



# M5.5.2.8 涡轮螺旋桨发动机

## 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:

<b>目的</b>	通过本次课程的学习，掌握涡桨发动机的特点，典型减速齿轮箱，典型涡桨发动机及。
<b>要求</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 涡桨发动机的构造特点和工作特点</li><li>2. 典型涡桨发动机单元体及主要附件</li><li>3. 典型涡桨发动机常见维护及安全注意事项</li></ol>

# 课程安排:

序号	内容	等级	课时
1	涡桨发动机的特点	1	1H
2	典型减速齿轮箱	1	1H
3	典型涡桨发动机	1	1H
4	典型涡桨发动机维护介绍	1	1H

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

5.2.8.1 涡桨发动机的特点

5.2.8.2 典型减速齿轮箱

5.2.8.3 典型涡桨发动机

5.2.8.4 典型涡桨发动机维护介绍

## 涡桨发动机介绍

组成：螺旋桨和燃气发生器

用途：支线飞机及通用飞机领域（ATR、庞巴迪、新舟系列）

优点 { 活塞式比，重量轻、振动小  
涡喷和涡扇比，油耗低和起飞推力大

原理：动力涡轮把大部分变为轴功率，驱动螺旋桨，小部分（10%）产生推力，动力涡轮与螺旋桨有减速器

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

## 5.2.8.1 涡桨发动机的特点

## 1.1 涡桨发动机的构造特点

### a 发动机组成

- ◆ 螺旋桨
- ◆ 减速器 螺旋桨与功率输出轴间，使螺旋桨转速低于涡轮功率输出轴转速，发动机输出大功率时，螺旋桨的效率较高
- ◆ 进气装置 确保空气顺利进入发动机，有的有防尘、防冰装置
- ◆ 燃气发生器 核心部件，产生高温、高压燃气，便于在涡轮中膨胀
- ◆ 动力（自由）涡轮
- ◆ 排气装置 喷出发动机，产生少量推力，有的有热交换器和消音器

将燃气绝大部分的可用能量通过涡轮传递给螺旋桨，涡桨发动机的涡轮都为多级涡轮，以确保燃气在涡轮中充分膨胀

## b 附件组成

- ◆ 螺旋桨转速调节器系统
- ◆ 顺桨控制装置
- ◆ 回桨控制装置
- ◆ 反桨控制装置

## 1.2 涡桨发动机的工作

### a 发动机推力主要来自螺旋桨拉力

- ◆ 85% ~ 90% 用来带动螺旋桨
- ◆ 10% 左右增加气体动能

b 发动机起飞推进力大，飞机起飞性能好

发动机传递给螺旋桨功率一定时，飞行速度降低，螺旋桨拉力增加

c 螺旋桨可产生负拉力

螺旋桨桨叶迎角负迎角，螺旋桨将产生负拉力。改善飞机着陆和中断起飞性能。

d 发动机中、低速经济性好

- ◆ 飞机中、低速飞行时，螺旋桨效率高，喷气速度低，离速损失小，喷气推进效率高
- ◆ 飞行速度高（ $> 373\text{mile/h}$ ），螺旋桨产生激波阻力，螺旋桨效率急剧下降，发动机性能变差

e 发动机功率的输出受到减速器负荷的限制

- ◆ 减速器减速比达 1: 15, 巨大的扭矩, 负荷较重, 受到减速器重量和尺寸的限制, 功率输出不可能无限制增加。
- ◆ 减速器的质量是压气机和涡轮的总和, 减速器寿命影响发动机寿命。特别防止发动机超负荷使用 (尤其在冬季飞行时)。

缺点: 螺旋桨噪声大, 影响飞机舒适性

## 1.3 主要性能参数

a 当量轴功率 (ESHP)  $N_{equ}$

a) 发动机有效功率  $N_e$ : 发动机用来带动螺旋桨的功率

b) 螺旋桨轴功率  $N_S$ : 发动机经减速器传递给螺旋桨的功率

$$N_S = N_e \eta_m$$

$\eta_m$  减速器的机械效率, 约 0.97 ~ 0.98

$$N_S = KMn_B$$

K —— 发动机结构常数;

M —— 减速器传递的扭矩;

$n_B$  —— 螺旋桨转速

- ◆ 螺旋桨轴功率一定, 转速越低, 扭矩越高
- ◆ 防止减速器齿轮过度磨损, 限扭, PT6A-61, 最大 2230 lb·ft

c) 螺旋桨的推进功率 $N_B$

$$N_B = pV_{fly}$$

$p$  ——螺旋桨拉力

$V_{fly}$  ——飞行速度（发动机零位气流速度  $c_0$  大小相等，方向相反， $V_{fly} = c_0$ ）

d) 螺旋桨效率  $\eta_B$ 

螺旋桨推进功率与螺旋桨轴功率之比

$$\eta_B = \frac{N_B}{N_S}$$

- 桨叶的摩擦损失
- ◆ 存在的损失有
  - 激波损失（一定条件下存在）
  - 离速损失。
- ◆ 在飞行使用中，螺旋桨效率主要随桨叶迎角和飞行速度变化

## e) 当量轴功率

喷气的推进功率是由螺旋桨产生的，折合为螺旋桨轴功率

当量轴功率：折合轴功率与螺旋桨自身轴功率之和

$$N_{equ} = N_s + \frac{FV_{fly}}{75\eta_B}$$

- ◆  $N_{equ}$  当量轴功率 (hp即马力)
- ◆  $N_s$  螺旋桨自身轴功率 (hp)
- ◆  $\eta_B$  螺旋桨效率
- ◆  $F$  喷气推力(daN)
- ◆  $V_{fly}$  飞行速度(m/s)

## f 地面当量轴功率换算

地面工作时，螺旋桨产生 1 kgf 拉力，需要 0.83 ~ 0.91 hp 的轴功率

$$N_{\text{equ},0} = N_{S,0} + KF_0$$

- ◆  $N_{\text{equ},0}$  飞行速度为零时的当量轴功率
- ◆  $N_{S,0}$  飞行速度为零时，螺旋桨的轴功率
- ◆  $F_0$  飞行速度为零时，发动机的喷气推力
- ◆  $K$  0.83 ~ 0.91，马力折合系数，单位hp/daN，值随螺旋桨的型别不同而变化

b 当量燃油消耗率  $sfc_{equ}$

- ◆ 每产生 1 hp 的当量轴功率，在 1h 内所消耗的燃油量
- ◆ 描述了涡桨发动机的经济性
- ◆ 起飞  $sfc_{equ}$ : 0.20 ~ 0.28 kg/(hp·h)，接近活塞发动机的经济性

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

## 5.2.8.2 典型减速齿轮箱

## 2 典型减速齿轮箱

齿轮减速器是航空发动机驱动螺旋桨必不可少的部件，它是涡桨发动机传动系统的重要组成部分。它的一端与发动机转子或动力涡轮相连，另一端与螺旋桨相接

- ◆ 为使涡轮效率高，外廓尺寸小，转速要高， $6000 \sim 18000 \text{ r/min}$
- ◆ 螺旋桨最有利转速较低，转速为  $800 \sim 1200 \text{ r/min}$



减速齿轮箱

两个转速不同部件相互匹配，分别在最佳转速工作，传递功率

PW127J 为二级偏置式减速齿轮箱，减速比为  $16.67:1$

## a 目的

航空发动机减速器的作用是使两个转速不同的部件相互匹配，  
分别在各自的最佳转速工作，并能高效率地传递功率  
将动力涡轮的转速（NPT20000rpm）减至适合螺旋桨工作的  
转速（NP1200rpm），驱动相应附件。

## b PW127J减速齿轮箱描述

- ◆ 二级偏置式减速齿轮箱
- ◆ 二级减速后有 4个附件驱动输出轴
- ◆ 第一级和第二级之间，有电子扭矩测量系统

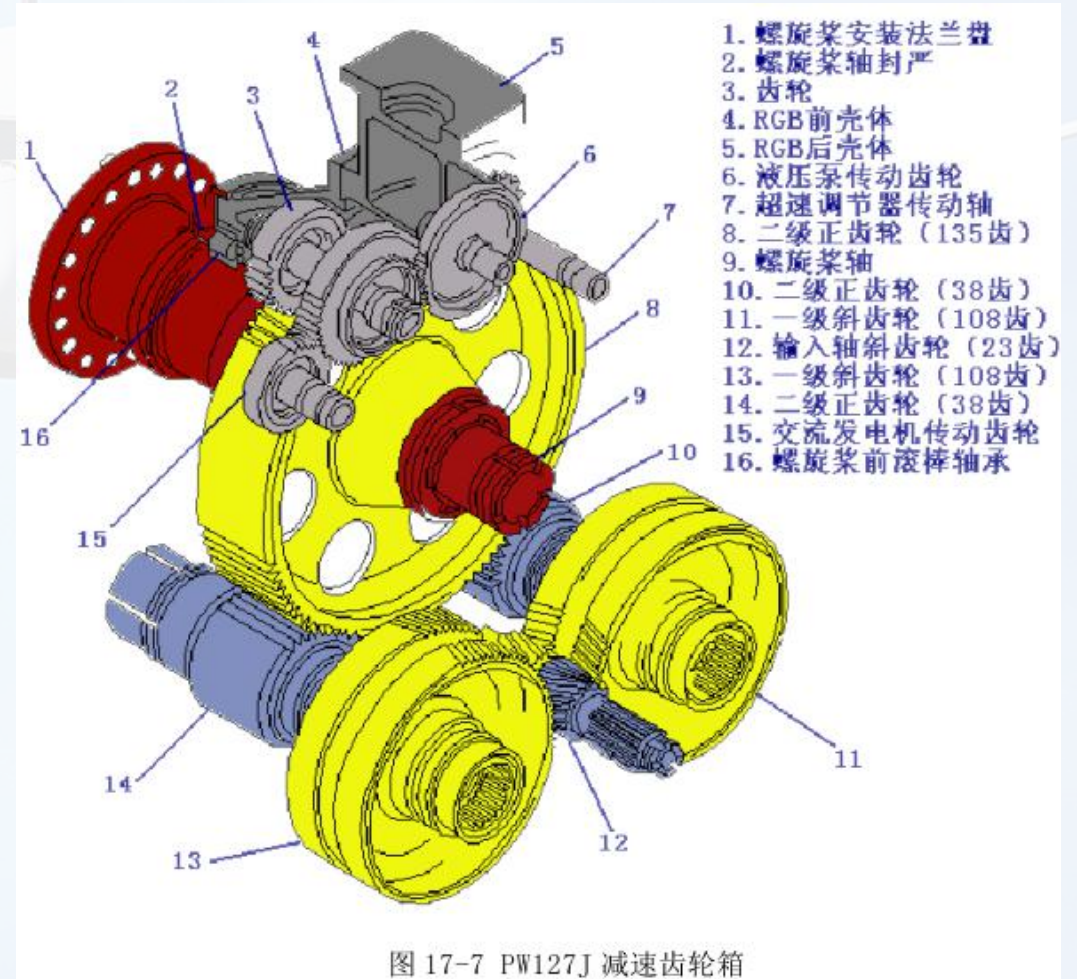


图 17-7 PW127J 减速齿轮箱

## c 部件安装

表 17-3 外部附件及其转速

序号	附件名称	转速 (rpm)	转向	备注
1	交流发电机	14634	顺时针	从驱动端看
2	超速调节器	5446	逆时针	共用一个传动轴
3	PCU 泵	5446	逆时针	
4	PCU	1200	顺时针	
5	液压泵	6020	顺时针	
6	螺旋桨转速传感器			
7	扭矩传感器			两件
8	电动顺桨泵			
9	金属屑探测器			两件
10	螺旋桨	1200	顺时针	

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

## 5.2.8.3 典型涡桨发动机

## PW127J介绍

### 自由涡轮式双转子涡轮螺旋桨发动机

- ◆ 2 级离心式压气机
- ◆ 14 个气动喷嘴的环形回流式燃烧室
- ◆ 2 级轴流式动力涡轮
- ◆ 2 级轴流式自由涡轮
- ◆ 减速器 2 级减速, 1200r/min

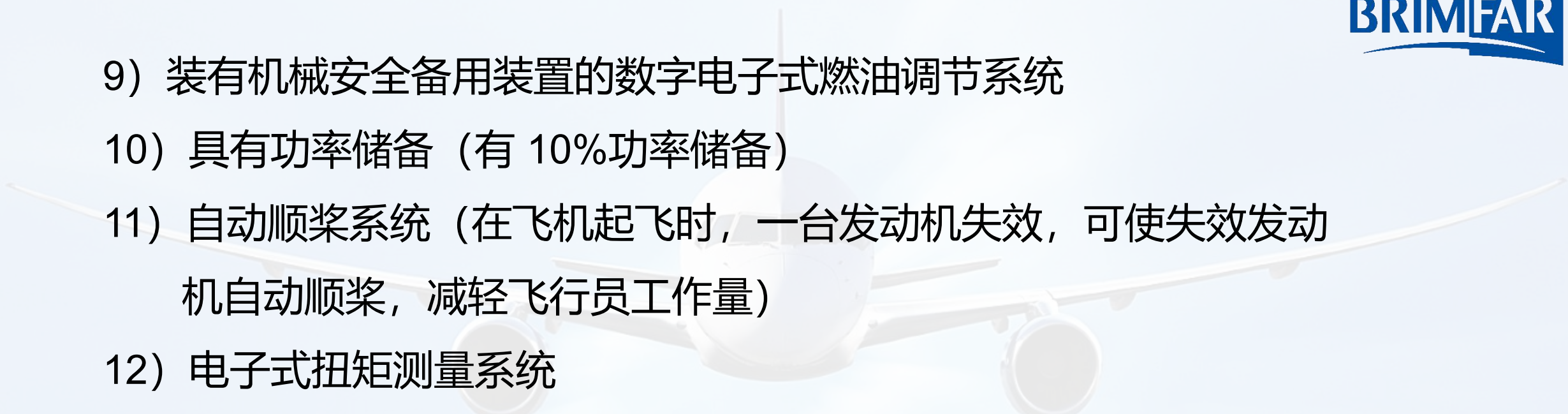


图 17-2 PW127J 发动机剖面图

发动机的主要特点是采用 2 级双转子离心式压气机、分别由各自的涡轮驱动，高压涡轮和低压涡轮均为单级轴流式

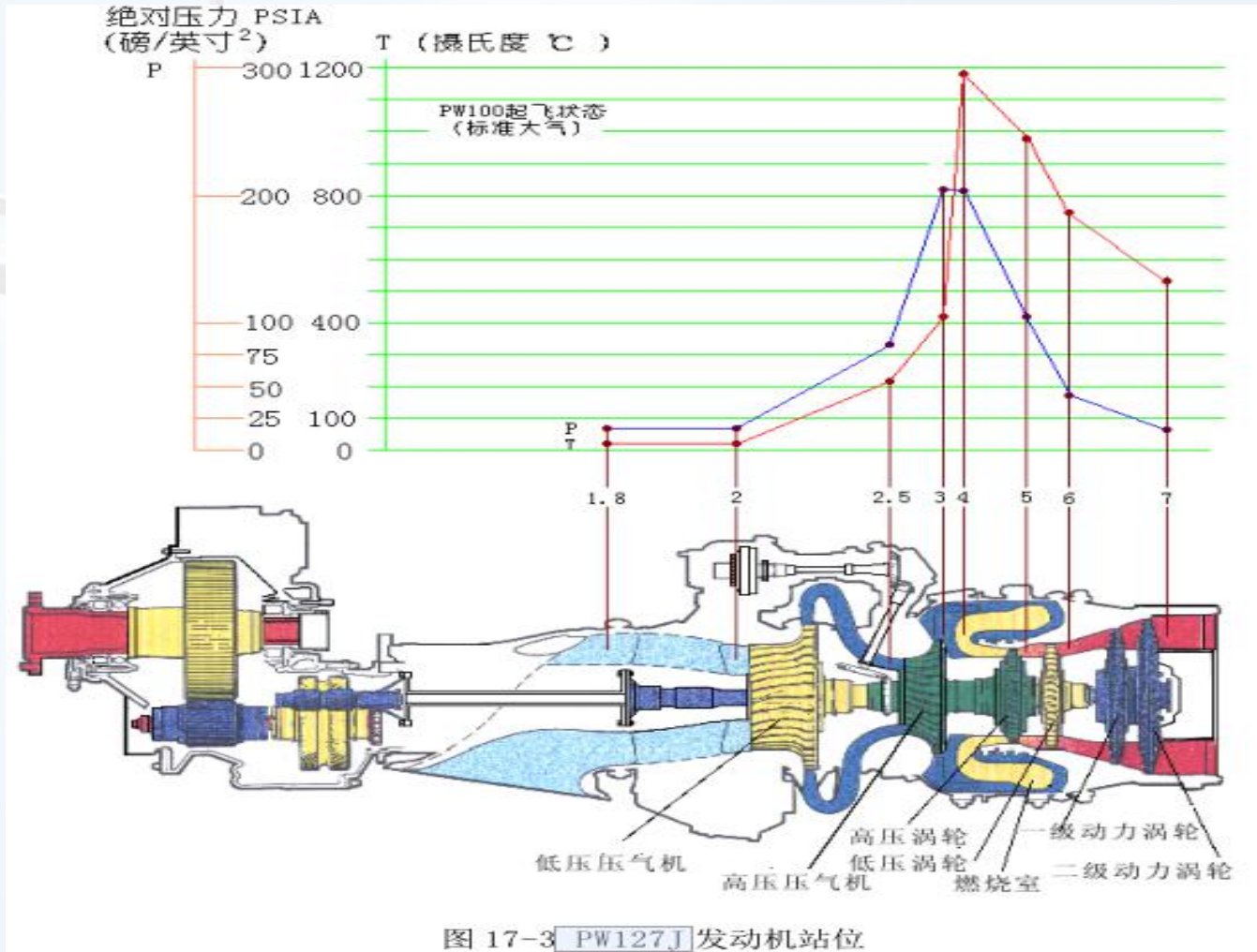
### 3.1 PW127J特点

- 1) 2750 轴马力
- 2) 单元体：涡轮机、减速齿轮箱
- 3) 双转子压气机(低压叶轮和高压叶轮)
- 4) 自由涡轮（动力涡轮与高、低压转子分离，启动容易；可变的螺旋桨速度）
- 5) 三轴（高压转子轴、低压转子轴和动力涡轮轴）
- 6) 直流式（前端进气，后端排气）
- 7) 回流式燃烧室（使发动机变得更短、更轻）
- 8) 用功率杆 PLA 位置来控制功率

- 
- 9) 装有机械安全备用装置的数字电子式燃油调节系统
  - 10) 具有功率储备 (有 10%功率储备)
  - 11) 自动顺桨系统 (在飞机起飞时, 一台发动机失效, 可使失效发动机自动顺桨, 减轻飞行员工作量)
  - 12) 电子式扭矩测量系统
  - 13) 发动机转向 (从尾喷管向前看) :
    - 螺旋桨和动力涡轮 顺时针
    - 高压转子 顺时针
    - 低压转子 逆时针

### 3.2 PW127J站位

站位	温度 (°C)	压力PsiA(Kgf/cm <sup>2</sup> )	名称
1.8	15	14.7/1.033	后进气机匣入口
2	15	14.7/1.033	低压压气机前
2.5	236	77/5.39	高压压气机前
3	429	216/15.12	高压压气机出口
4	1185	211/14.83	燃烧室出口
5	979	103/7.24	高压涡轮出口
6	742	45/3.16	低压涡轮出口
7	531	15.6/1.097	自由涡轮出口



## 3.3 PW127J安装边

- B - 减速齿轮箱至前进气机匣;
- C - 前进气机匣至后进气机匣;  
仅在大修时分离
- D - 后进气机匣至低压扩压机匣;
- E - 低压扩压机匣至压气机中介机匣;
- F - 压气机中介机匣至燃气发生器机匣;  
热段检查时分离
- K - 燃气发生器机匣至涡轮支撑机匣

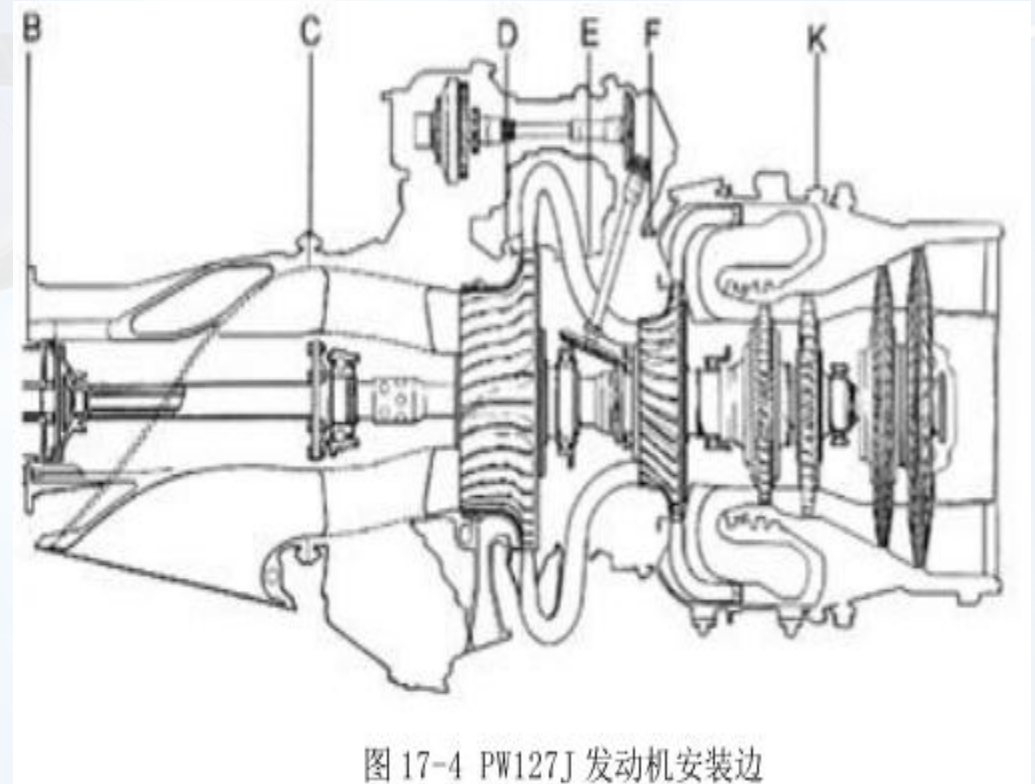


图 17-4 PW127J 发动机安装边

### 3.4 PW127J轴承

滚珠轴承：吸收轴向和径向载荷

滚棒轴承：仅吸收径向载荷且允许轴向膨胀延伸

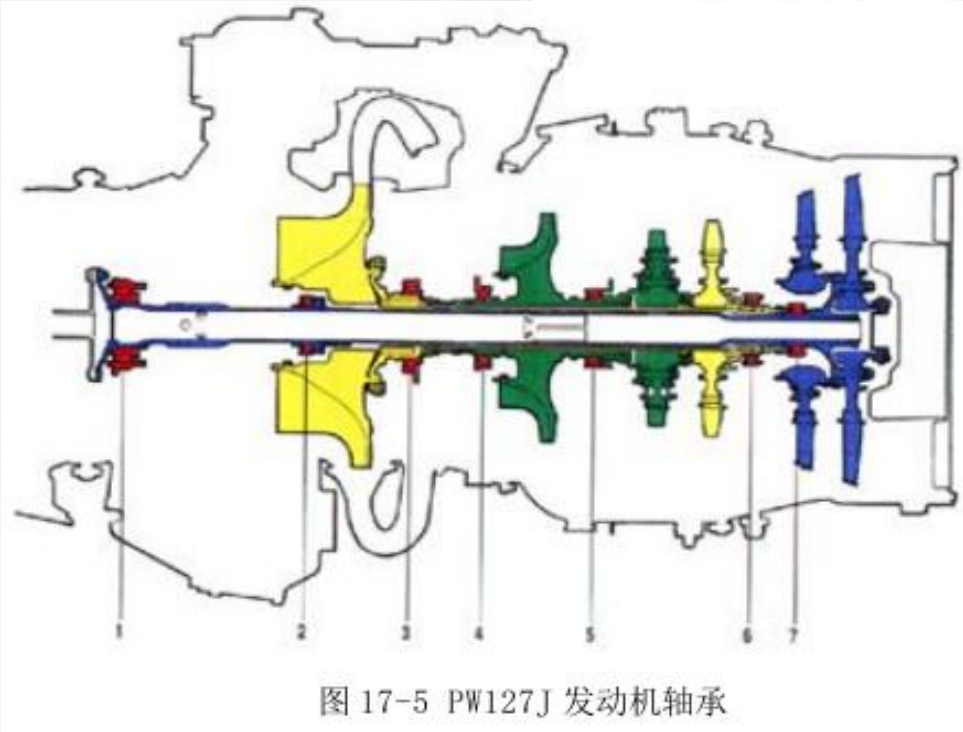


图 17-5 PW127J 发动机轴承

表 17-2 转子支撑方案

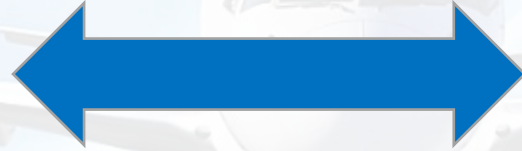
旋转部件	高压转子	低压转子	动力涡轮轴
轴承	4 号滚珠 5 号滚棒	3 号滚珠 6 号滚棒	1 号滚珠 2 号滚棒 7 号滚棒
旋转	顺时针	逆时针	顺时针
轴载荷	向前	向前	向后

## 3.5 涡桨发动机的操作

a 组成

自由涡轮发动机

优点

三个旋转部件  
未连接在一起

- ◆ 低压压气机和低压叶轮
- ◆ 高压压气机和高压叶轮
- ◆ 两级动力涡轮和动力涡轮轴

独立于压气机的速度来  
变换螺旋桨的速度。

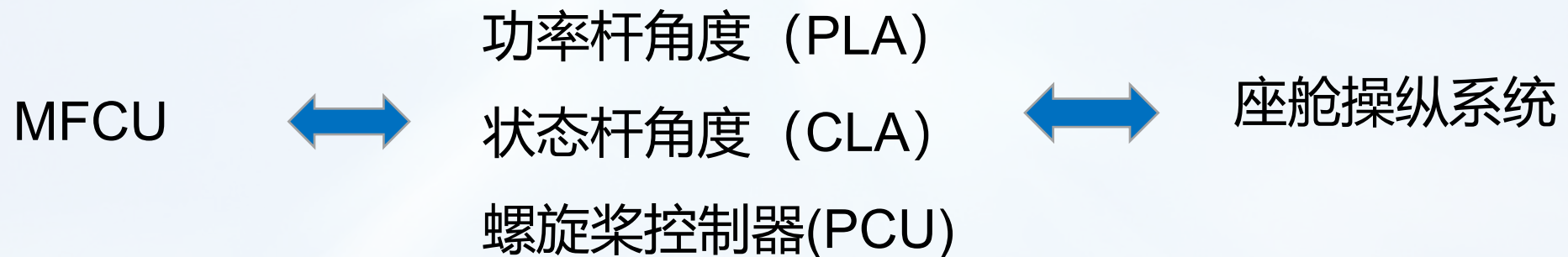
启动高压转子，启动力  
矩小

三个旋转部件未连接在一起，以不同的速  
度和相反的方向进行旋转，这种设计被称  
之为“自由涡轮发动机”

b 机械式燃油控制器 (MFCU)

a) MFCU控制

包线内控制器保证发动机电子控制器 (EEC) 和人工工作模式的基础



b) MFCU部件

机械式燃油  
控制器



功率摇臂  
状态摇臂

连杆



螺旋桨  
控制器



功率摇臂  
状态摇臂

钢索和  
软轴



驾驶舱



功率杆 最大正、负拉力调节发动机功率

状态杆 {  
◆ 最大、最小转速调节螺旋桨转速  
◆ 螺旋桨顺桨, 使发动机断油停车

RVDT



EEC

正常  
手动

MFCU 计量给发动机的燃油流量, 也向油箱中的燃油泵引射提供动流

c) 螺旋桨控制器 (PCU)

装在减速齿轮箱上

螺旋桨控制器 (PCU)

改变桨叶角度

螺旋桨的速度

↑  
功率需求

↑  
机组速度选择

↑  
飞行条件

## c 螺旋桨几种工作状态

### a) 调速状态

状态杆在调速范围任位置，螺旋桨对应转速下恒速转动

发动机功率不变

到最大转速，桨叶角 $\downarrow$ ，螺旋桨 $\uparrow$ 。到稳态  
到最小转速，桨叶角 $\uparrow$ 。螺旋桨 $\downarrow$ ，到稳态。

状态杆位置不变

功率增加— $n\uparrow$ —桨距增加—桨叶角变大， $n\downarrow$ 。  
功率减小— $n\downarrow$ —桨距减少—桨叶角变大， $n\uparrow$

## b) 进场着陆状态

为了使拉力减至最小而使飞机顺利着陆，当螺旋桨处于欠速状态，螺旋桨的实际转速较低，这种方式用于进场、着陆全过程

### c) 飞机着陆滑跑状态

- ◆ 接地后，功率杆越过飞行慢车止动卡槽，置于飞行慢车与最大反桨之间。
- ◆ 螺旋桨桨叶角直接由功率杆凸轮来控制。
- ◆ 拉力和负拉力的大小也是由功率杆从地面慢车位置后拉，负拉力增大，直到最大反桨，负拉力最大

#### d) 顺桨状态

- ◆ 在空中或地面使螺旋桨处于顺桨状态
- ◆ 空中使失效发动机的螺旋桨阻力最小
- ◆ 地面用于发动机停车状态

## e) 超速状态

- ◆ 螺旋桨转速的超速保护系统，防止螺旋桨超速
- ◆ 超速调节器由发动机制造厂提供，在发动机减速齿轮箱上
- ◆ 螺旋桨控制系统是附加安全装置，为备份系统，防止发动机和螺旋桨严重超速

A faint, light-colored silhouette of a twin-engine aircraft is centered in the background of the slide.

## 5.2.8.4 典型涡桨发动机维护介绍

## 4.1 涡桨发动机单元体及主要附件识别



a 冷段 提供空气流量，并增压以满足不同的需要

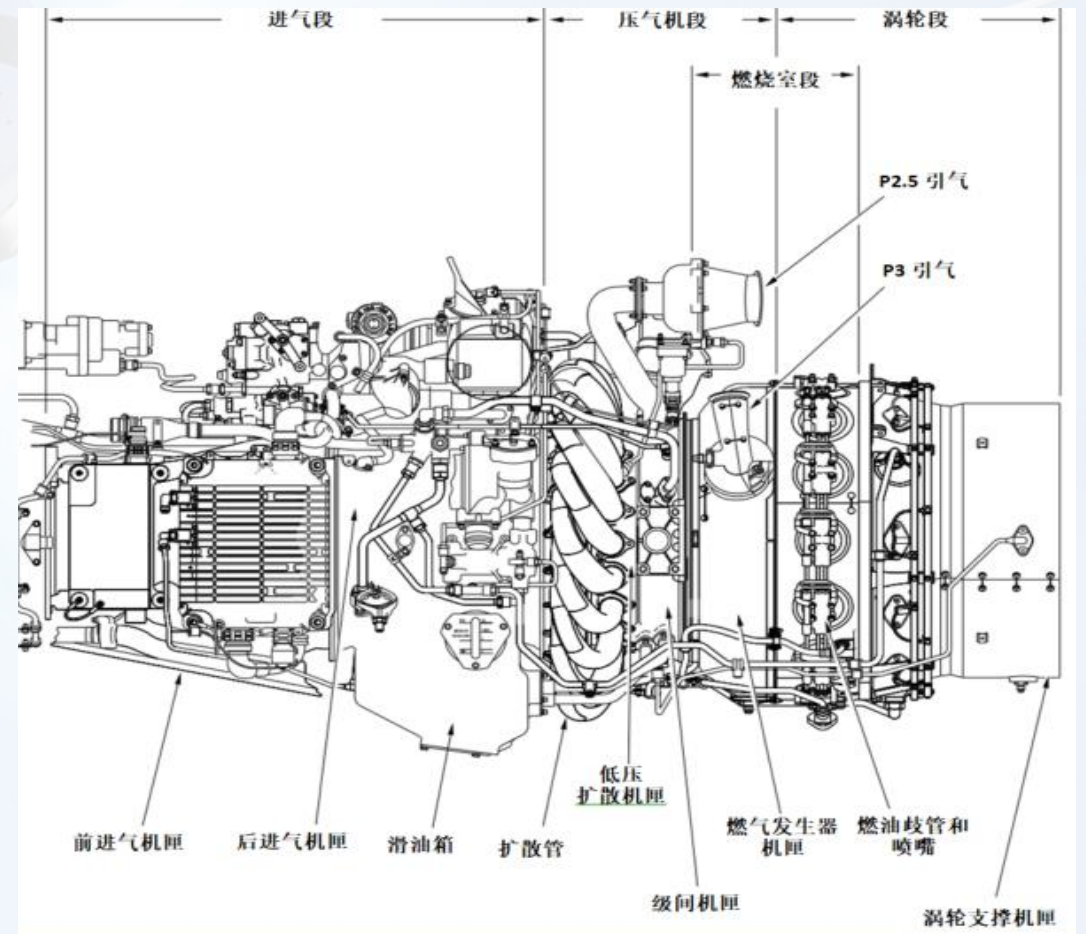
b 热段 点燃油气燃烧，能量转化为旋转力，驱动压气机和螺旋桨

## a 冷段

目的：提供正确的空气流量，并进行必要的增压以满足不同的需要

组成：

- 前进气机匣；
- 压气机中介机匣；
- 后进气机匣；
- 附件齿轮箱；
- 滑油箱放气活门；
- 低压叶轮；
- P2.5 单向活门；
- 低压叶轮罩；
- 高压叶轮罩；
- 低压扩压器机匣



## a) 增压比

低压增压比5.65:1,  
高压 2.6:1,



总 $5.65 \times 2.6 = 14.7$

b) 前进气机匣

涡轮机与减速齿轮箱连接；用减速齿轮箱滑油回油防冰后进气机匣

### c) 后进气机匣

- ◆ 附件齿轮箱、滑油箱及滑油泵提供安装位置
- ◆ 通过 1 号和 2 号轴承支撑动力涡轮轴
- ◆ 左侧有孔探仪检查口和压气机清洗口
- ◆ P1.8 (进气道总压) 感压通道
- ◆ 叶轮罩放气口
- ◆ 1 个 T1.8 总温探头;
- ◆ 2 个高压转速传感器 (NH1、NH2) ;
- ◆ 接线盒;
- ◆ 微调电阻

d) 低压压气机

- ◆ 由 3 号轴承支撑
- ◆ 单独平衡
- ◆ 在 3 号轴承螺帽上测量低压转速 $N_L$ )
- ◆ 逆时针旋转（顺航向）。

b 操作:

空气通过进气机匣进入涡轮机，低压叶轮使空气加速。空气由低压扩散机匣进入低压扩散管，低压扩散管增加气体的压力并将压缩空气导入中介机匣。高压叶轮再次使空气加速，空气通过内部高压扩散管时，气体压力增加，并引导压缩空气进入燃气发生器机匣。



## b) 操作

发动机热段部件有燃气发生器的部件。离开燃烧室的热膨胀气体由高压涡轮叶片环导向高压涡轮叶片，由低压涡轮叶片环导向低压涡轮叶片。这些气体穿过动力涡轮叶片环，撞击动力涡轮叶片。涡轮机通过动力涡轮轴和减速齿轮箱转动螺旋桨

排气管道将动力涡轮中的气体排到大气中

## 4.2 定期检查 / 维修间隔

### a 概述

定期检查 / 维修间隔



非指定方案

发动机内部和外部零件的目视检查

内部和外部孔探仪检查

特定维修检查任务

大修寿命限制

## b 定期检查 / 维修间隔

### a) 几个定义

**门限周期：** 进行组件检查的规定时间，考虑飞行周期、时间等，并只提供给固定门限检查周期(硬时限)程序

**初始间隔：** 是指从出厂、大修或组件翻修后的累计时间

**软时限** 推荐那些按照经过批准的视情维修方案进行发动机维护的用户，在发动机 / 组件完全恢复之前所执行的经济最小检查间隔

**硬时限** 对于未执行下列工作的用户，在发动机 / 组件进行大修之间执行的由加拿大交通部批准的的最大检查间隔

## A 发动机维修方法

### 发动机维修方法

- ◆ 利用率(每年超过 1200 h )定时维修
- ◆ 利用率(每年少于 1200 h )定时维修
- ◆ 视情维修方案
- ◆ 发动机附件被监控, 撤消门限取决于使用者的经验
- ◆ 发动机 / 组件软时限和硬时限

### 在飞维修方案符合性要求

- ◆ 新发或大修以后最多 500 h
- ◆ 500 h 与批准的发动机大修寿命一半之间
- ◆ 超过大修寿命一半, 距离大修寿命最少还有500 h
- ◆ 距批准的发动机大修寿命的余留时间少于 500 h

## (1) 利用率(每年超过 1200 h )定时维修

- ( a ) 发动机可按照 P&WC 公司推荐的维修方案在固定的门限检查周期进行检查。
- ( b ) 使用者可根据 P&WC 公司推荐的大纲，编制属于自己的专用方案，并在固定的门限检查周期，对发动机进行维修。使用者应对其专用方案负责，该方案可以包括进一步的大修和 HSI (热段部件检查)时限，并由当地适航当局批准。
- ( c ) 发动机附件应该被监控，撤消门限取决于使用者的经验

## (2) 利用率(每年少于 1200 h )的发动机定时维修

- ( a ) 利用率低的飞机必须符合定期检查、维修任务、次数和大修寿命限制。
- ( b ) 发动机附件应该被监控, 撤消门限取决于使用者的经验

### ( 3 ) 视情维修方案

#### 对于 PW127J ( BSI018 )发动机

1. 发动机按视情维修方案维修，使用者依据 P&WC 公司的建议编制出来的。  
使用者应该拥有一个由他们当地适航当局批准的专用大纲；
2. 视情维修方案( OCP )由 P&WC 公司推荐，它包括定期检查、维修任务和次数。如果一台发动机是新的或者大修后运转时间为零小时，那么这台发动机适用视情维修方案，该方案也适用服役中的发动机，在确认服役中的发动机适用视情维修方案之前，在第 B. 节中列出了专用的检查和必须要进行的检查。在到达使用者正常定时门限检查间隔( TBO )之前，如果还不到 500 h，那么发动机就不改变维修大纲



( 4 ) 发动机附件应该被监控，撤消门限取决于使用者的经验。

## (5) 发动机 / 组件软时限和硬时限的定义如下:

### (a) 软时限

- 1 发动机 / 组件的软时限定义为推荐那些按照经过批准的视情维修方案进行发动机维护的用户, 在发动机 / 组件完全恢复之前所执行的经济最小检查间隔。当一个组件到达所规定的软时限, 不需要从飞机上拆下发动机。
- 2 当发动机从飞机上拆下, 且发动机 / 组件已超过软时限, 恢复发动机 / 组件则认为是经济实惠的。

### (b) 硬时限

- 1 发动机 / 组件的硬时限定义为对于未执行下列工作的用户, 在发动机 / 组件进行大修之间执行的由加拿大交通部批准的的最大检查间隔:
  - ◆ 按照经过批准的视情维修方案维护发动机;
  - ◆ 由当地权威机构给用户的机群批准改进的维护方案。

## B. 服役中发动机的视情维修方案符合性要求

(1) 需要的特殊检验和检查

(a) 新发动机或大修以后最多 500 h

## 1 不需要特殊检验或检查

( b ) 在 500 h 与批准的发动机大修寿命一半之间。

- 1 低压( LP )转子的孔探仪检查。
- 2 金属屑探测器功能检查。
- 3 滑油滤检验和滤纸检查。
- 4 当执行步骤 2 和 3 时, 发现一些碎屑时进行光谱分析。
- 5 燃油滤检验 / 清洗。
- 6 T6 系统检查。
- 7 功率保证。
- 8 发动机外部检查包括
- 9 燃油喷嘴的详细检查
- 10 点火塞的详细检查

## 7 功率保证

如果发动机已经不用发动机状态趋势监控( ECTM ®), 那么要求涡轮间温度( ITT ) / T6 有 10 °C( 20 °F )的最小裕度。如果新发动机或经过翻修的发动机处于ECTM ®之下, 那么只能在功率保证限制之内, 如果超过限制值或者裕度(如果适用)少于最小值

## 8 发动机外部检查包括：

- ◆ · 减速齿轮箱和前、后进气机匣的腐蚀情况；
- ◆ · 滑油—燃油加热器的涂敷层、滑油和燃油导管、低压扩散段导管和引气管的状态。
- ◆ · 所有附件包括 EEC (发动机电子控制)、AFU (自动顺桨装置)、点火和导线线束等的状态和定位

## 9 燃油喷嘴的详细检查

注：如果燃油喷嘴已经被更换，或者在以前的一个 1000 FH 之内已经进行了检查，那么现在就不需要检查了

## 10 点火塞的详细检查

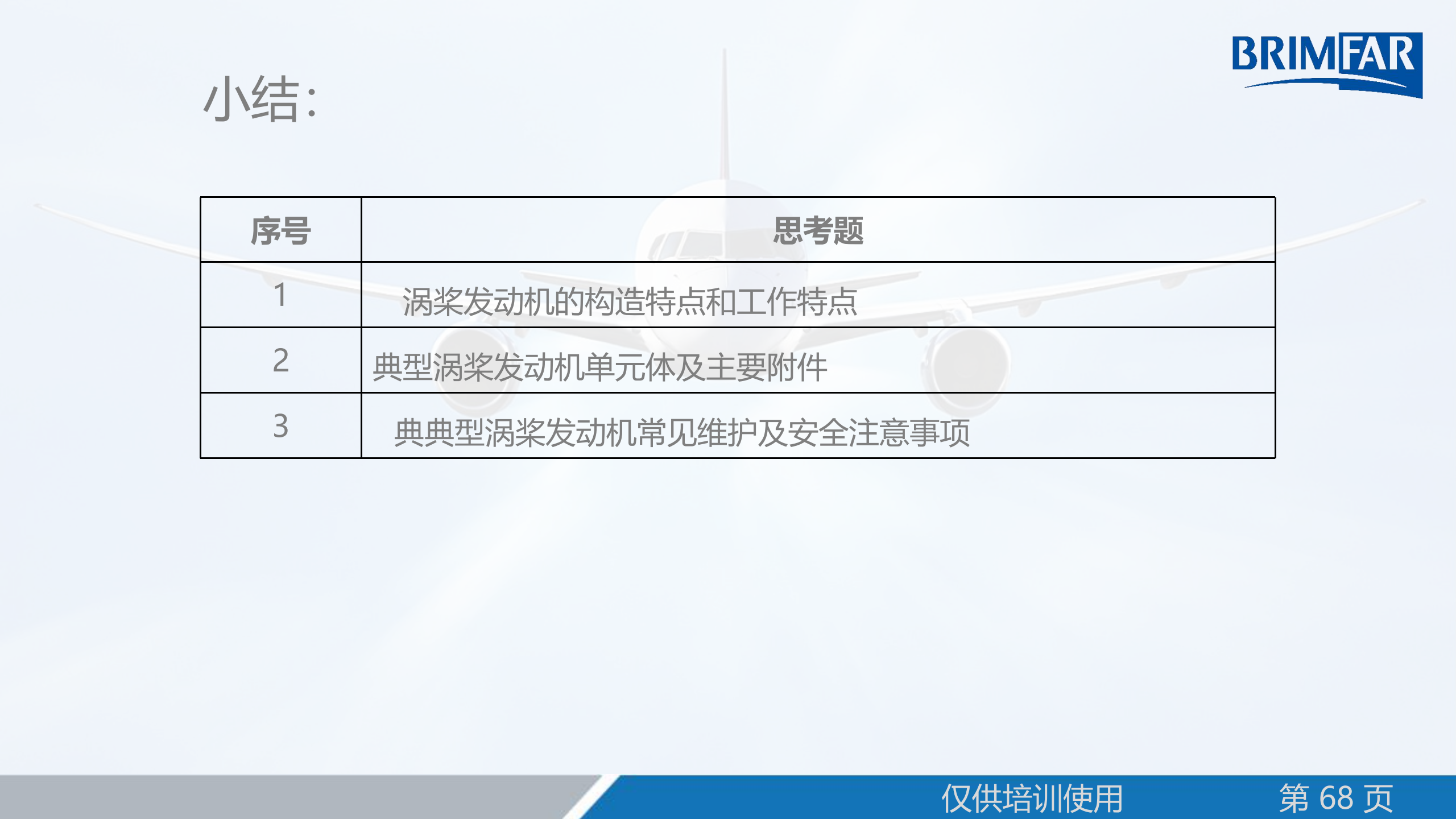
( c ) 超过大修寿命一半，距离被大修寿命最少还有500 h

- 1 对于工作在 500 h 和批准的发动机大修寿命一半之间的发动机要进行全面的检验和检查。
- 2 热段部件检查( HSI )。除非发动机状态趋势监控( ECTM ®)能够准确地工作，同时没有观察到不可接受的性能变坏情况，或者自从进行热段部件检查以后的时间少于批准的发动机大修寿命的一半
- 3 附件齿轮箱的孔探仪检查，塔式传动轴伞齿轮的目视或孔探仪检查。
- 4 高压涡轮导向叶片，叶片和燃烧室的孔探仪检查。

( d ) 距批准的发动机大修寿命的余留时间少于 500 h

1 发动机完成大修之后, 该发动机才能使用视情维修方案。

# 小结:

A faint, light-colored image of a commercial airplane is visible in the background, centered behind the table.

序号	思考题
1	涡桨发动机的构造特点和工作特点
2	典型涡桨发动机单元体及主要附件
3	典典型涡桨发动机常见维护及安全注意事项



**感谢聆听，欢迎指正**