起动或停车

发动机实际发出的功率
由控制系统自动地确定



b) 控制原理部件

- ◆ N2 转速控制器
- ◆ N1 预置器
- ◆ N1 转速控制器
- ◆ N1* 限制器
- ◆ 燃油流量 WF 限制器
- ◆ 计量活门
- ◆ 多发有功率匹配

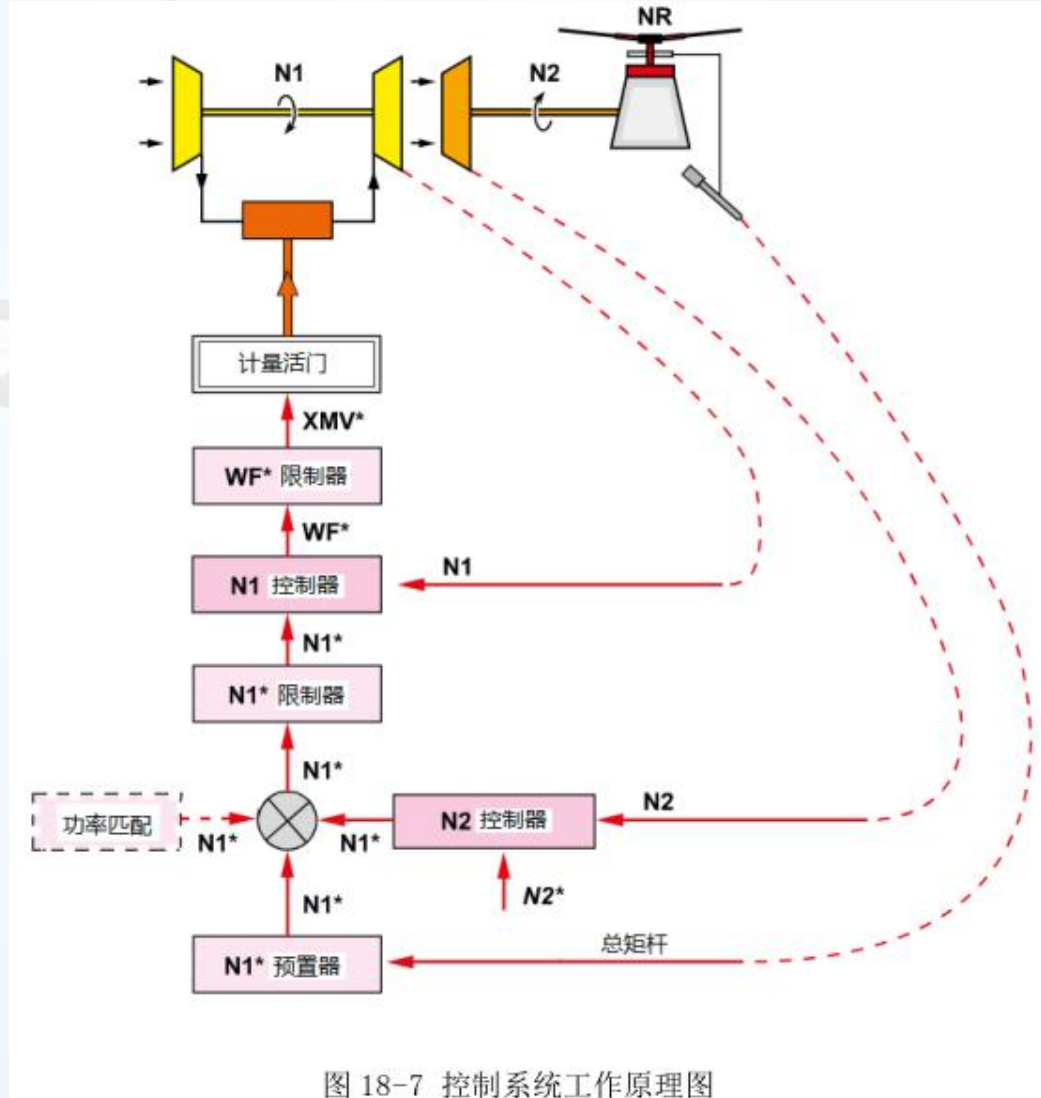


图 18-7 控制系统工作原理图

A 旋翼恒速

◆ N2 控制器

实际 N2 与要求的 $N2^*$ 比较 $\xrightarrow{\text{不一致}}$ N2 控制器输出 $N1^*$ 值

例如： 飞行中上提总距杆，旋翼总距增大，
发动机工状无变化



上提总距杆 \rightarrow 旋翼的总距增大 \rightarrow NR(即 N2)下降 \rightarrow
 $N2 < N2^* \rightarrow$ N2 控制器给的 $N1^* >$ 原来的 $N1^* \rightarrow$ 增大
 N1 \rightarrow 提高发动机输出功率

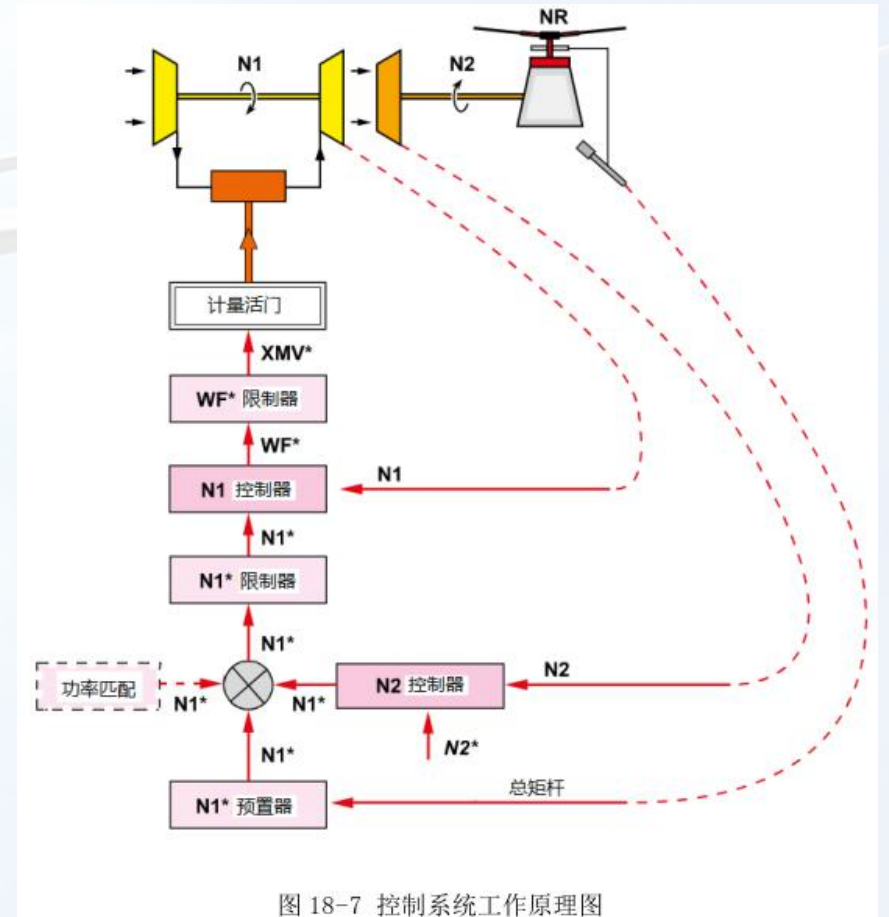


图 18-7 控制系统工作原理图

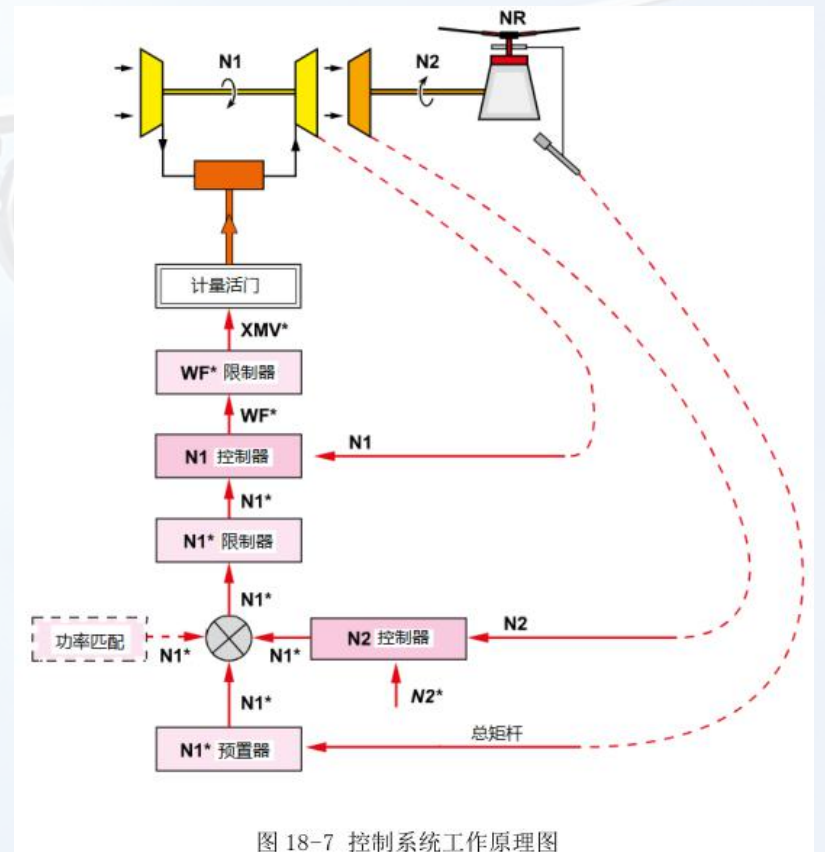
◆ N1*限制器

判断N1*是否在安全限制范围内， N1*在最大和最小值之间。

◆ N1 控制器

N1 与 N1*比较， 计算要求值燃油流量 WF*。

$N1 < N1^*$ ， N1 控制器给更大燃油流量要求WF*

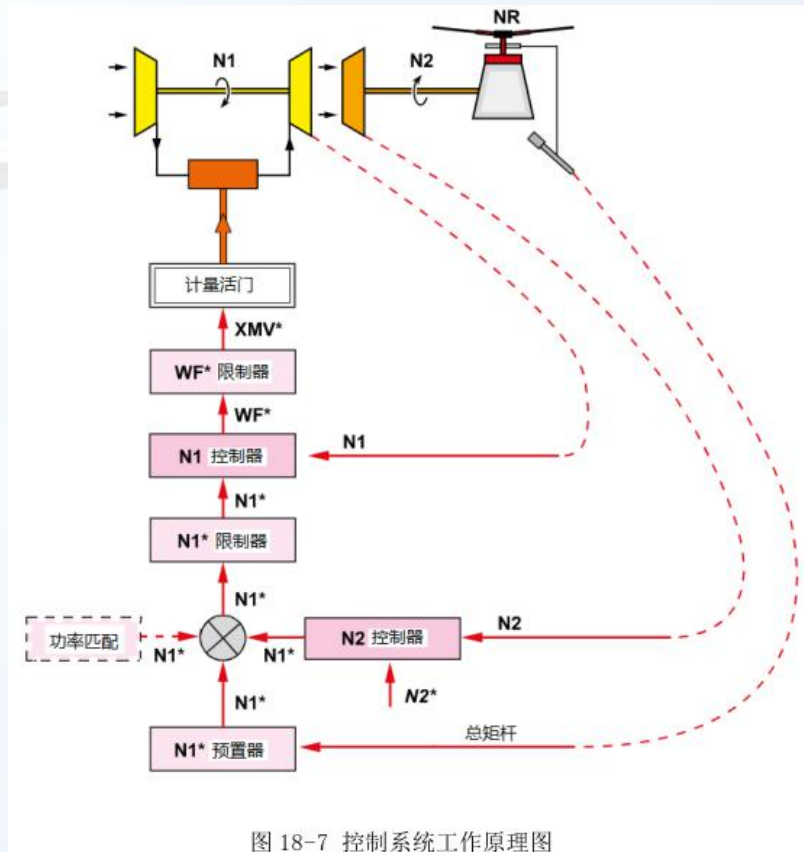


◆ WF*限制器

WF*是否在范围内，确保发动机安全。后控制器根据WF*通过计量活门向燃烧室供油（改变计量活门的位置）。

◆ N1 预置器

感受总距杆位置，动总距杆，快速给粗略的 N1*要求值，缩短过渡过程时间，发动机功率的快速反应，使 NR 的波动范围更小，而更平稳。

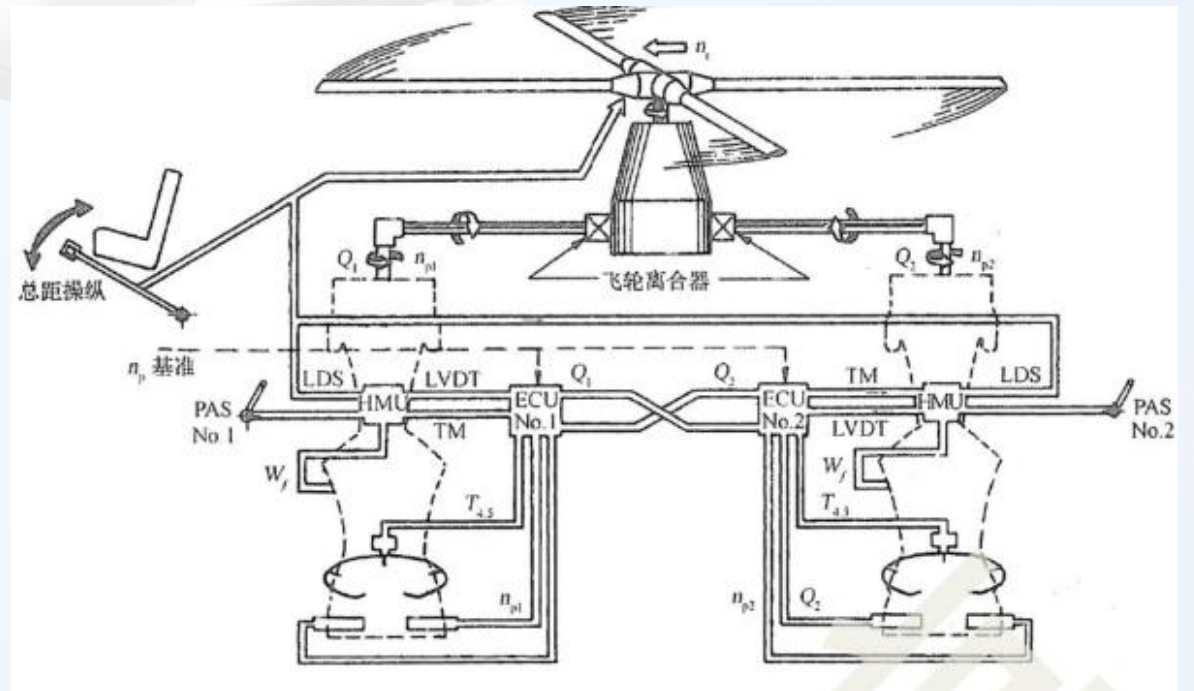


B 功率匹配/负载分配 Bell 214 双发直升机

匹配最大原理： 使每台发动机输出相同的功率，控制系统比较多台发动机功率输出，不一致时，增大功率输出小的发动机的功率输出，使每台发动机的功率输出相同，

功率匹配的实施：

控制系统将两台发动机的输出扭矩做比较。扭矩大的不做改变，增加输出扭矩小的燃油流量，增大其输出扭矩直到与输出扭矩大的发动机输出扭矩相等



C 发动机的安全保护装置

控制系统作用 {

- ◆ 保持旋翼恒速
- ◆ 发动机安全保护

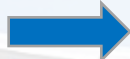
保护:

- ◆ 超扭保护 扭矩限制功能，防止损坏飞机功率传送机构，减少燃油流量
- ◆ 自由涡轮超转保护器 多发防止自由涡轮轴断裂，自由涡轮超转，自动停车
- ◆ 超温保护 限制排气温度（或燃气发生器出口温度），涡轮温度不超限

c 涡轴发动机燃油与控制系统

a) 控制系统发展

机械液压控制器



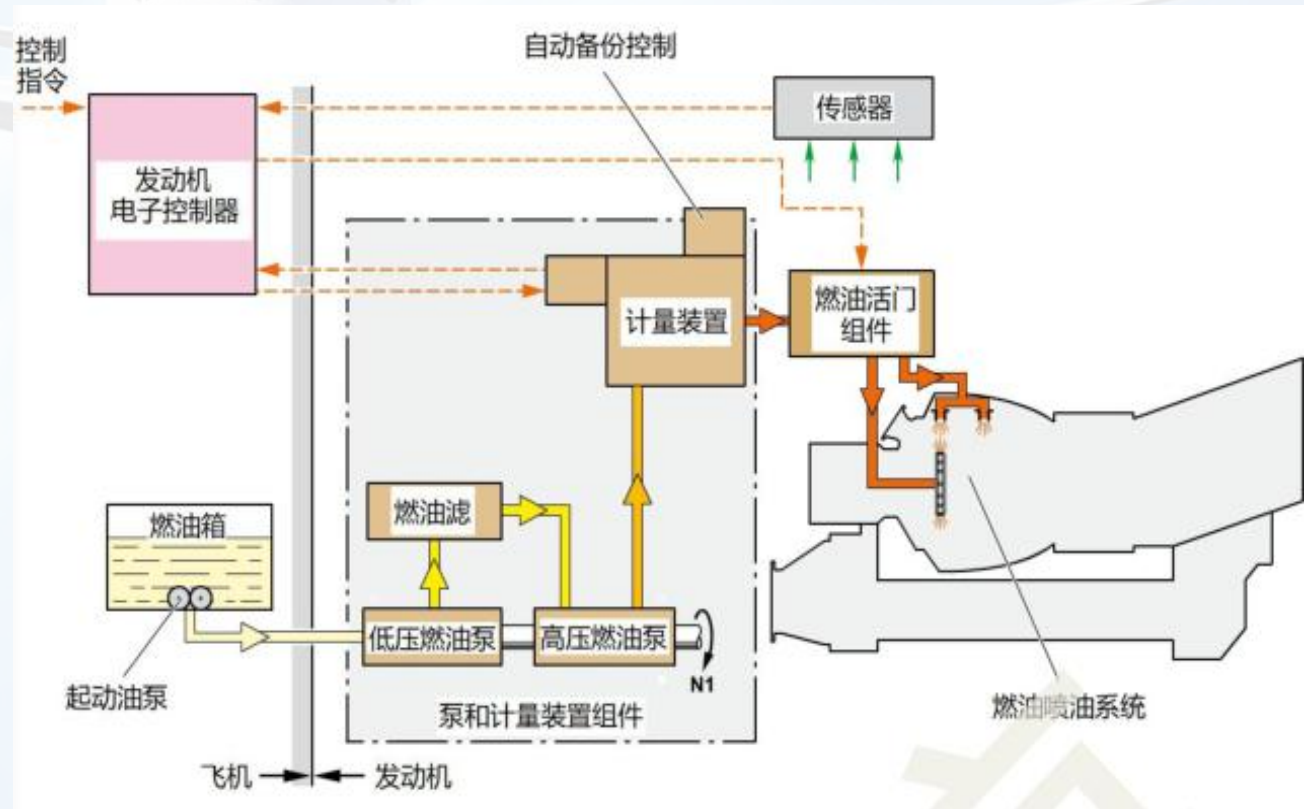
全权限数字电子控制(FADEC: Full Authority Digital Electronic Control)

FADEC优点

- ◆ 功能多
- ◆ 控制精度高
- ◆ 提高控制系统的可靠性

b 组成:

- a) 电子控制器 (ECU: Engine Electronic Control Unit)
- b) 泵和计量装置组件 (液压机械装置 HMU: Hydro-Mechanical Unit)
- c) 油箱 (含起动油泵)
- d) 传感器
- e) 燃油活门组件
- f) 燃油喷油系统
- g) 自动备份装置



a) 电子控制器ECU

双通道结构



提高可靠性

- ◆ 输入模块
- ◆ 计算模块
- ◆ 输出模块
- ◆ 存储模块

控制指令 (飞行员)
传感器信号



电子控制器



- ◆ 起动/停车控制
- ◆ 稳态控制
- ◆ 加/减速控制
- ◆ 安全保护
- ◆ 发动机状态监视与故障诊断
- ◆ 提供维护信息

b) 泵和计量装置组件

- ◆ 低压油泵

- ◆ 油滤

- ◆ 高压油泵

- ◆ 计量装置

响应电子控制器指令，确定计量活门开度，提供适量的燃油。

c) 燃油活门组件

实现起动喷嘴和主供油之间的燃油分配。保证发动机起动供油和正常供油



d) 传感器

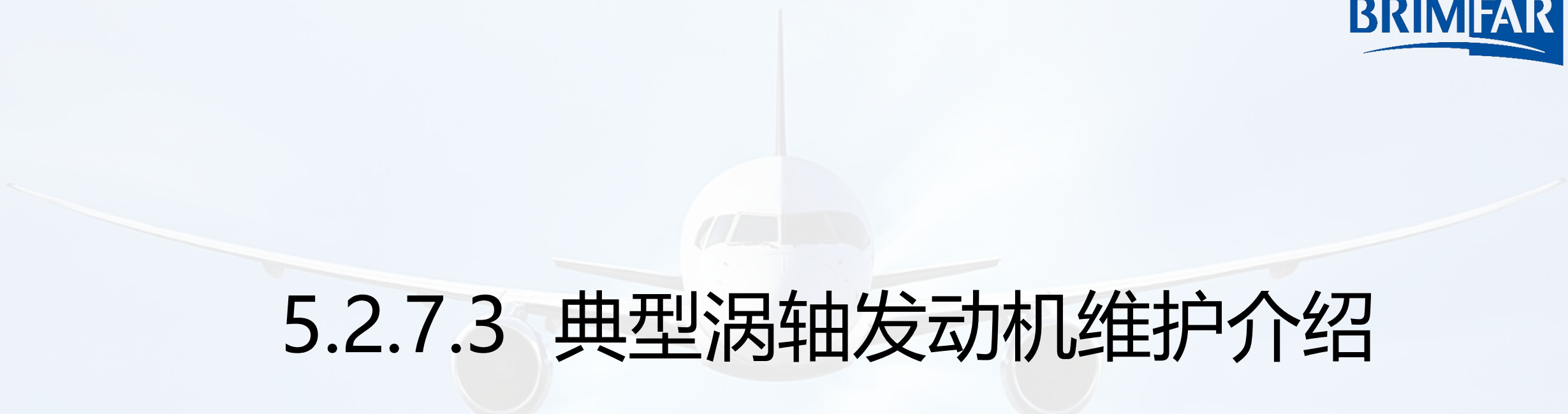
向电子控制器提供有关的测量参数信号

e) 自动备份装置

- ◆ 模拟电子装置，独立于电子控制器（EEC）
- ◆ 自动控制失效，计量活门“冻结”在故障前位置，启动自动备份。
- ◆ 备份模式，发动机无自动保护，防超转、超扭和超温

旋翼转速（动力涡轮）

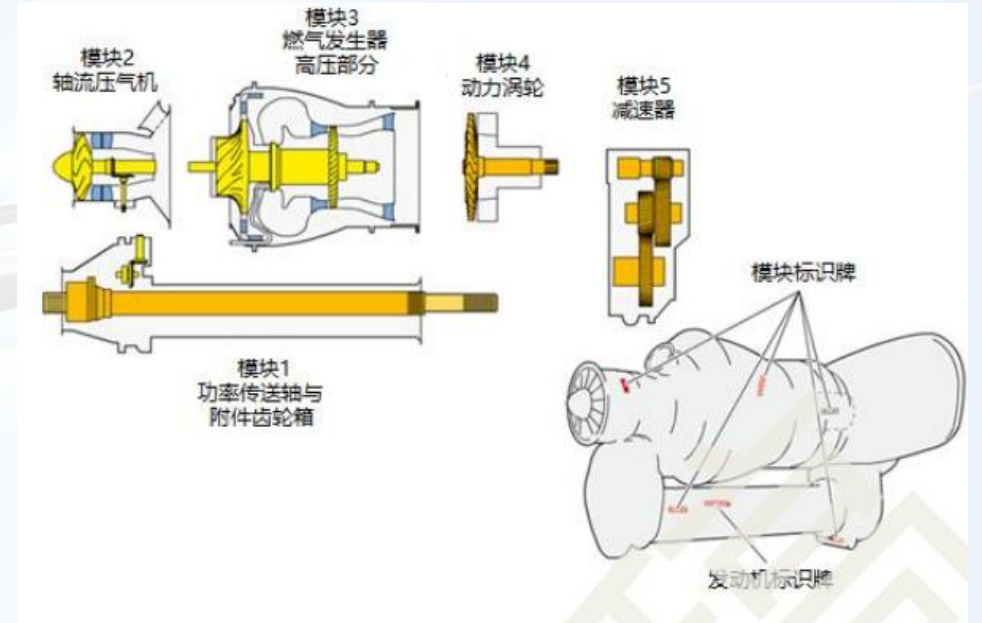


A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and tail.

5.2.7.3 典型涡轴发动机维护介绍

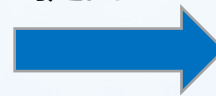
3.1 涡轴发动机的单元体结构 赛峰直升机

- ◆ 功率传送轴和附件齿轮箱（模块 1）
- ◆ 轴流压气机（模块 2）
- ◆ 燃气发生器高压部分（模块 3）
- ◆ 动力涡轮（模块 4）
- ◆ 减速器（模块 5）



- 优点 {
- ◆ 无复杂的工具更换单元体
 - ◆ 更换后无调试

提高



维护性和使用率

3.2 涡轴发动机的维护

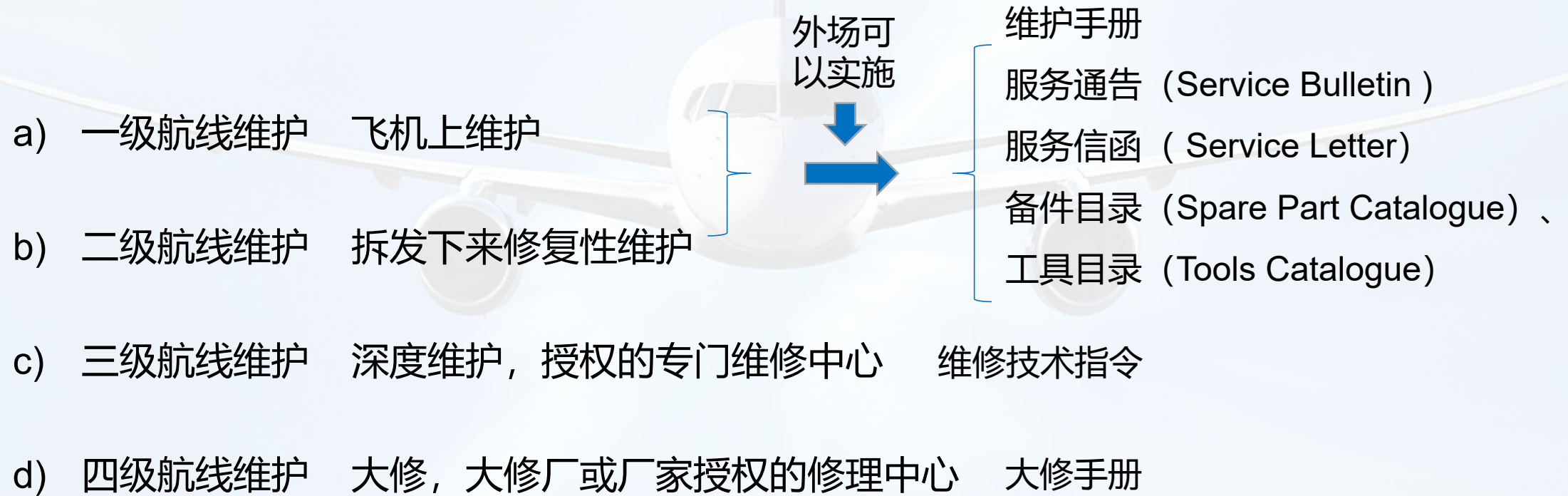
a 思想理念

以可靠性为中心维修

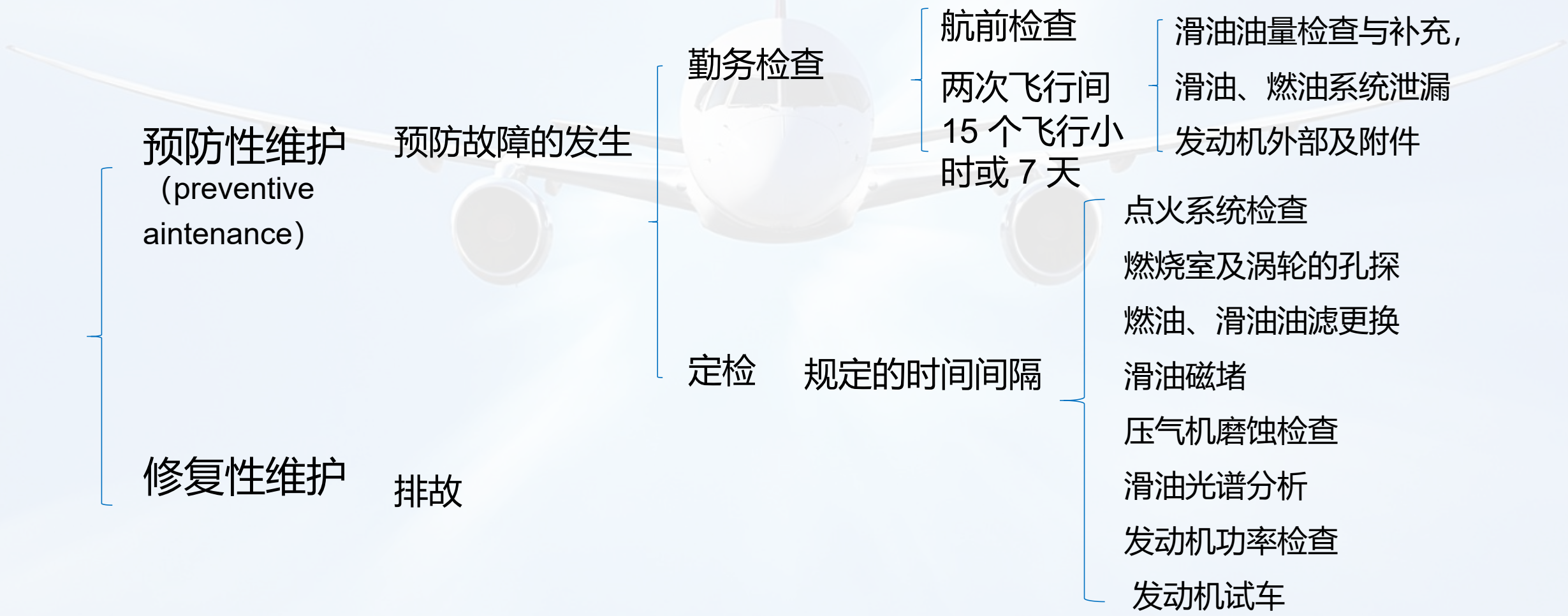
现代维护理念

- ◆ 模块化设计
- ◆ 附件的可达性
- ◆ 快速拆装
- ◆ 视情维护

b 维护分类:



a) 一级航线维护



b) 二级航线维护

修复性维护

查找故障 Troubleshooting Book

更换模块更换故障零/部件

航线 LRU: Line Replaceable Unit

车间 SRU: Shop Replaceable Unit

送大修厂修修理

c) 三级航线维护

也称**深度维护**，授权的专门维修中心根据**维修技术指令**更换模块内零件。

d) 四级航线维护

也叫**大修**。大修厂或厂家授权的修理中心根据**大修手册**实施大修、修理或修复性维护。

c. 一、二级航线维护附加工作内容

发动机时寿件管理

需要记录发动机时寿件的寿命消耗，计算其剩余寿命，并记录在发动机履历本中，在剩余寿命消耗完以前更换所属模块，送维修中心或大修厂更换

发动机或模块送修管理

在发动机履历本中记录发动机/模块的工作小时数，当达到其规定大修间隔时间（TBO: Time Between Overhaul），将其送到大修厂或专门的修理中心进行

小结:

序号	思考题
1	作用和组成
2	工作
3	典型涡轴发动机维护介绍



感谢聆听，欢迎指正