



## M5.5.2.9 螺旋桨

## 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，掌握螺旋桨的基本原理，螺旋桨的控制原理，螺旋桨检查和维护方法
<b>要求</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 掌握螺旋桨的技术名词</li><li>2. 螺旋桨的受力原理，</li><li>3. 螺旋桨的控制原理</li><li>4. 螺旋桨的检查和维护方法</li></ol>

# 课程安排:

序号	内容	等级	课时
1	名词术语		1H
2	螺旋桨原理		2H
3	螺旋桨分类与结构		1H
4	调速器		2H
5	桨距控制		1H
6	同步系统及防冰系统		1H
7	螺旋桨的检查和维修		2H

# 目录

- 5.2.9.1 名词术语
- 5.2.9.2 螺旋桨原理
- 5.2.9.3 螺旋桨分类与结构
- 5.2.9.4 调速器
- 5.2.9.5 桨距控制
- 5.2.9.6 同步系统及防冰系统
- 5.2.9.7 螺旋桨的检查和维修

# 概述

组成

- ◆ 桨毂 发动机输出轴上 桨毂前有整流的毂帽
- ◆ 桨叶 装在桨毂上

作用

- ◆ 动力
- ◆ 反桨负拉力， 制动



图 19-1 螺旋桨实物

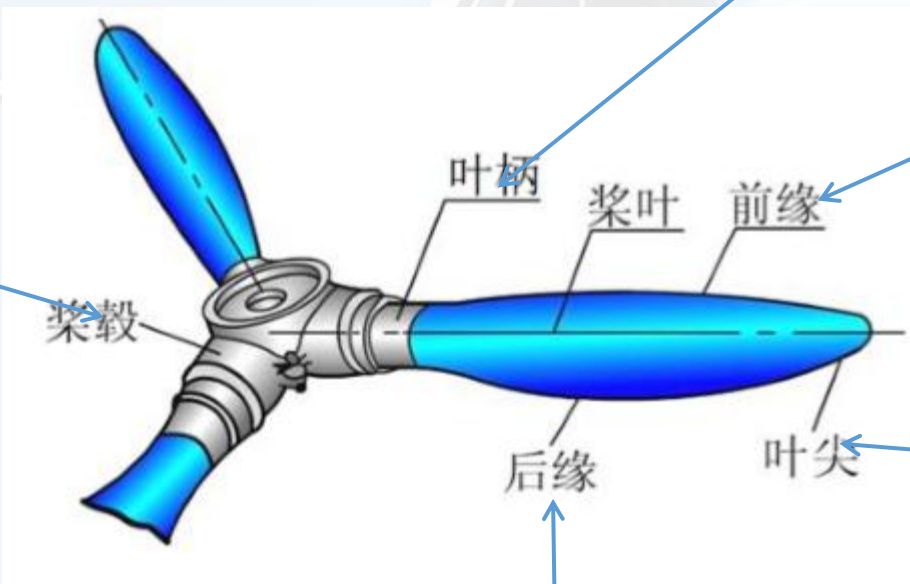


## 5.2.9.1 名词术语

a. 螺旋桨术语

桨叶通过叶根安装到桨毂上。叶根又叫桨叶轴,安装于桨毂内  
接近桨毂的比较厚的部分

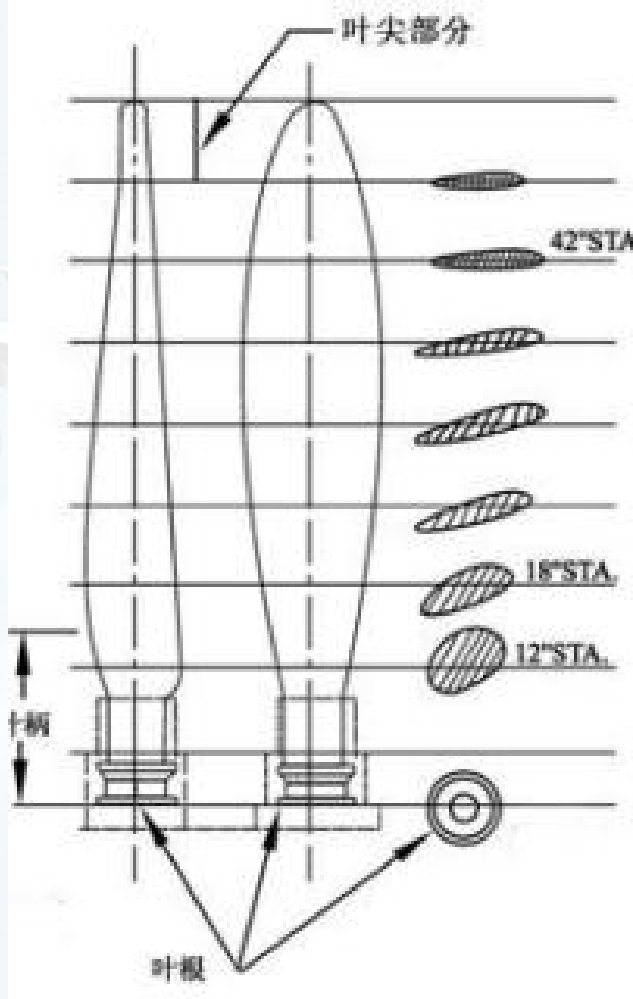
螺旋桨安装在发  
动机减速器输出  
轴上



桨叶旋转迎风面

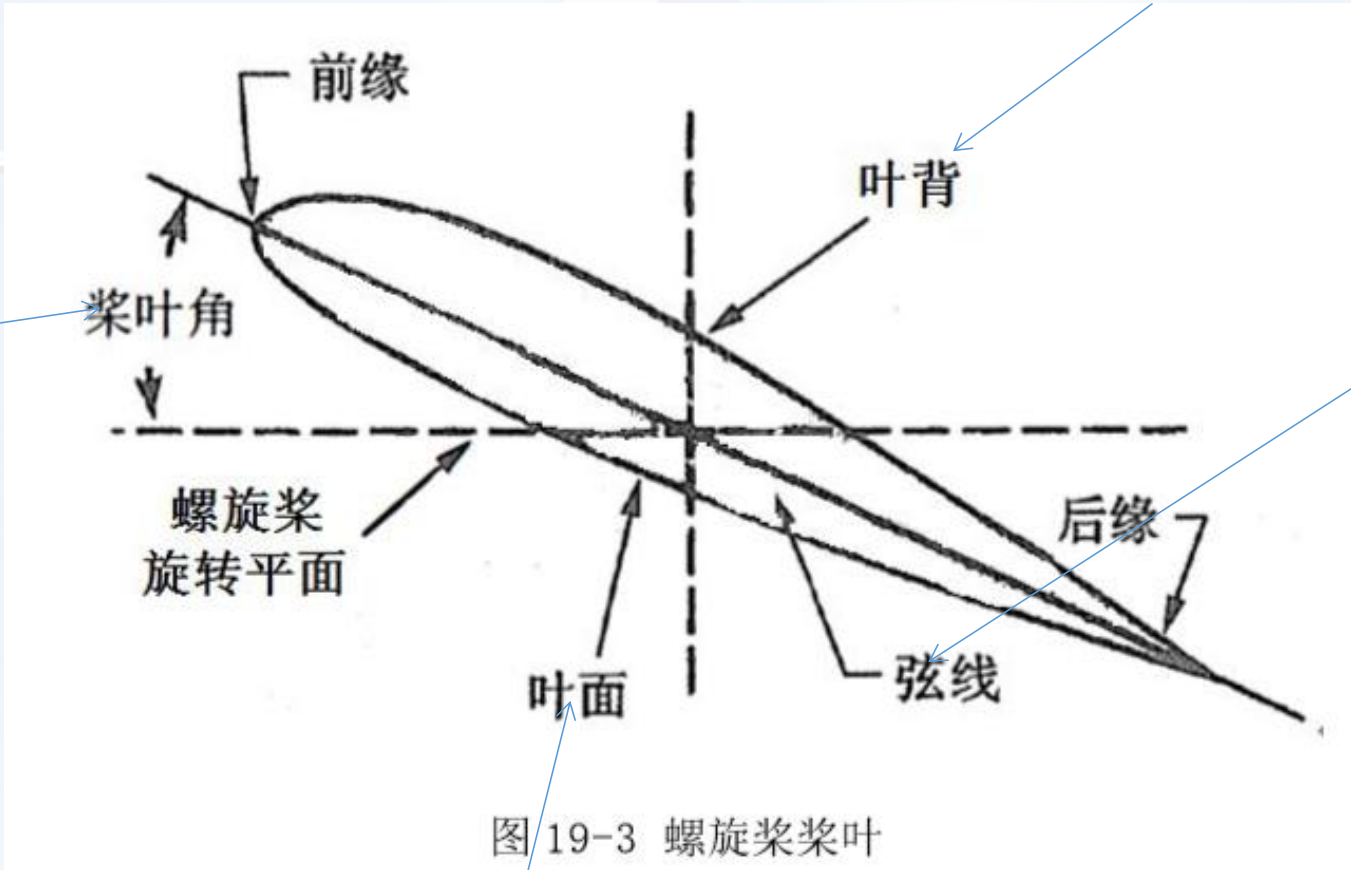
最外侧6英寸桨叶

旋转背风面



b. 剖面的术语

突起弧度大的面，  
像机翼的上表面



螺旋桨旋转平面和  
桨叶弦线的夹角

剖面前缘和后  
缘之间的连线

弧度较小的一面，像机翼的下表面

### c. 桨叶角 $\varphi$ 特性

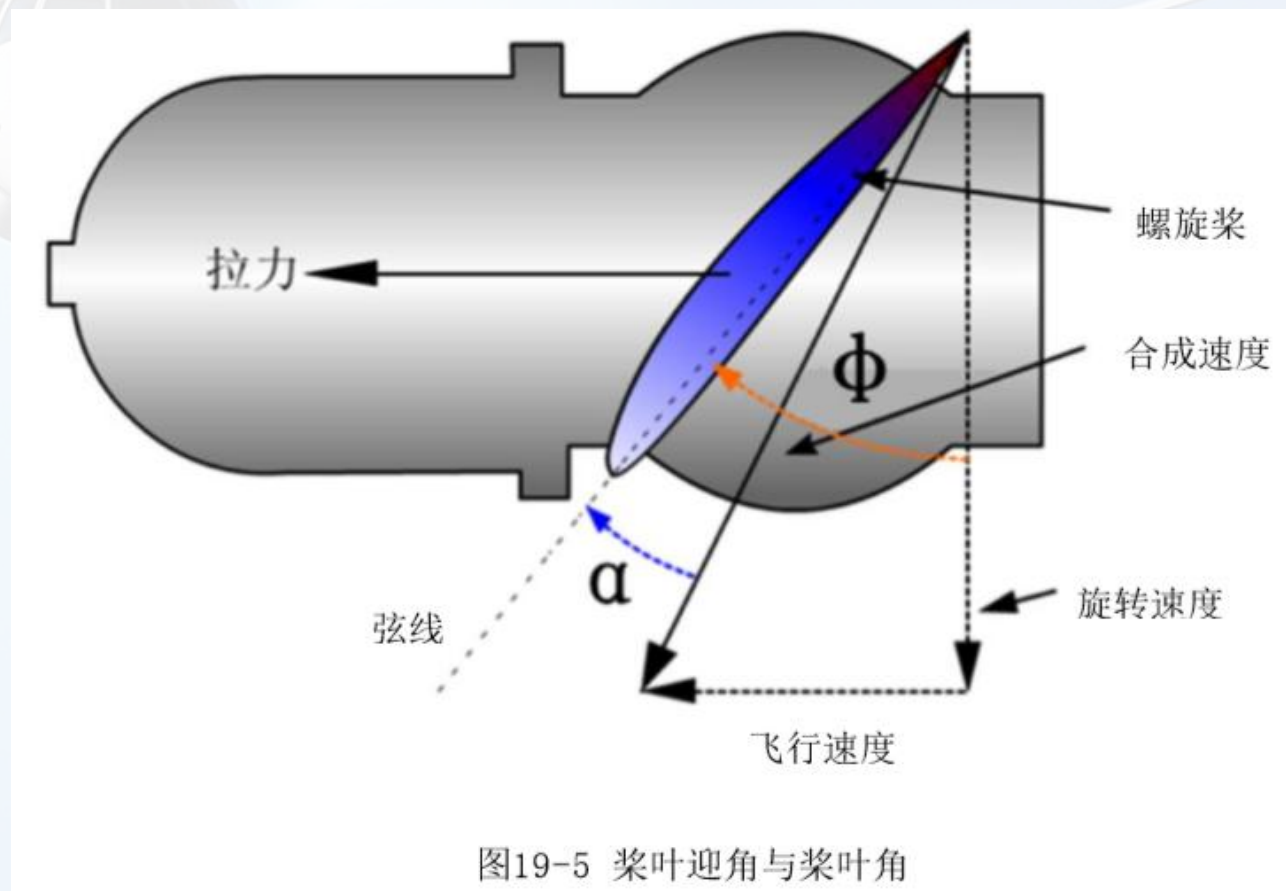
- ◆ 半径增大 $\varphi$ 减小，叶尖处最小，变化规律是**影响桨工作性能最主要的因素**
- ◆ 特定站位 $\varphi$ 代表该桨桨叶角。
- ◆ 大小影响螺旋桨一周排出气量
- ◆ 变距螺旋桨,增大 $\varphi$ 叫变大距,  
减小 $\varphi$ 叫变小距

桨叶角大,排出的空气量多,负荷变大;  
桨叶角小,排出的空气量少,负荷变小

## d 桨叶迎角

又称桨叶攻角是桨叶弦线和合成速度的夹角

- ◆ 桨叶角
- ◆ 飞机的飞行速度
- ◆ 螺旋桨的转速



## e 桨叶站位

以桨毂中心为参照点（0站位）、英寸为单位定义桨叶站位，作为离桨毂中心的指定距离的参考位置

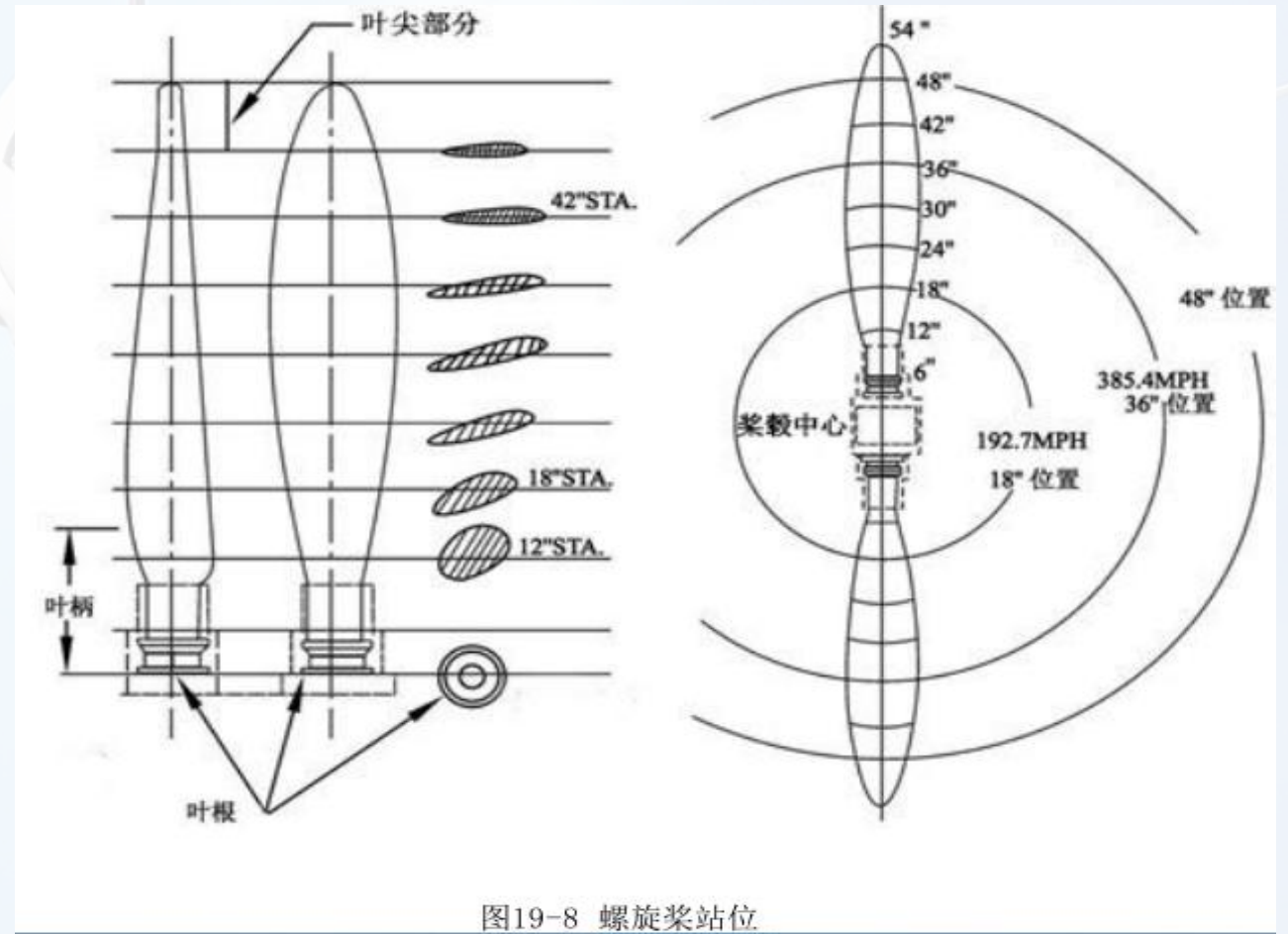


图19-8 螺旋桨站位

## f 螺旋桨设计

相对不变的拉力

- ◆ 螺旋桨角速度相同，切线速度与站位成正比。补偿速度差，桨叶每小段给定不同的角度。桨叶扭转的三维形状。提供基本不变的迎角。
- ◆ 接近桨毂较厚的低速翼型，接近翼尖较薄的高速翼型。

桨叶角从桨毂到叶尖逐渐减小称为**桨距分配**，

## g 螺旋桨桨距

螺旋桨转动一圈纵向前进的理论距离

$$H = 2\pi R t g \varphi$$

H——桨距；

R——螺旋桨特征截面半径；

$\varphi$ ——特征截面的桨叶角。

## h 几何桨距

不可压缩介质转一圈前进的距离，没有任何效率损失

几何桨距是桨毂中心至叶尖长度的75%站位点测量的

有效桨距是转一圈实际前进的距离

飞机静止有效桨距为0;  
巡航有效桨距最大

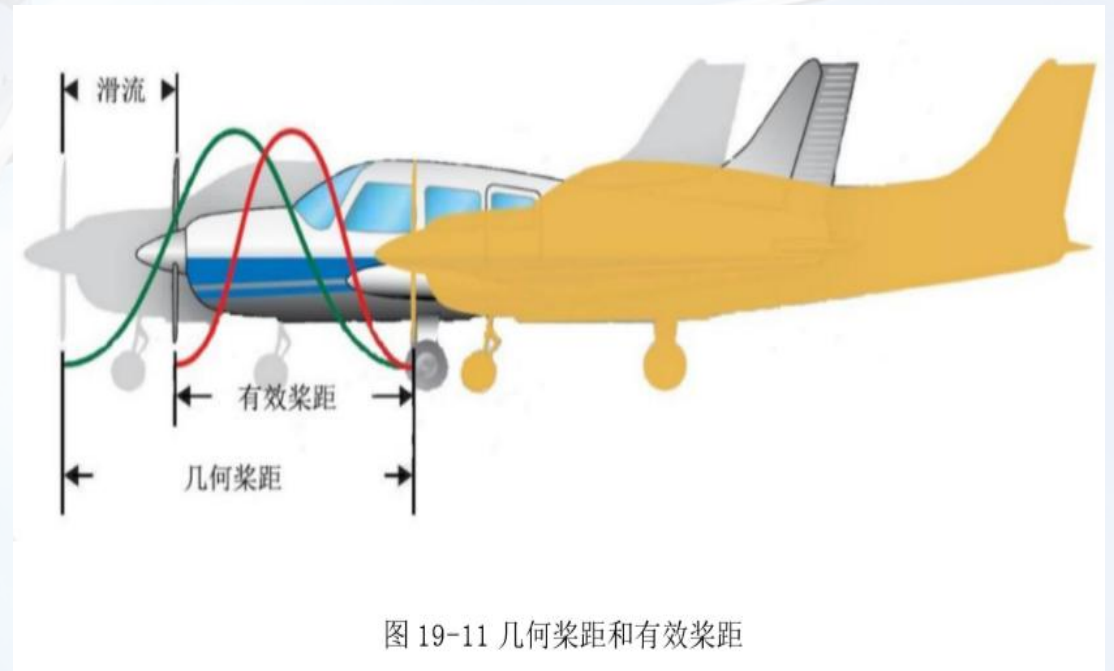
飞行速度取决于

- ◆ 有效桨距
- ◆ 转速

## i 滑流 (滑距)

几何桨距和有效桨距之间的差值 螺旋桨效率是50% ~ 87%

- ◆ 滑流大小对介质的压缩程度，对流过螺旋桨介质的作用力(气动力)的大小
- ◆ 也是介质对螺旋桨反作用力，该反作用力在发动机轴向方向的分力是螺旋桨拉力，拉力大小取决于滑流大小



## j 拉力或者推力的产生

## 气动拉力

空气以相对速度流过桨叶时，将空气压缩，使发动机一侧气动压力大于叶背压力，产生拉力。

## 叶型拉力

气流叶背时，流速增大，压力降低；  
气流叶面时，流速降低，压力升高，桨叶前后桨面形成压力差

## 旋转阻力

- ◆ 桨叶前缘时,气流受阻,流速慢,P提高;
- ◆ 流近后缘时,气流分离,形成涡流,压力下降,

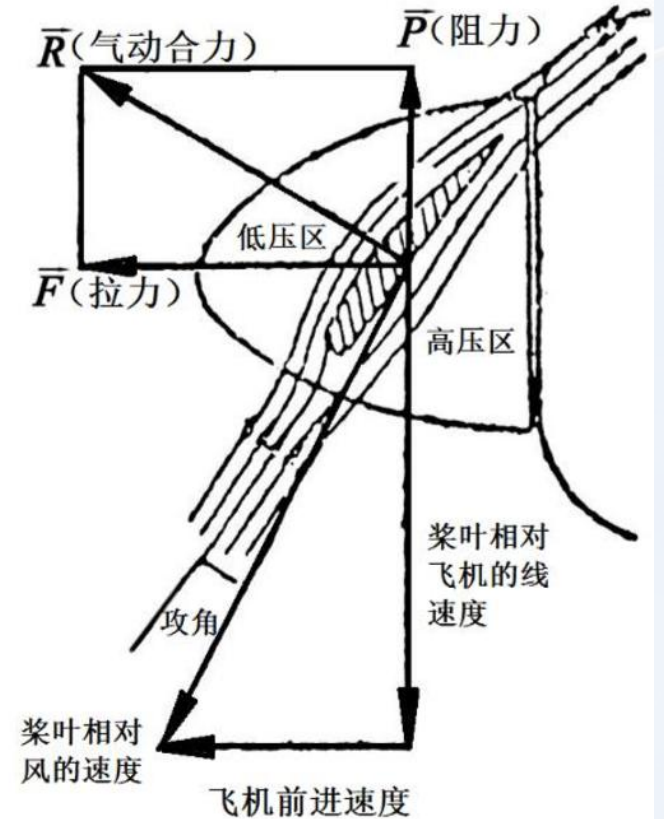
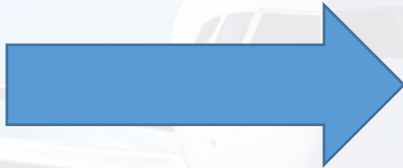


图 19-9 空气流过螺旋桨综合示意图

# k 拉力的大小

- 大小 {
- ◆ 排气质量
  - ◆ 排气速度
  - ◆ 飞行速度

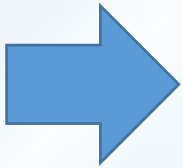
最终决定因素



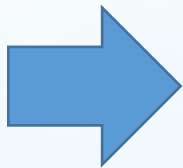
桨叶迎角最终决定  
螺旋桨转速  
螺旋桨桨叶翼型的形状

排气速度、飞行速度不变

桨叶角和转速大



排气质量的  
增大而增大



拉力大

排气质量和飞行速度不变，拉力随着排气速度的增大而增大

## I 轴功率和当量轴功率

轴功率(SHP)是到螺旋桨的功率。当量轴功率(ESHP)仅用于涡桨飞机

$$ESHP = SHP + R_{n(jet)} / 2.5$$

$R_{n(jet)}$  表示喷气产生的推力

m 推进功率

$$N_B = F \times V,$$

影响推进效率因素

- ◆ 涡流
- ◆ 摩擦
- ◆ 滑流。

## n 螺旋桨的效率

推进功率和提供给螺旋桨的轴功率之比

$$\eta_B = \frac{N_B}{N_S} = \frac{F \cdot v_{\text{飞}}}{N_S}$$

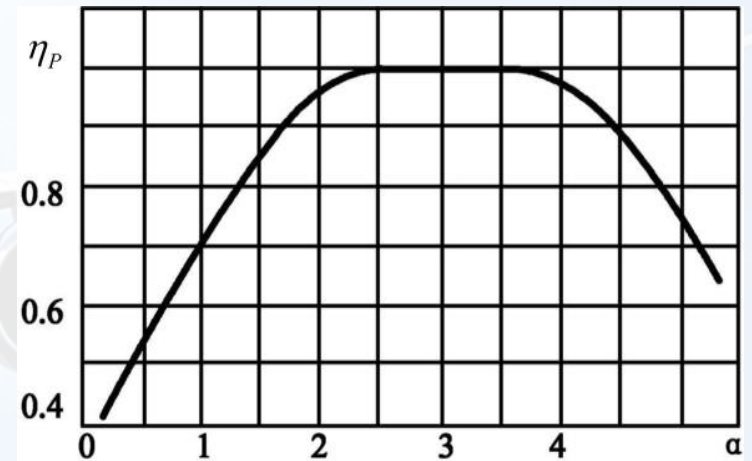


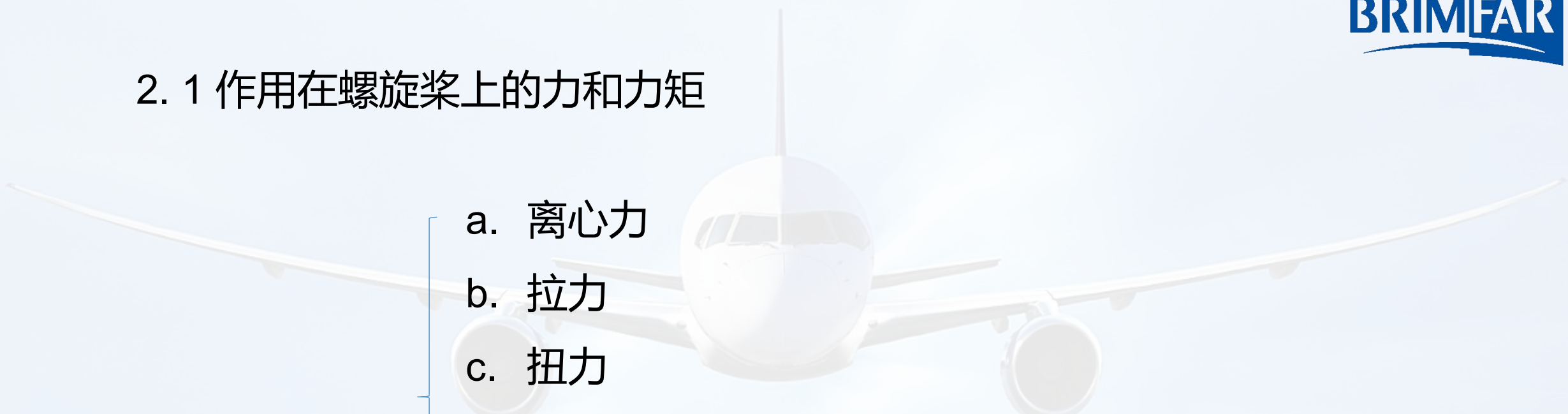
图 19-18 螺旋桨效率与攻角的关系

- ◆ 攻角过大，桨叶将发生失速，推进效率急剧下降
- ◆ 飞机不动，效率零
- ◆ 效率最佳的攻角是在2 ~ 4 度之间



## 5.2.9.2 螺旋桨原理

## 2.1 作用在螺旋桨上的力和力矩

- 
- a. 离心力
  - b. 拉力
  - c. 扭力
  - d. 气动扭转力
  - e. 离心力扭转力
  - f. 振动力

## a. 离心力

离心力引起最大的应力

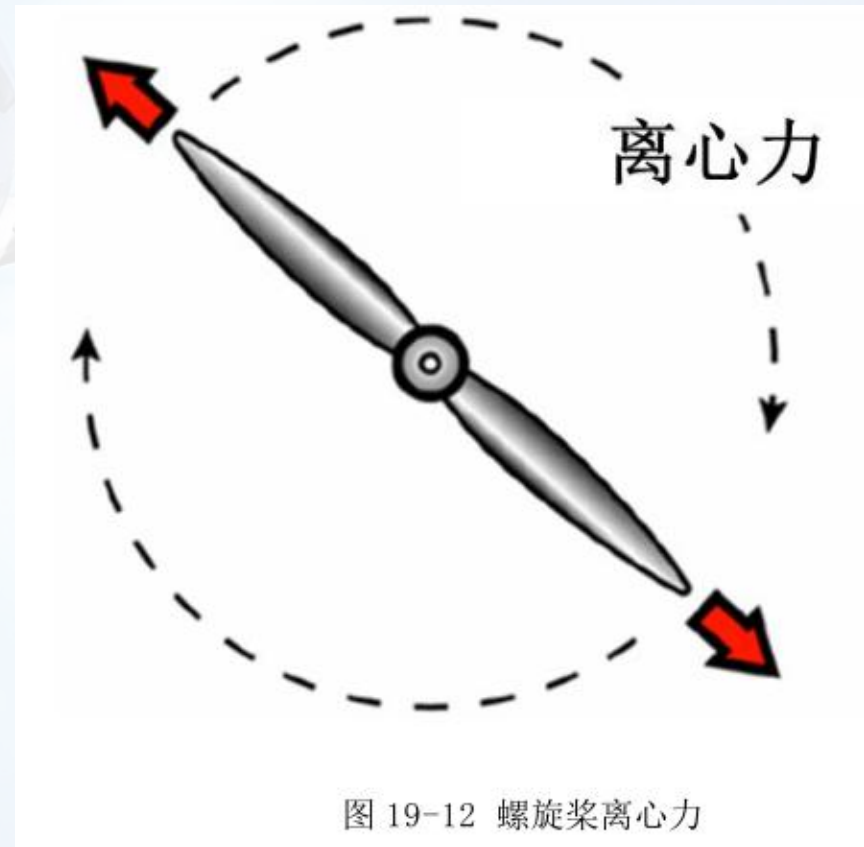
转速的平方、半径、质量成正比

$$F = m\omega^2 r$$

叶尖部分采用薄翼型

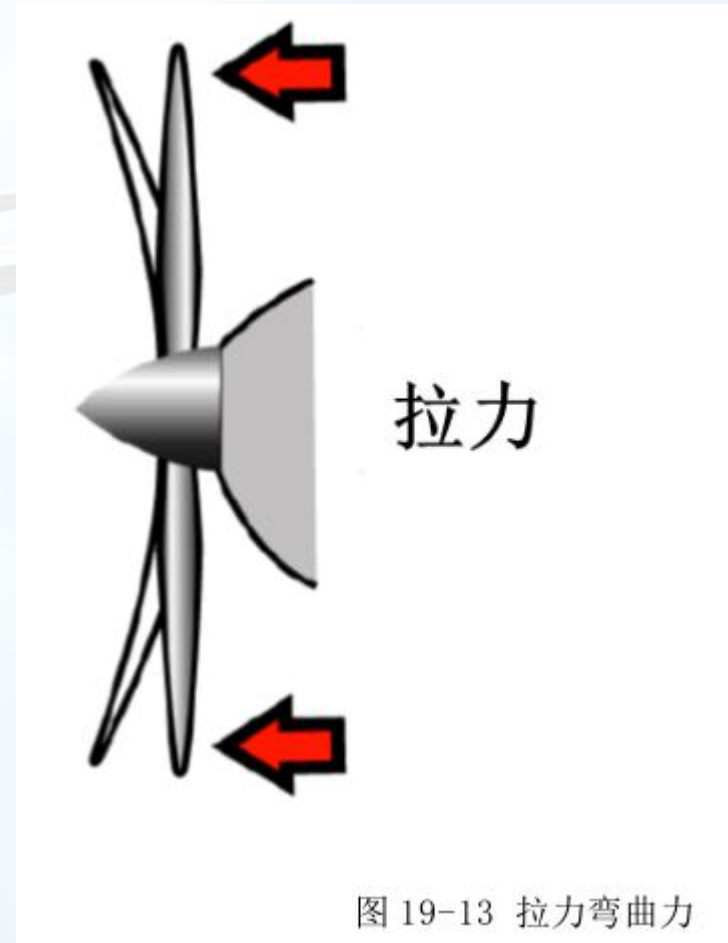
复合材料

根部承受整个桨叶的离心力



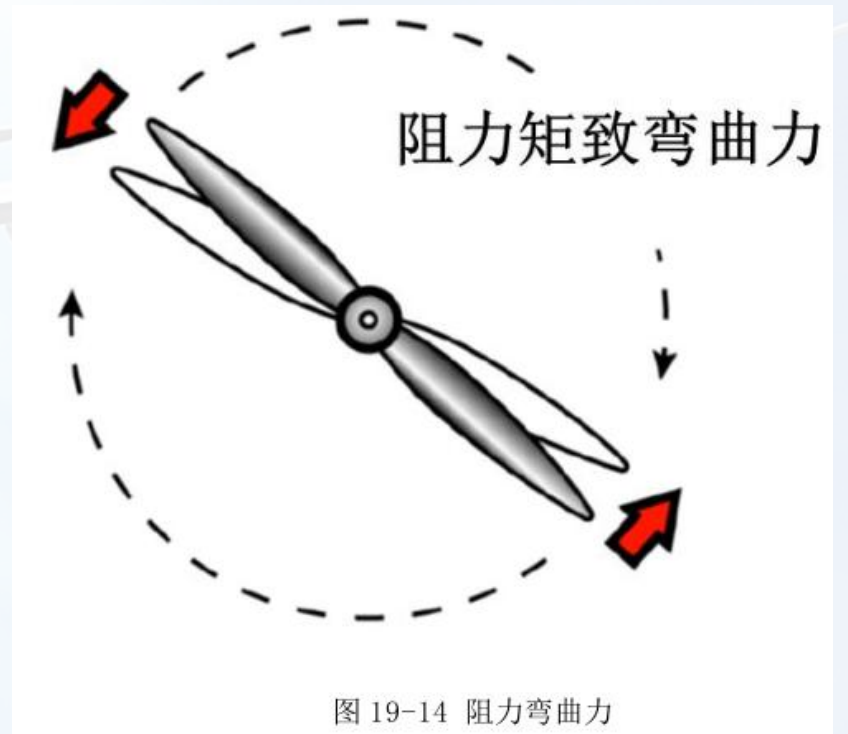
## b. 拉力弯曲力

- ◆ 将桨叶叶尖向前弯(
- ◆ 产生的轴向拉力沿桨叶分布



### c. 阻力弯曲力

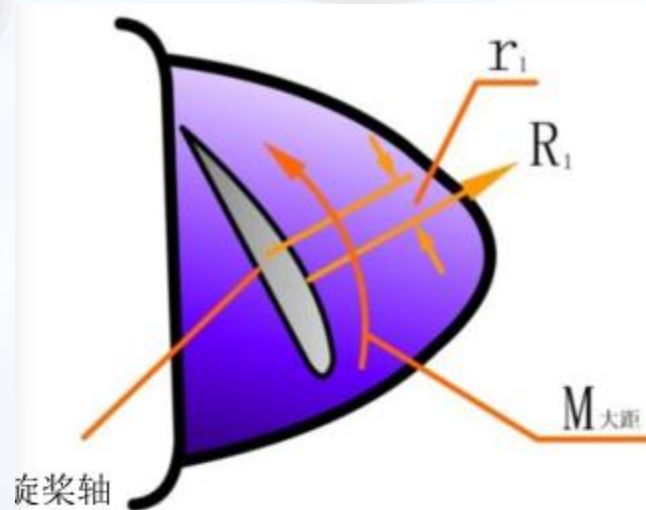
- ◆ 旋转时会产生与旋转方向相反的空气阻力
- ◆ 使螺旋桨沿旋转相反方向弯曲



#### d. 气动扭转力

- ◆ 气动合力位于螺旋桨转轴前部，变大距的力矩，桨叶角增大
- ◆ 气动合力位于螺旋桨转轴后部，变小距的力矩，桨叶角减小

用于增加或减小  
螺旋桨的桨叶角



19-15 气动扭转力（变大距）

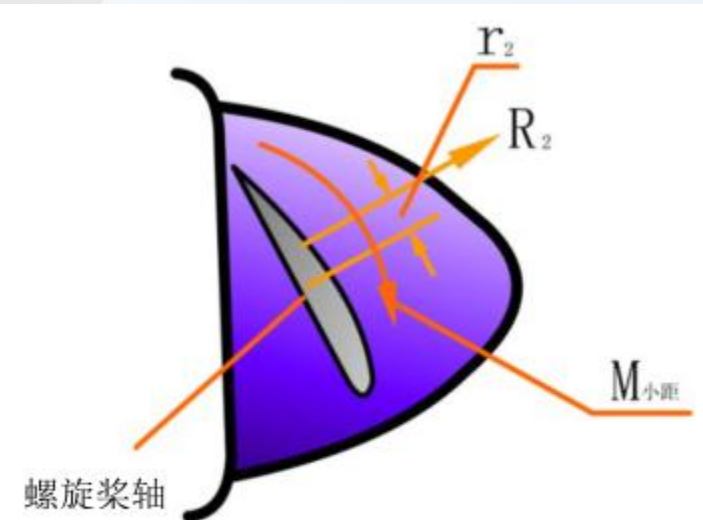


图19-16 气动扭转力（变小距）

### e. 桨叶离心扭转力

减小螺旋桨的桨叶角。桨叶离心扭转力大于启动扭转力，所以变小距。

配重的旋转桨叶  
有变大距的趋势

振动力

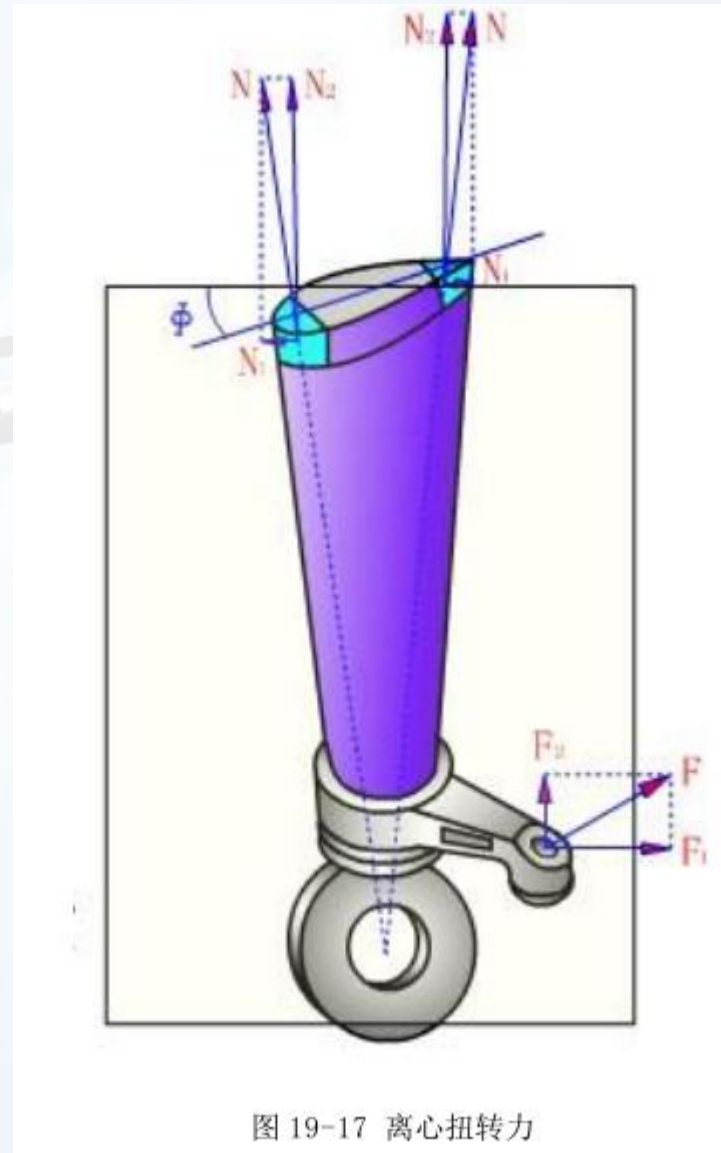


图 19-17 离心扭转力

## f. 配重离心扭转力

变距螺旋桨在桨叶根部固定有配重，  
配重离心力使螺旋桨变大距

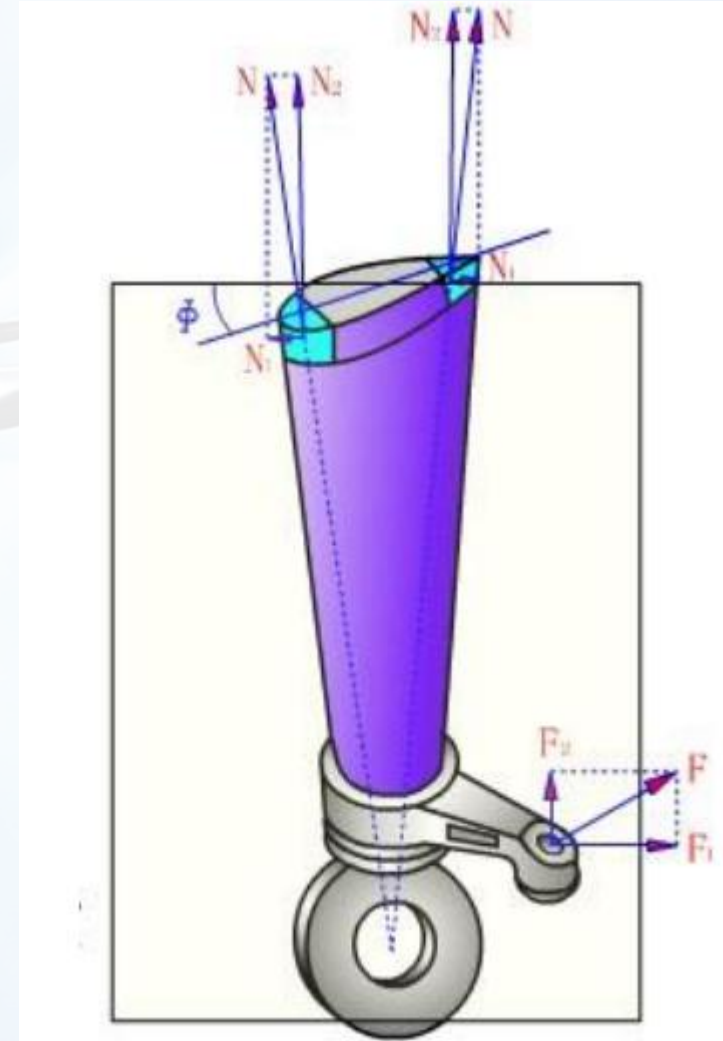


图 19-17 离心扭转力

## g. 振动力

螺旋桨产生拉力时，存在气动和机械力，叶片发生振动

## h. 力矩

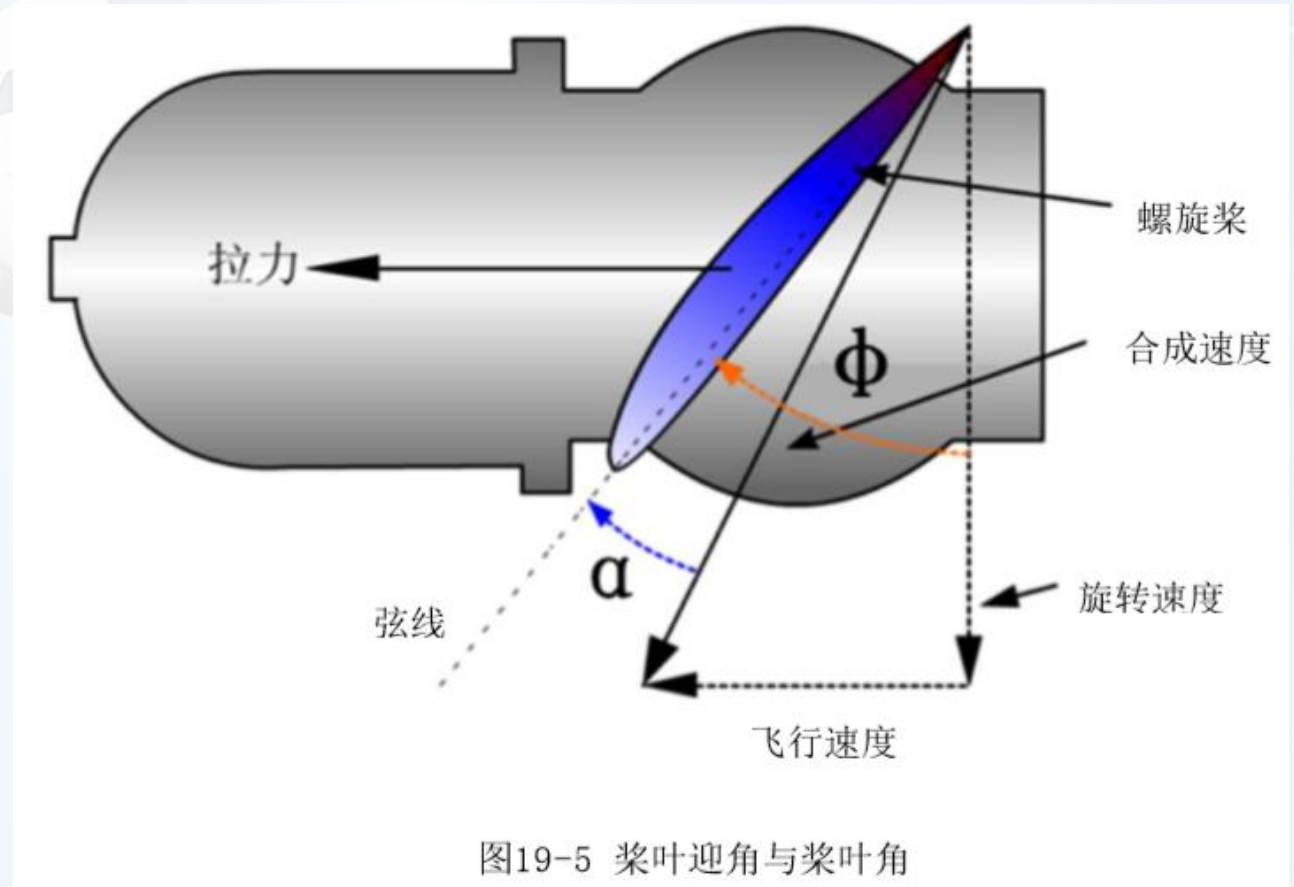
- ◆ 发动机输出力矩大于阻力矩时，转速会增加
- ◆ 发动机输出力矩小于阻力矩时，转速会减小
- ◆ 发动机输出力矩等于阻力矩时，转速会不变

## 2.2 桨叶迎角及其影响因素

又称桨叶攻角是桨叶弦线和合成速度的夹角

影响因素:

- ◆ 桨叶角
- ◆ 飞机的飞行速度
- ◆ 螺旋桨的转速



- ◆ 飞行速度和螺旋桨的转速不变,桨叶角的增大, 桨叶迎角也增大
- ◆ 桨叶角和螺旋桨的转速不变, 飞行速度增大, 桨叶迎角减小
- ◆ 桨叶角和飞行速度不变, 转速增大, 切向速度变大, 桨叶迎角变大

## 2.3 螺旋桨的静平衡、动平衡、气动平衡

发挥发动机和螺旋桨的性能螺旋桨的平衡是关键

- a. 静平衡
- b. 动平衡
- c. 气动平衡

## a. 静平衡

螺旋桨的重心同它的转轴一致时，螺旋桨是静平衡的

- ◆ 刀刃法 较简单和更精确
- ◆ 悬挂法

◆ 平衡前首先保证桨叶角全一样

a) 双桨

垂直

1号桨在垂直位置，重复另一桨叶

垂直平衡的，保持在垂直位置  
垂直不平衡，有静止水平趋势

水平

平衡的，保持在水平位置。  
不平衡，将趋于向下移动，

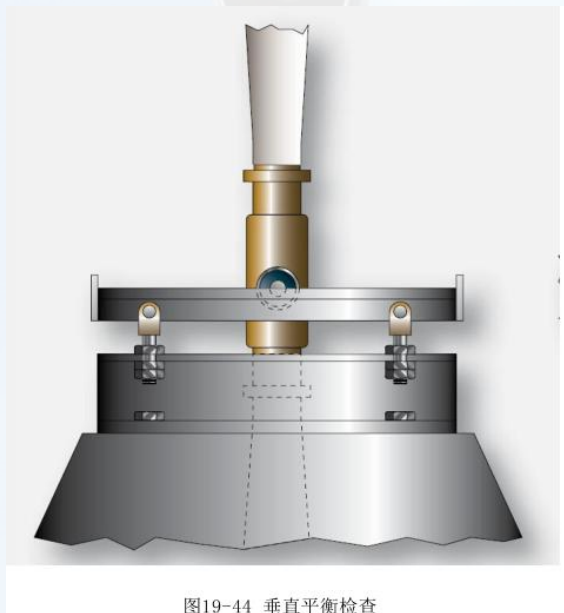
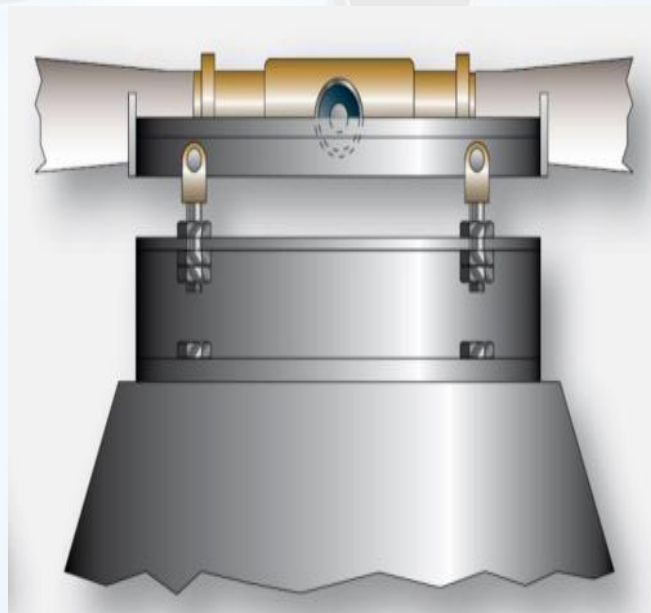


图19-44 垂直平衡检查



## b) 三叶螺旋桨

- ◆ 放置螺旋桨在3个基本的试验位置
- ◆ 正确平衡，每个桨叶在6点钟位置时都没有转动的趋势
- ◆ 发现桨叶静不平衡，根据厂家规定配重

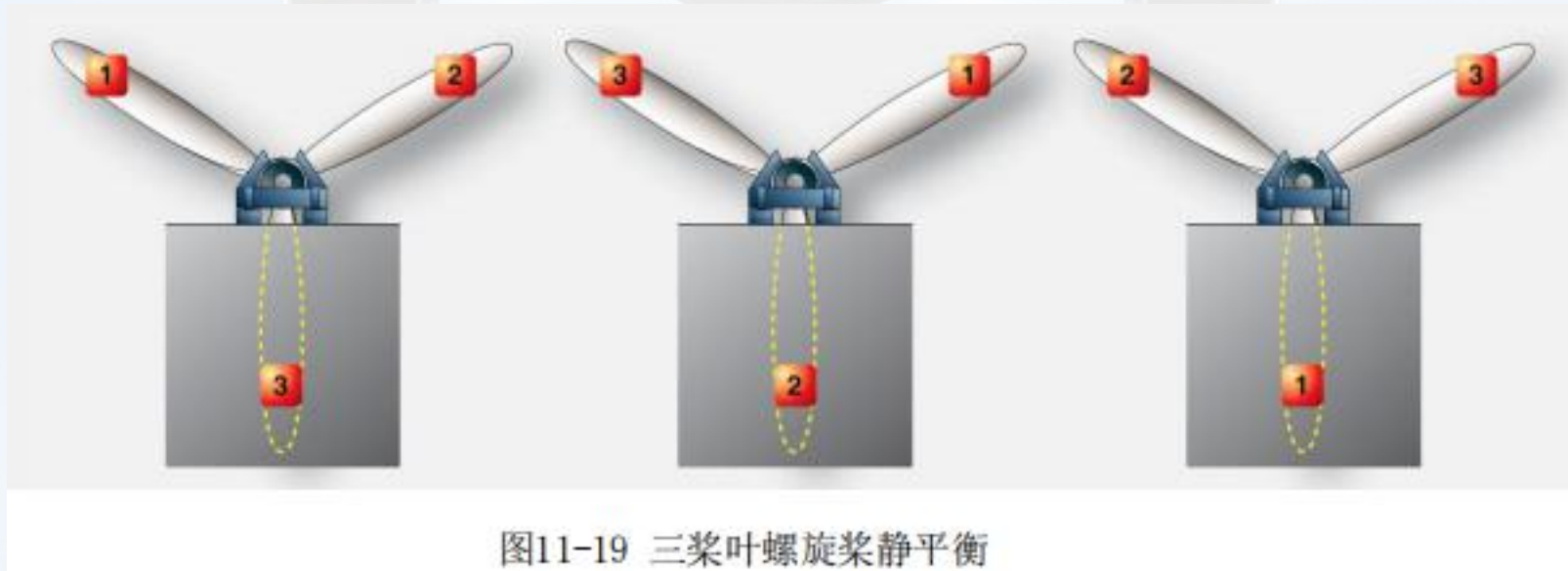


图11-19 三桨叶螺旋桨静平衡

## b 动平衡

螺旋桨旋转轴线与惯性主轴重合即为动平衡

当桨叶重心不在同一平面旋转时，螺旋桨是动不平衡的

当转子部件的质量分布在较长轴上时，静平衡保障了总体质量中心在旋转轴上，但旋转轴线很可能不与惯性主轴重合，即垂直于旋转轴线的各个截面质量中心不都在旋转轴上，这时会有振动力矩产生，这时发动机出现动不平衡，超过一定的限度，也就会出现发动机抖动的现象

## c 气动平衡

螺旋桨旋转轴线与桨叶拉力合力重合即为气动平衡。

拉力合力取决于

- ◆ 桨叶角
- ◆ 桨叶旋转轨迹
- ◆ 气动外形

## 2.4 螺旋桨的振动及测试

### a 原因

螺旋桨振动使发动机的主要承力部件产生**疲劳裂纹**的可能性加大

原因

- ◆ 不平衡
- ◆ 桨叶角不合适
- ◆ 螺旋桨的轨迹检查不合格

振动的强度可能会随着转速的变化而有所变化

## b 振动原因及排除

- ◆ 振动集中于特定较小转速范围（2200-2350转/分），是发动机与螺旋桨的匹配不良所致。
- ◆ 螺旋桨的振动值过大，又不能明确断定故障排故方法是更换另一副已知适航的螺旋桨，桨叶的抖动不是振动的主要来源，离心力原因。
- ◆ 螺旋桨振动超限可能是螺旋桨的整流锥安装不当，若整流锥晃动，是整流锥前部支撑点垫片厚度不足或者是整流锥裂纹或变形

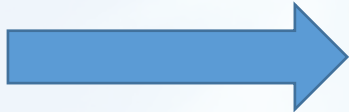
### c 振动测试

测试的方法是**现场动平衡**，螺旋桨、整流锥和相关设备装在飞机。



即时加速度值  
和位置信息

指定位置加速度计  
光学转速传感器



动平衡测试仪

不平衡的大小和位置  
螺旋桨配重调整量

发动机特定一个  
或者几个转速



A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane in flight, viewed from a front-quarter perspective, centered in the background.

## 5.2.9.3 螺旋桨分

# 类

### 3.1 木质、铝合金、复合材料螺旋桨

材料不同

- ◆ 木质螺旋桨
- ◆ 铝合金螺旋桨
- ◆ 复合材料螺旋桨

## a. 木质螺旋桨

- ◆ 5~9层薄片叠加，粘合。干燥后，用型板和台式分度器，获得外形和桨叶角
- ◆ 加工成型的桨叶外表面还要包上用蒙布做成的保护层
- ◆ 桨叶前缘和尖部包镀铅锡钢板、锰钛合金金属蒙皮，靠埋头木螺钉或铆钉固定到桨叶上。头部焊到金属蒙皮上，锉平。
- ◆ 桨叶端部附近有排水孔，排出水分

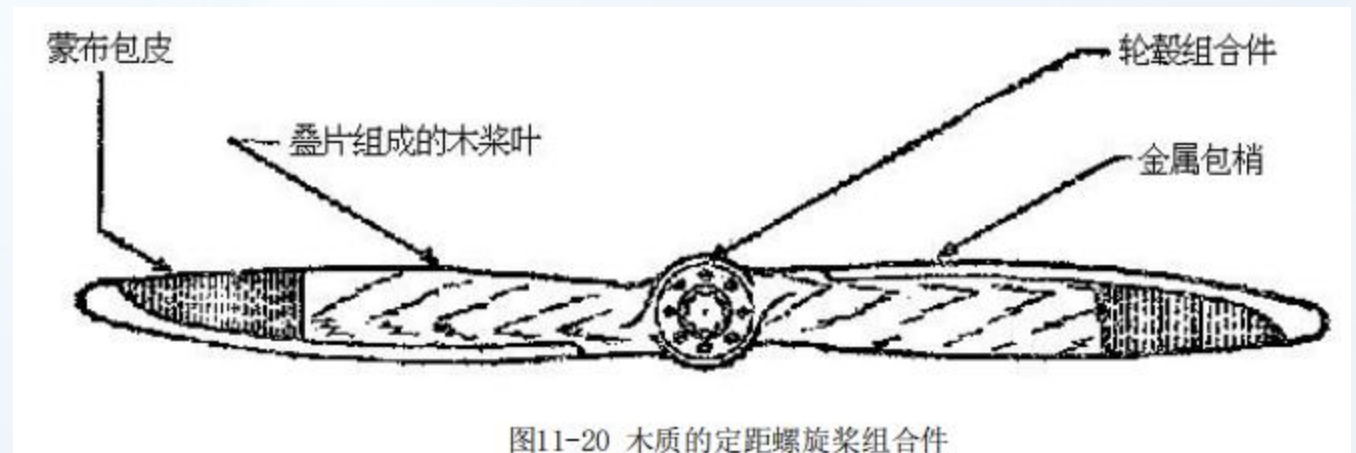


图11-20 木质的定距螺旋桨组合件

## b 铝合金螺旋桨

外形和木质螺旋桨相似，截面比较薄。

材料 { 早期硬铝锻件制造的  
现用铝合金铸造成型，表面阳极化

特点 { ◆ 重量轻，  
◆ 维修费用低  
◆ 易做桨叶安装角



图11-22 金属螺旋桨

### c 复合材料螺旋桨

桨叶用“皮 + 芯材 + 纵梁”剖面结构形式，梁提高桨叶的弯曲、扭转刚度

复合材料

- 树脂基复合材料
- 金属基复合材料
- 金属间化合物基复合材料
- 陶瓷基复合材料



图11-23 复合材料螺旋桨

优点

- 重量轻
- 结构强度高
- 刚度大
- 稳定性好
- 抗疲劳
- 减振
- 可设计

## 3.2 定距螺旋桨、变距螺旋桨



固定桨距螺旋桨

地面可调桨距螺旋桨

恒速螺旋桨

## a 固定桨距螺旋桨

- ◆ 低桨叶角的固定桨距螺旋桨为爬升螺旋桨，起飞和爬升性能好
- ◆ 高桨叶角的固定桨距螺旋桨为巡航螺旋桨，高速巡航和高空飞行。

这种类型螺旋桨，最佳转速或空速的任何改变都会减少螺旋桨的效率。

## b 可调桨距螺旋桨

- ◆ 地面可调桨距螺旋桨在飞行中桨叶角不能变，在地面可以改变
- ◆ 可控桨距螺旋桨在螺旋桨旋转时桨叶角可被改变。这使桨叶角为特定的飞行状态提供最好的性能。

桨距位置的数目可被限制

双位可控螺旋桨

桨距的最小和最大给定之间几何角度调节

## c 恒速螺旋桨

可称为自动螺旋桨

### 特点

- ◆ 选定工作转速后，螺旋桨自动调节桨叶角以保持选择的转速
- ◆ 桨距改变是由螺旋桨调速器控制的
- ◆ 典型的调速器利用滑油压力控制桨距
- ◆ 恒速螺旋桨可提供最大的效率

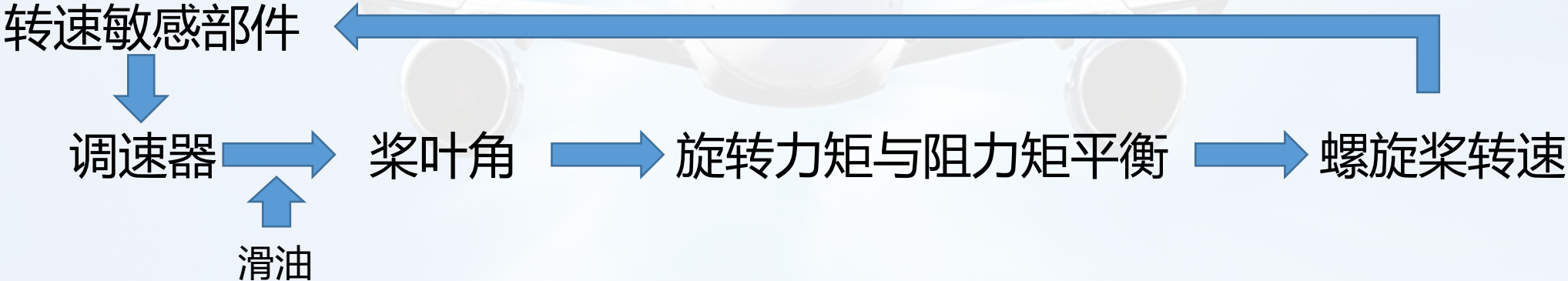


## 5.2.9.4 调速

器

# 4.1 调速器作用、组成与工作原理

## a 调速器作用



# b 调速器组成

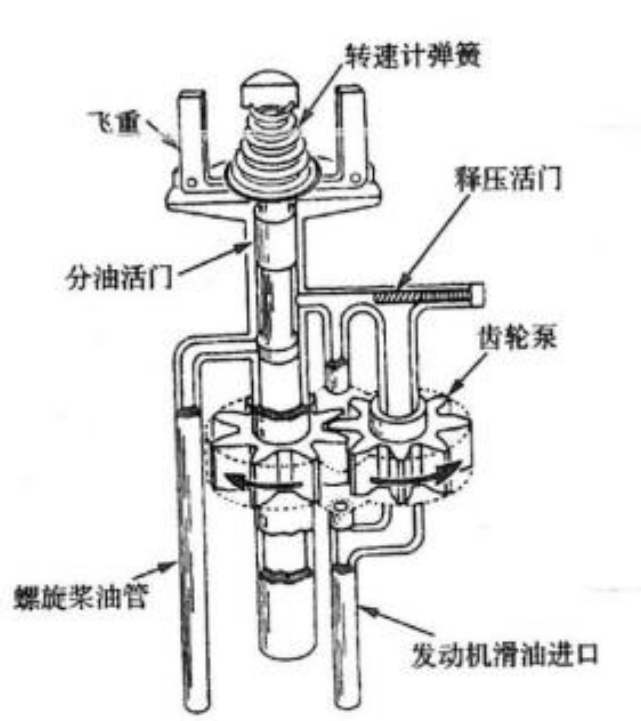
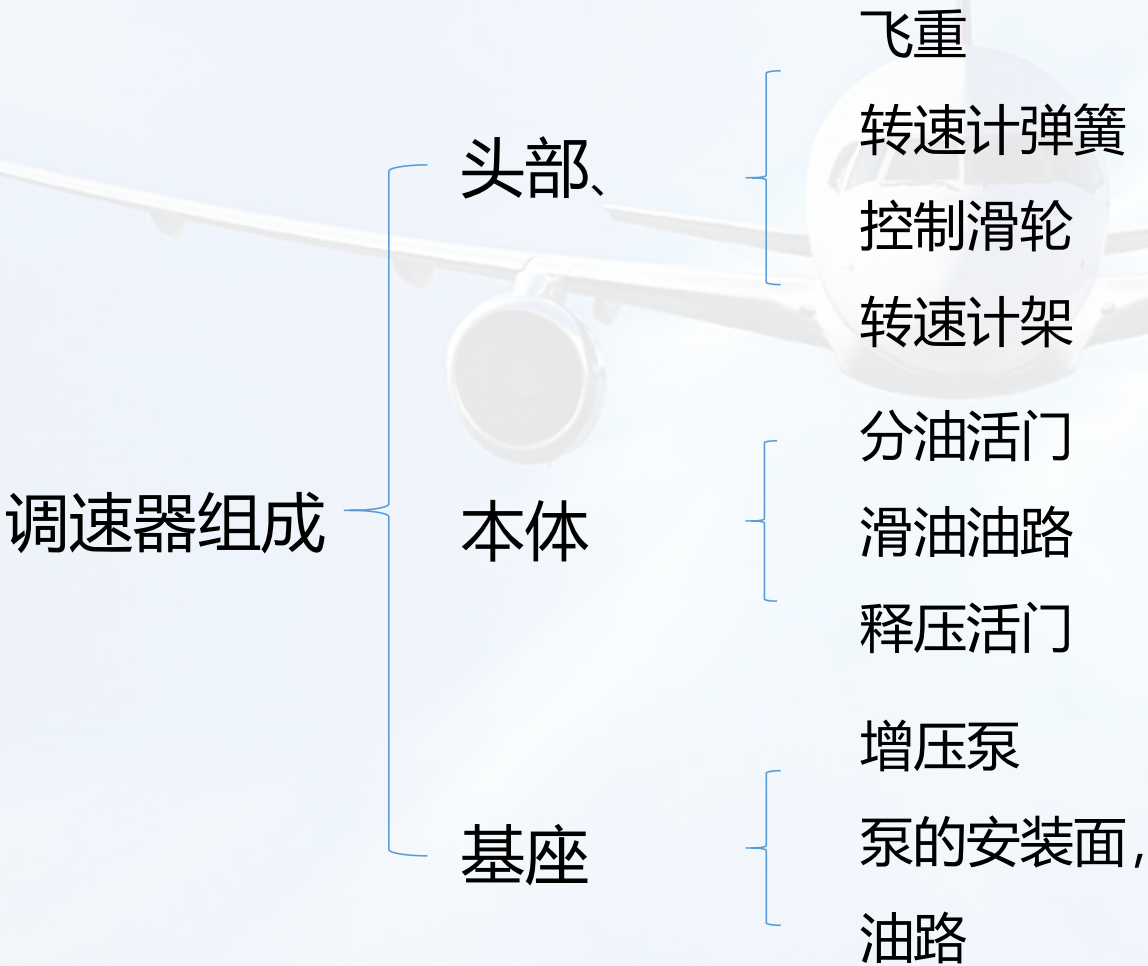
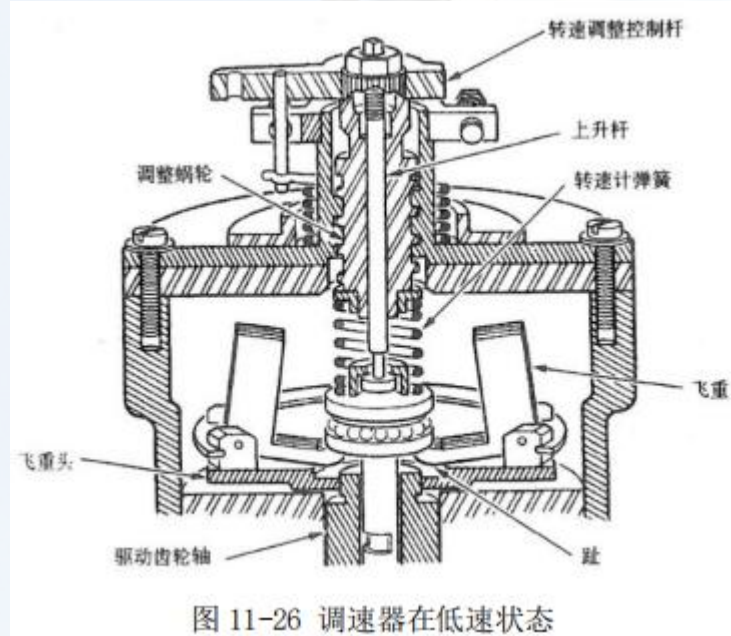


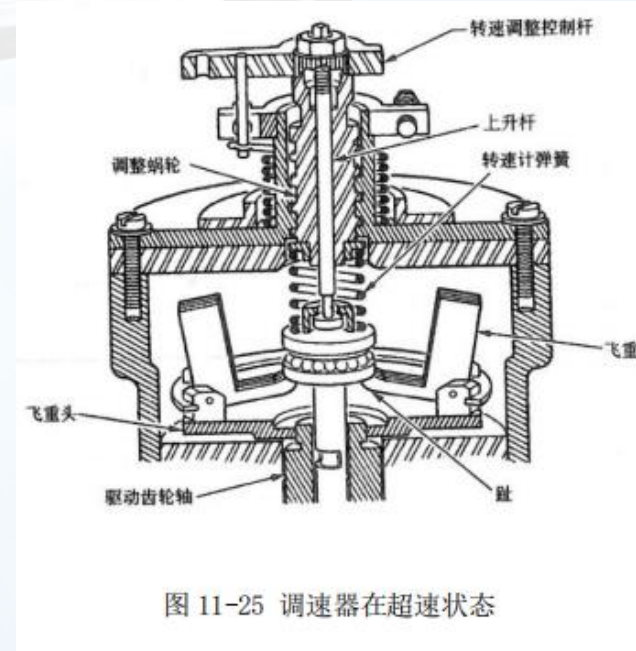
图 11-24 典型调速器的基本结构

## c 调速器工作原理

分油活门的位置由连到传动轴端部的飞重作用力决定，分油活门响应转速的改变，引导滑油流动，调节桨叶角保持选定的转速



转速减小，飞重向内收，分油活门降低



转速增加，飞重向外张，分油活门抬高

弹簧力由驾驶员通过变距杆调节。

## c 调速器工作原理

当转速向调速器给定值一样时，调速器处于在目标转速状态，飞重的作用力由位于飞重上面的转速计弹簧力克服。

### 要高转速

前推变距杆，下压转速计弹簧。弹簧力使飞重向内，分油活门降低，桨叶角减小，负载减轻，变轻桨，发动机轴功率大于螺旋桨阻力功率，转速增加，直到飞重离心力克服转速计弹簧力，分油活门回到中立位置，变距过程结束。

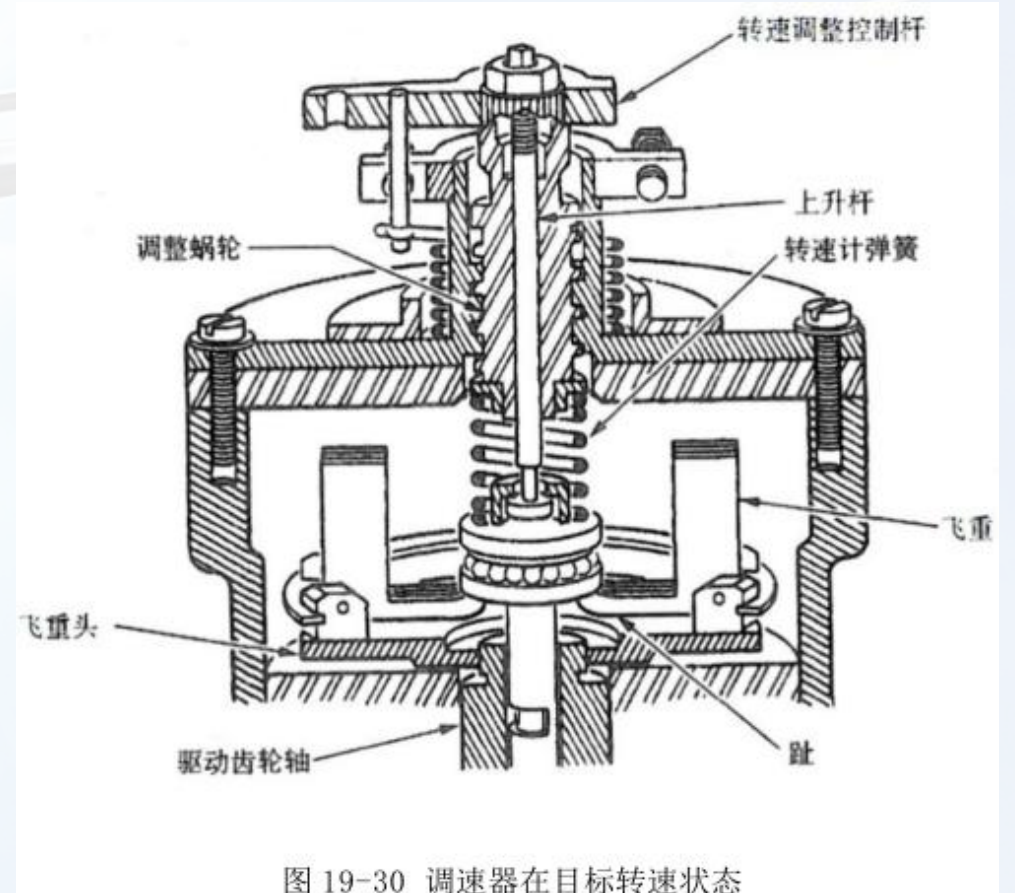
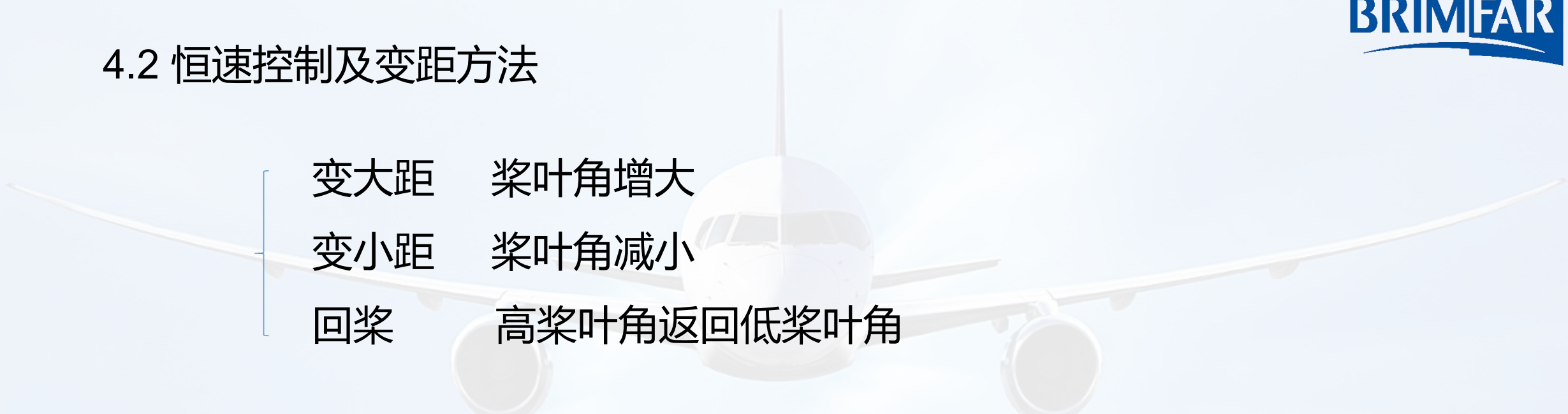


图 19-30 调速器在目标转速状态

## 4.2 恒速控制及变距方法

- 
- A faint, light-colored illustration of a commercial airplane is visible in the background, centered behind the text.
- 变大距 桨叶角增大
  - 变小距 桨叶角减小
  - 回桨 高桨叶角返回低桨叶角

### 螺旋桨调速器变距

- 双向变距
- 正向变距
- 反向变距
- 电动变距

## a 双向变距

变大距和变小距靠液压，为双向液压式调速器

## a) 不变距

变距杆固定一位置，调速器弹簧力一定，调速器保持一发动机转速。离心力与弹簧力平衡，分油活门处于中立位置，螺旋桨桨叶角不发生变化

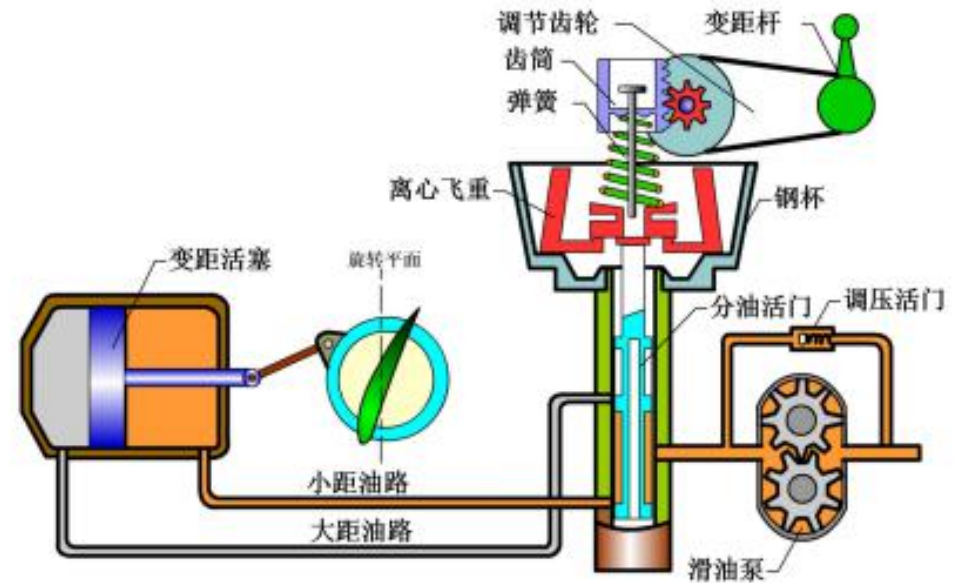


图 11-28 双向变距

## b) 变大距

- ◆ 发动机转速增大，离心飞重抬起分油活门，分油活门上移。滑油进入大距油路A室，变距活塞右移，螺旋桨变大距。
- ◆ 活塞B室滑油顺小距油路回油
- ◆ 桨叶角的增大，阻力矩增加，发动机转速减小
- ◆ 转速减小，分油活门下移，直到转速减小到原来的数值
- ◆ 分油活门回到中立位置，堵住变距油路，螺旋桨桨叶角不再变大，转速不再减小，调速器保持原来的转速不变

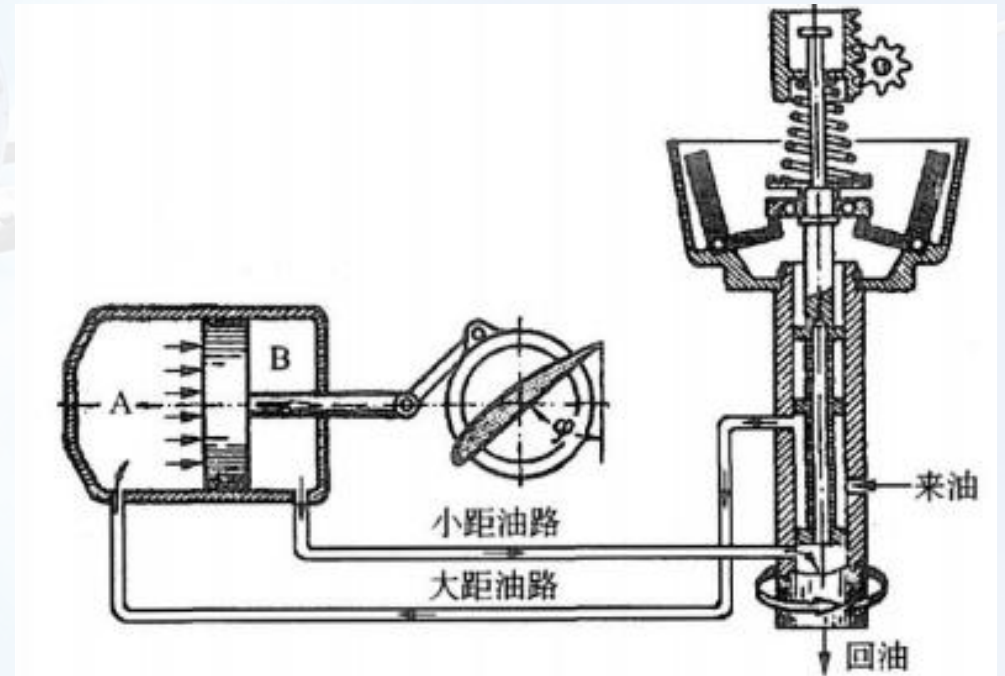


图11-29 转速增大时变大距工作情形

## c) 变小距

转速减小时调速器的工作与转速增大时的相反

- ◆ 前推变距杆，调速器弹簧力增大，发动机转速增大
- ◆ 后拉变距杆，发动机转速减小

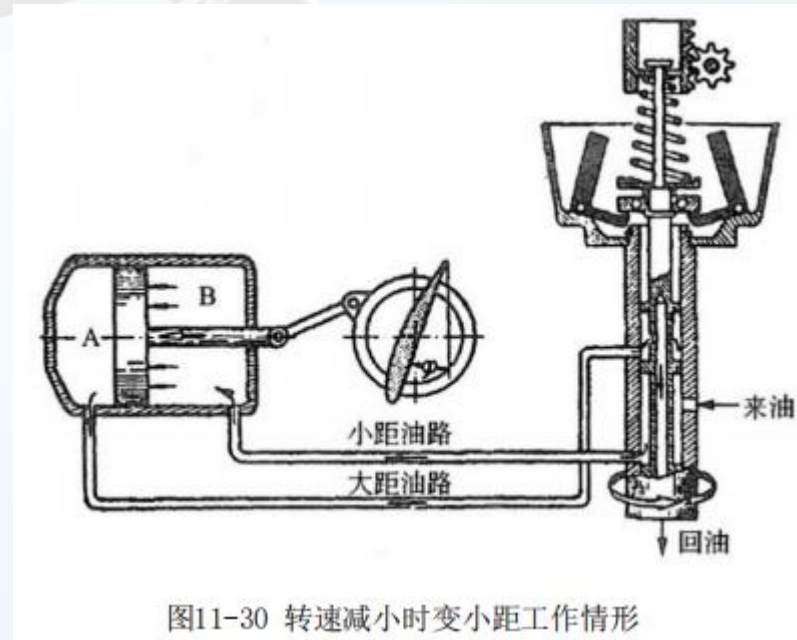
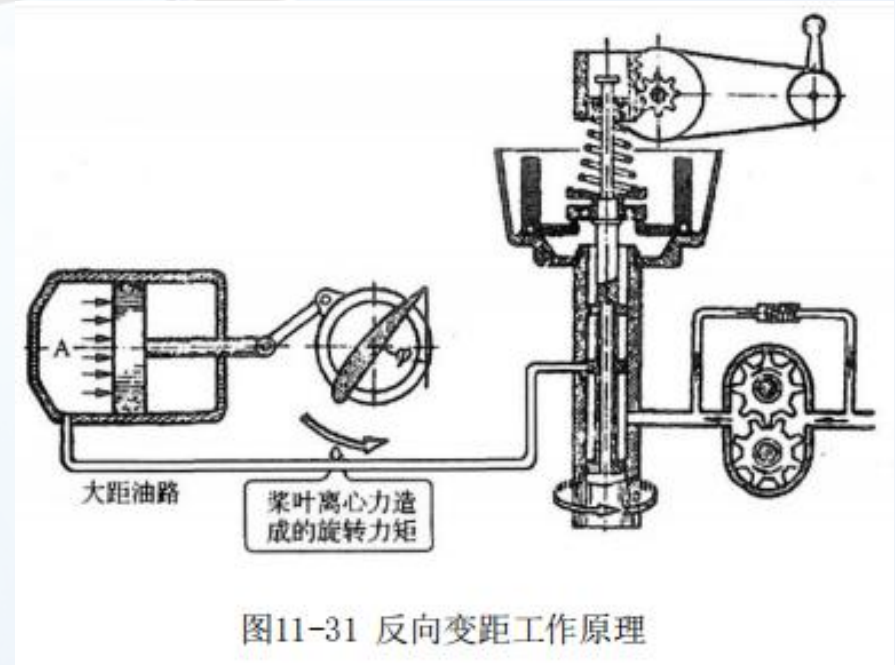


图11-30 转速减小时变小距工作情形

## b 反向变距

用液体压力变大距，用螺旋桨桨叶旋转时所产生的离心力变小距

反向变距当油压损失时自动变小距，因此，  
反向变距螺旋桨有定距机构



## c 正向变距

螺旋桨由液体压力变小距，螺旋桨配重所产生的离心力变大距

改变有两种调速器发动机转速，同双向变距的情况一样，操纵变距杆

- ◆ 前推变距杆，调速器弹簧力增大，发动机转速增大
- ◆ 后拉变距杆，发动机转速减小。

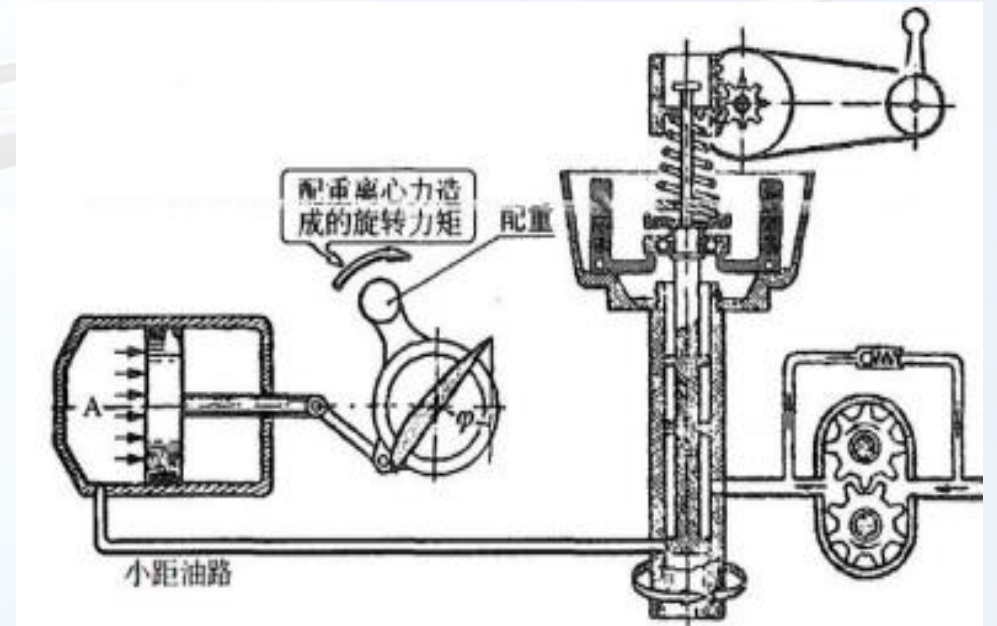


图11-32 正向变距工作原理

## d 电动调速器

## a) 组成

组成

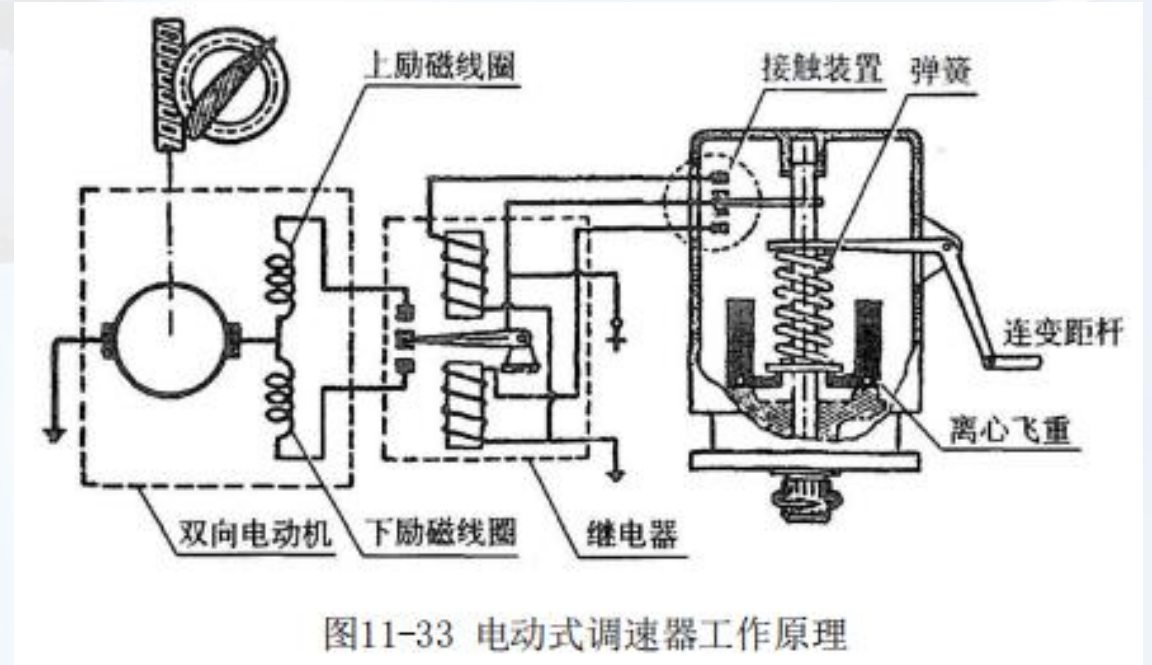
离心飞重

弹簧

双向电动机

接触装置

继电器



## b) 保持转速

变距杆在一位置，调速器弹簧力不变，自动保证发动机在某一转速  
接触装置接触点停留在中间位置，与上、下接触点均不接触  
电动机不转动，螺旋桨桨叶角不发生变化。

## c) 变大距

- ◆ 发动机转速增大，离心飞重上抬，触点的力量也增大，中间触点上移，电动机转动，
- ◆ 螺旋桨变大距，发动机转速减小，转速回到原值
- ◆ 中间触点回到中间位置，电路断开
- ◆ 电动机停止转动，桨叶角不再增大

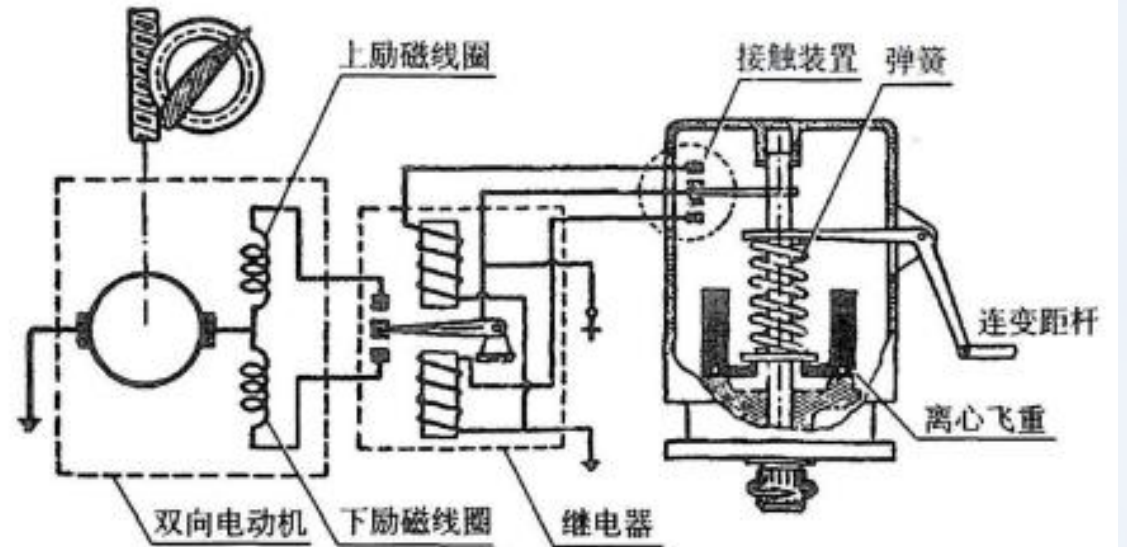
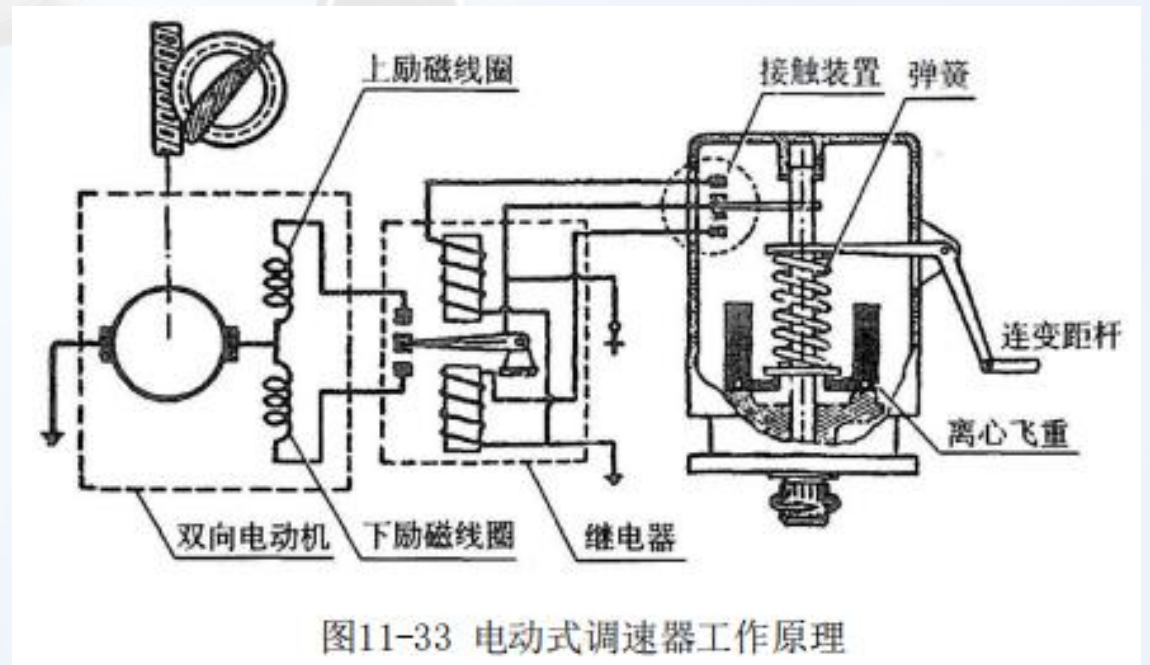


图11-33 电动式调速器工作原理

## d) 变小距

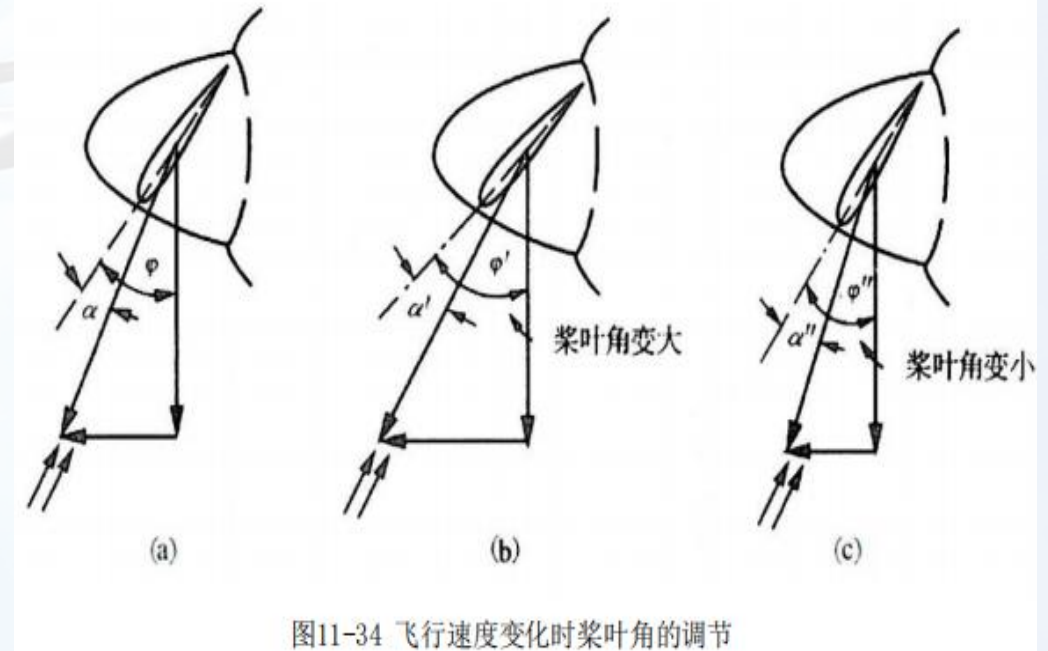
发动机转速减小，调速器的工作情形与变大距相反。。

需要改变发动机转速，应通过操纵变距杆来实现



### e) 飞行条件变化时桨叶角的调节

- ◆ 飞行速度、高度改变，改变桨叶角，阻力力矩等于旋转力矩，转速不变。
- ◆ 飞行速度增大时，桨叶迎角 $\alpha$ 减小，螺旋桨变“轻”，发动机转速会因阻力力矩减小而增大。
- ◆ 增大桨叶角 $\phi$ ，发动机转速就不会随飞行速度增大而增大。
- ◆ 发动机起动时螺旋桨应在低桨叶角位置，螺旋桨的阻力矩最小。



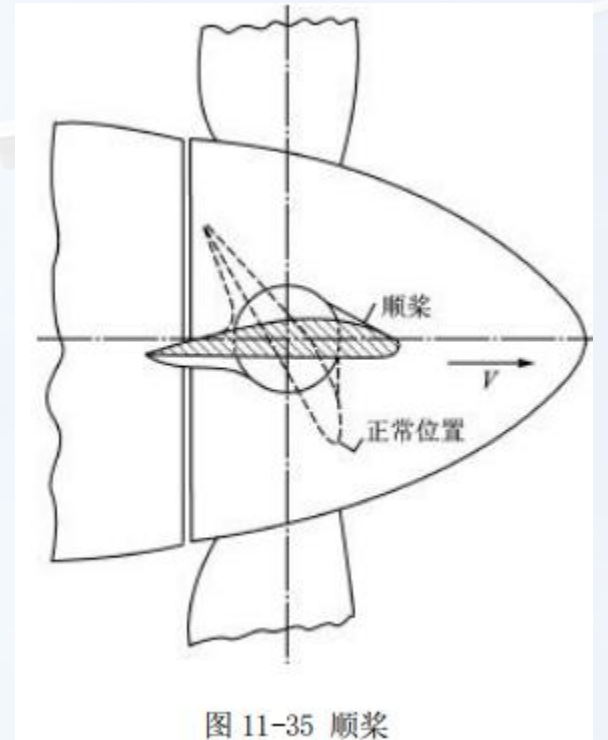
A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and engines.

## 5.2.9.5 桨距控制

## a. 顺桨

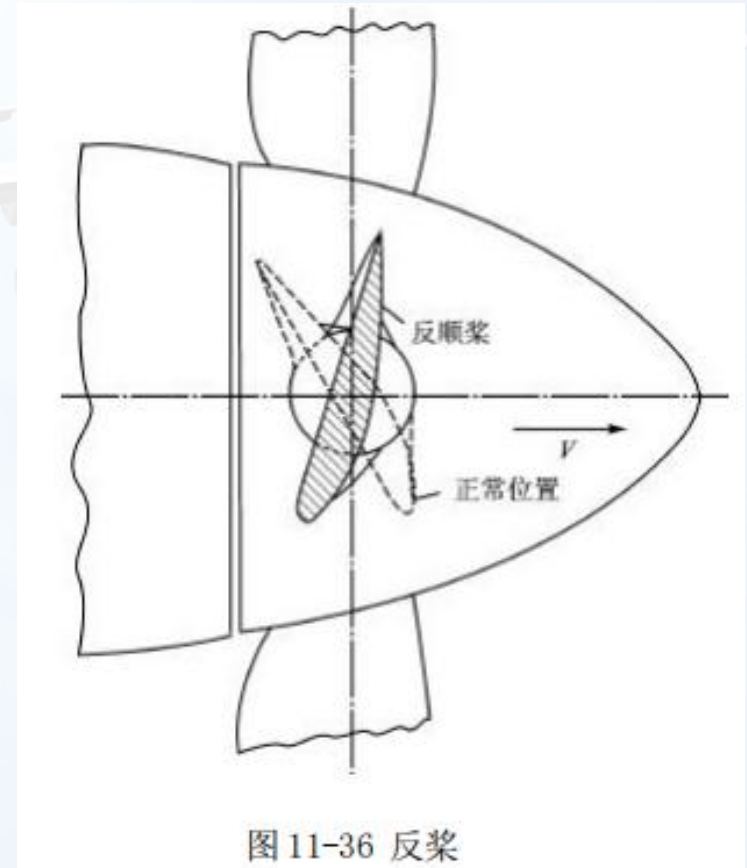
顺桨是指将螺旋桨变大距到最大桨叶角位置

- ◆ 发动机故障，驾驶员选择顺桨位置，或自动顺桨系统顺桨。桨叶前缘直着对向风，桨叶角接近 $90^\circ$ ，消除大部分阻力。
- ◆ 双发及以上的飞机，一台发动机停车，迅速对停车发动机实施顺桨，确保飞机的操纵性及飞行安全。
- ◆ 顺桨将变距杆拉至最后，越过低转速限制区进入顺桨位
- ◆ 现代飞机有自动顺桨，单发失效及时顺桨减少飞机航向无法操控的风险。




## b 反桨

- ◆ 桨叶角能到负值，负拉力减短着陆距离和改善地面机动能力
- ◆ 反桨操纵为：在变距杆位于最前端时将油门杆跨过慢车位后进入 $\beta$ 范围，经过地面滑行操纵区再向后拉就到达反桨操纵区间，
- ◆ 燃油调节装置通过联动装置增加反桨角度的同时增加供油量。



## c 回桨

- ◆ 对顺桨的发动机螺旋桨变小距，退出顺桨位置，便于空中起动。
- ◆ 回桨发动机已经停车，该动作必须消耗发动机以外的能量。
- ◆ 回桨操作将变距杆推到最前，释放回桨储压器中的高压氮气进入桨毂，完成回桨动作。

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

# 5.2.9.6 同步系统及防冰系 统

## 6.1 同步系统功能、构成和工作原理

### a 介绍

**原因** 多发螺旋桨大的振动和噪声。原因是螺旋桨 转速不一致，噪声相互干扰与叠加。

**方法** 匹配或同步发动机给定转速同

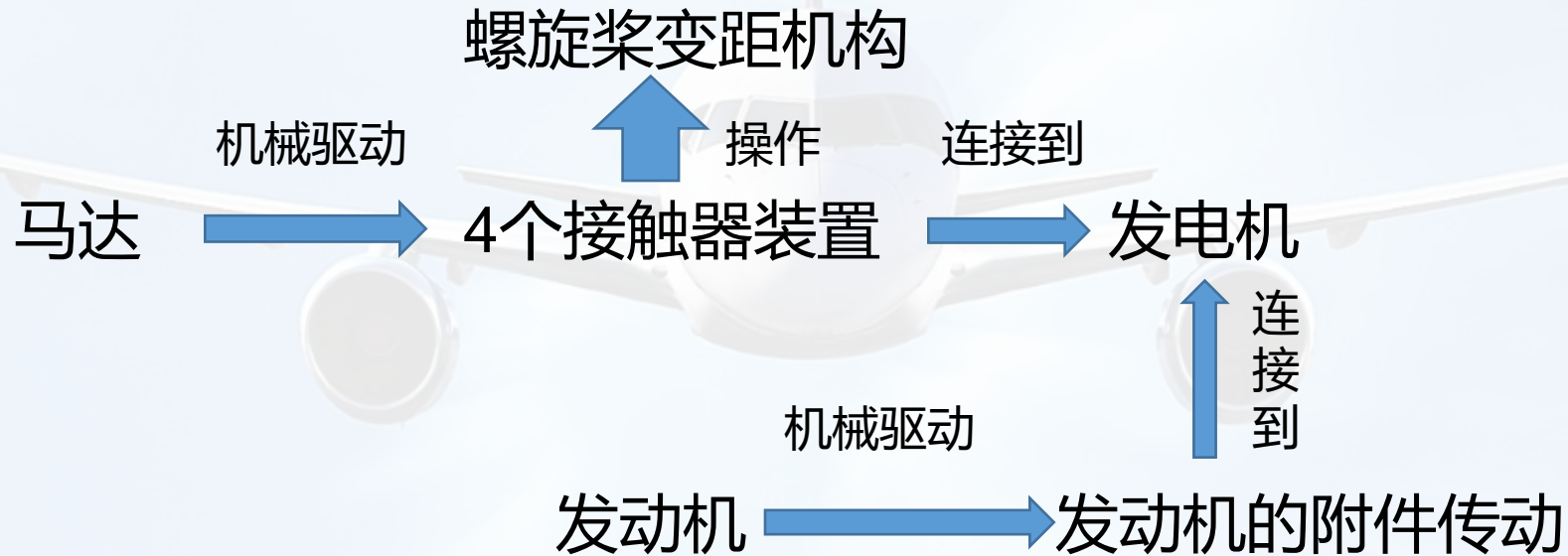
同步系统

主马达同步系统

一发主控制系统

相位同步系统

## b 主马达同步



发电机产生电压的频率直接同发动机转速成正比

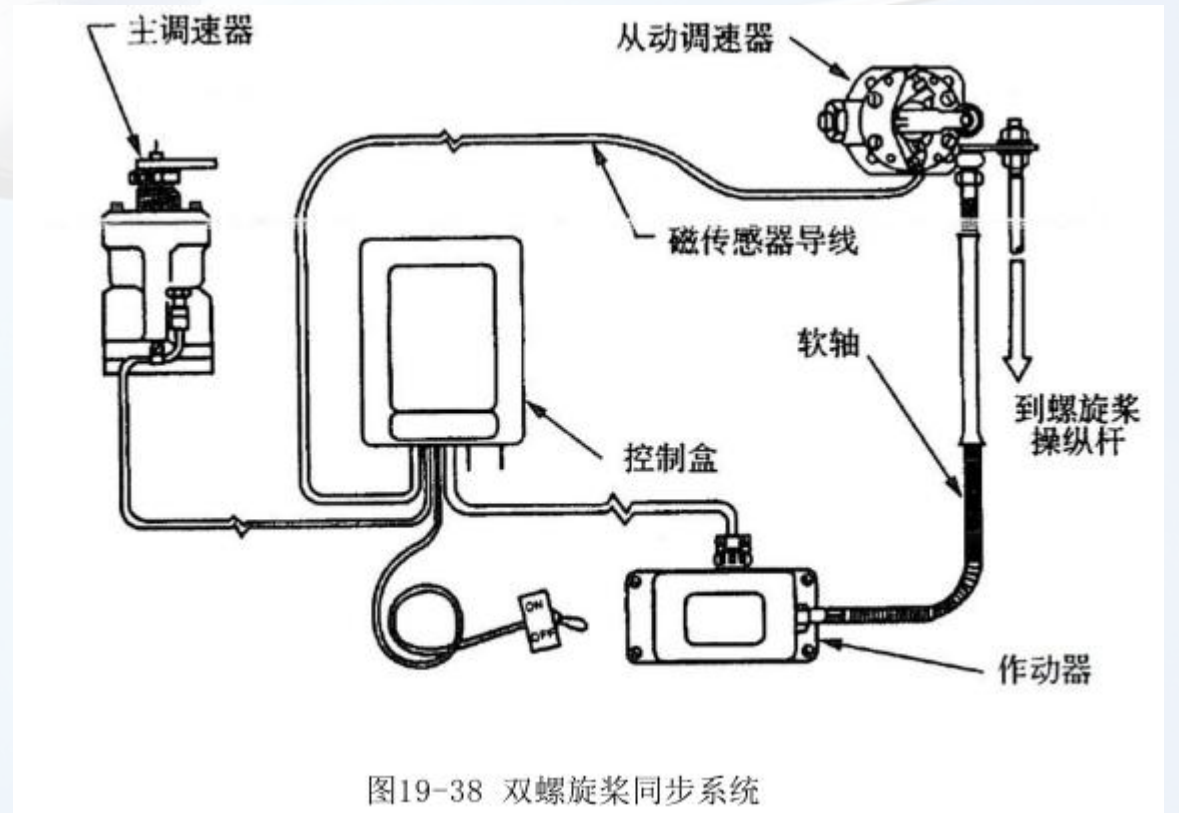
转速给定后，转速差将引起相应的接触器装置操作

螺旋桨变距机构，直到发动机转速匹配

## c 一发主控制系统

转速差的比较电路有限的工作范围，从发转速与主发转速差大约  
在100RPM(转/分)之内

- ◆ 有比较电路的控制盒、
- ◆ 左发上专门的主调节器、
- ◆ 右发上从动调节器
- ◆ 在右发动机舱的作动器。



## d 相位同步

角度差称为相角：控制螺旋桨桨叶之间在旋转面的角度差

每个发动机的脉冲发生器键入各自螺旋桨的指定桨叶。随着每个螺旋桨指定的桨叶通过脉冲发生器，电信号送到相位控制电路比较

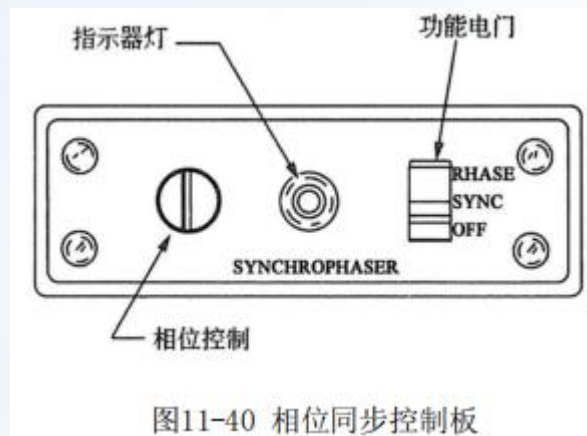


图11-40 相位同步控制板

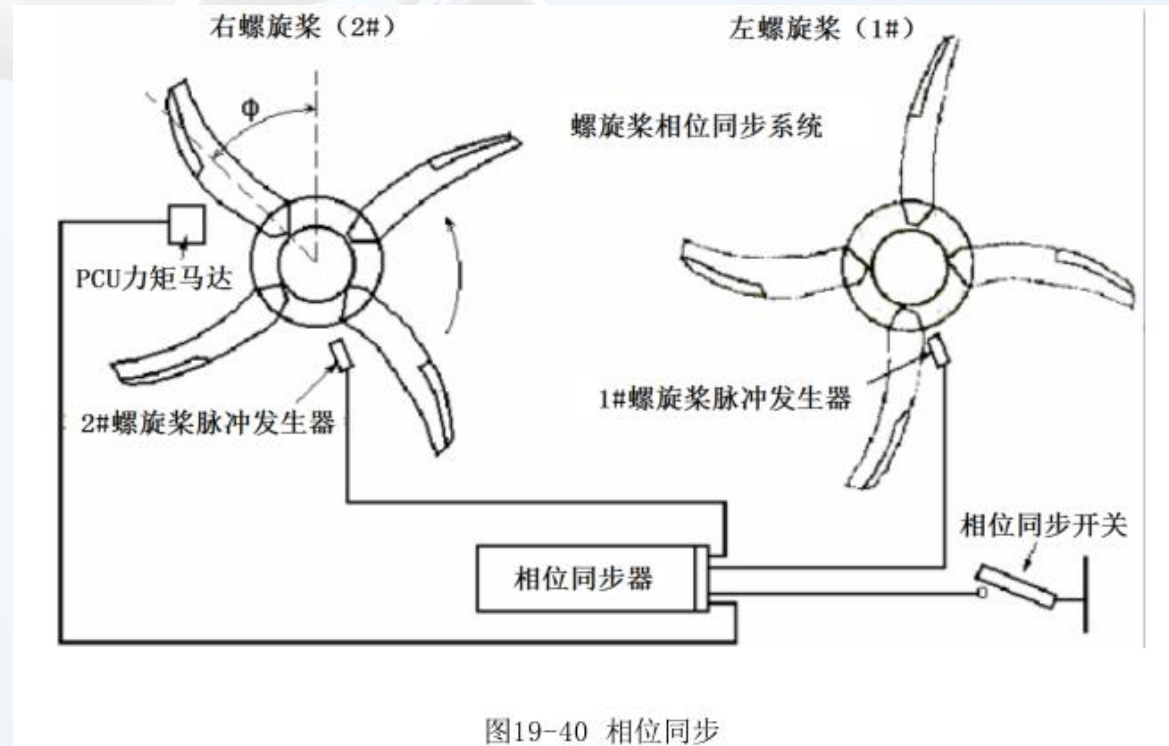


图19-40 相位同步

## 6.2 防冰系统功能、构成和工作原理

### a 介绍

- 结冰害处
  - 改变桨叶翼型引起螺旋桨效率和拉力的损失
  - 桨叶上冰分布不均匀，会不平衡和破坏性振动
- 结冰部位
  - 前缘
  - 桨毂（桨帽）
- 方法
  - 防冰 阻止冰的形成
  - 除冰 冰形成后除掉冰

### b 液体防冰

部件

- 控制组件 调节泵的输出
- 防冰液箱
- 输送流体到螺旋桨和喷嘴的泵。

甩液环U形通道，离心力送防冰液叶柄

- 异丙基酒精 易买到，成本低
- 磷酸盐化合物，可燃性低，相对贵

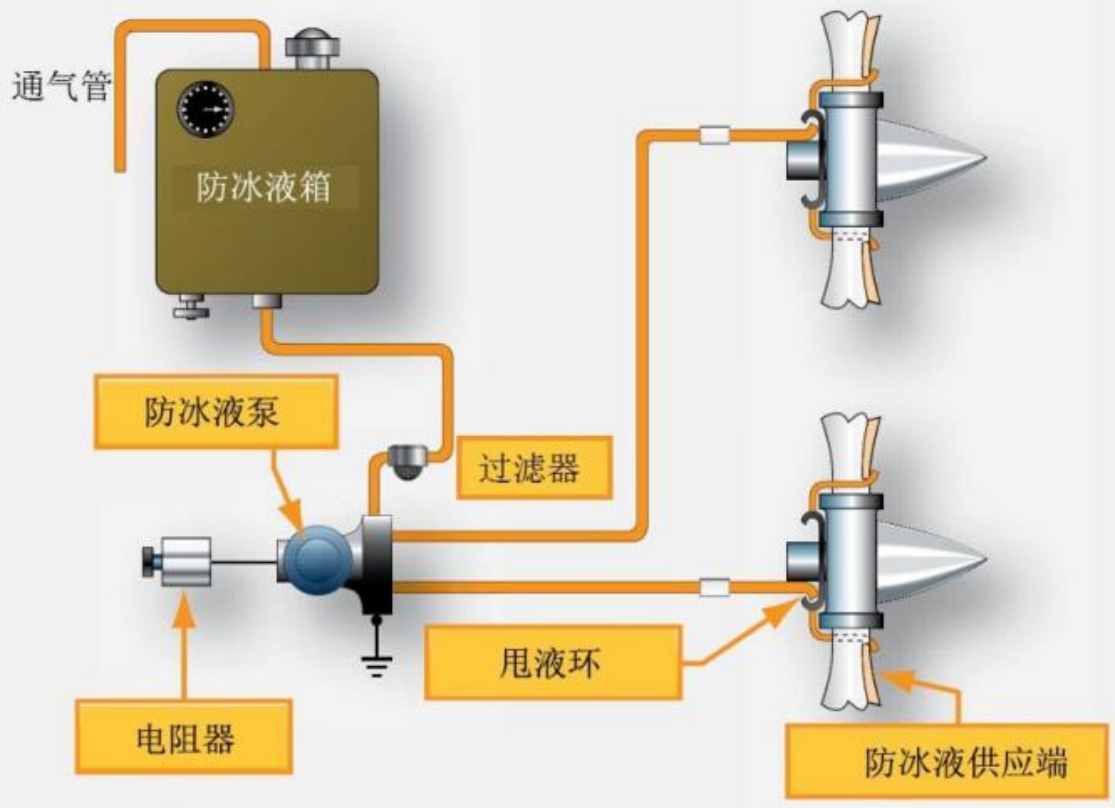


图19-42 螺旋桨流体防冰系统

### c 电除冰

#### 电源

电刷 在机匣螺旋桨的后面  
滑环 在桨毂组件的背面



触摸螺旋桨电热防冰套检验是否被加热

#### 电阻加热元件

装在桨叶内部或外部。外部的加热元件是除冰靴

#### 系统控制

负载表是电流表 监视电路电流和目视证实定时器是否正常工作  
通/断电门  
保护元件

#### 电源继电器

#### 定时器

控制加热间隔是关键，周期  
15~30s，循环时间2分钟。

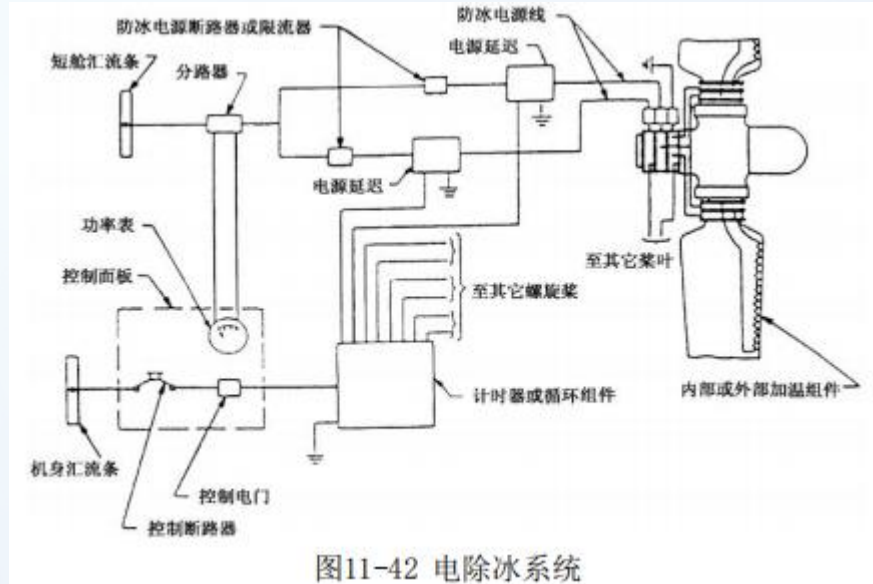


图11-42 电除冰系统

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

## 5.2.9.7 螺旋桨的检查和维护

## 7.1 轨迹检查

### a 介绍

- ◆ 每个桨叶叶尖旋转弧时的轨迹，比较桨叶叶尖彼此的相对位
- ◆ 置查找振动问题或作为螺旋桨平衡和再安装的最后检查

轻型飞机

- ◆ 金属螺旋桨直到6ft (英尺) 直径其叶片相互轨迹在1/16in (英寸) 之内。木制螺旋桨轨迹不应大于1/8in (英寸)

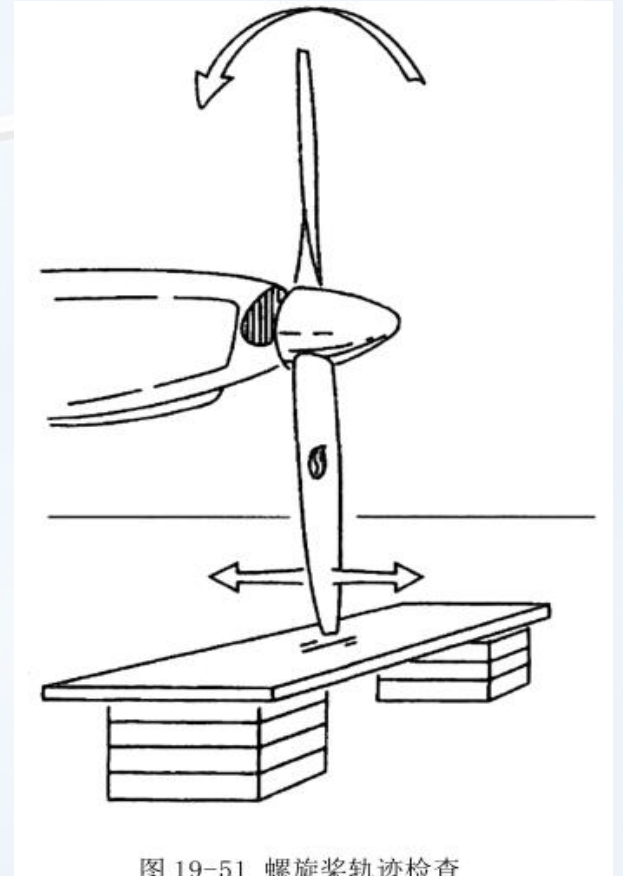


图 19-51 螺旋桨轨迹检查

## b 轨迹检查过程

### 第一种方法

- ◆ 飞机锁定在静止位置，放置轮挡防止飞机移动的。
- ◆ 在地面放置固定的基准，离螺旋桨弧1/4in（英寸）之内。
- ◆ 转动桨叶，标记每个叶片的轨迹。
- ◆ 检查所有叶片轨迹最大差值不应超过上述限制值。

### 第二种方法

- ◆ 飞机前缘装跟粗的金属丝或较细的杆子，稍微接触桨叶尖部
- ◆ 转动螺旋桨，观察下一片桨叶，测量杆子和桨叶间距离。
- ◆ 继续这一过程，直到检查所有桨叶

## 7.2 桨叶损坏、腐蚀、疲劳裂纹检查

### 检查项目1

- ◆ 目视桨叶是否有凹坑、磕伤、材料松动、腐蚀、裂纹或脱胶；
- ◆ 复合材料桨叶的适航类损伤限度桨叶是否受过雷击；
- ◆ 预定检查期间发现的缺陷或损伤，确定继续飞行前是否需要修理
- ◆ 整流罩和可见的桨叶固定件是否有损伤或裂纹
- ◆ 紧固件是否松动/缺失，必要时重新拧紧或重新安装
- ◆ 有无油脂和滑油渗漏，并确定渗漏源头
- ◆ 桨叶的径向间隙或叶尖移动（里外或前后）
- ◆ 检查除冰套（如果已安装）是否损伤
- ◆ 利用飞机的“飞行员操作手册”程序，检查螺旋桨转速控制以及从反桨距或低桨距到高桨距的操作

涡流设备检查桨毂检查桨叶和桨毂，特别注意每个桨叶根部上有没有裂纹

## 7.3 超转和冲击损坏评估

### a 定义和害处

超转是指螺旋桨转速超过最大转速限制

- ◆ 桨叶根部承受大离心力
- ◆ 桨叶尖部超过或接近音速时，产生激波阻力，效率急剧下降。
- ◆ 发动机的曲轴超转
- ◆ 发动机的活塞、连杆和曲轴等机件受力增加,极易损坏

## b 超转原因

- ◆ 调速器没有调整好
- ◆ 调速器的分油活门卡阻在下位，使螺旋桨始终处于最小距的工作状态。在这种情况下，随着飞行速度的增加，桨叶迎角迅速减小，而螺旋桨又不能变大距，因而造成超转。
- ◆ 冬季飞行时，特别长时间下降，长期未变距，变距滑油冻结，也会超转

## c 超转后处理方法

- 超转，迅速收油门减小进气压力。
  - ◆ 滑油冻结的超速，螺旋桨转速减小，活动变距杆，使分油活门正常，并使滑油循环加温。
  - ◆ 转速不变，滑油没有冻结，适度后收变距杆减小螺旋桨转速
- 飞行中转速不稳或下降，可能是变距机构出现故障或是分油活门卡阻在中立位置或中立以上位置，调整油门控制转速，活动变距使转速恢复正常

以上措施不能恢复正常转速,则应就近着陆。

## 7.4 螺旋桨的安装和桨叶角检查

### a 螺旋桨的安装

螺旋桨连接到发动机曲轴因曲轴的类型不同而不尽相同

发动机曲轴类型

- ◆ 带安装边的轴
- ◆ 锥形轴
- ◆ 套尺轴

安装考虑

- 定心
- 传扭
- 固定

➡ 使螺旋桨工作可靠和不产生振动。

## a) 带安装边的轴

### A. 介绍

- ◆ 螺栓和螺帽将螺旋桨固定在轴上
- ◆ 有的是预先将带螺纹的圈压入螺栓孔，不再需要螺帽

带安装边的轴有定位销孔，螺旋桨定位

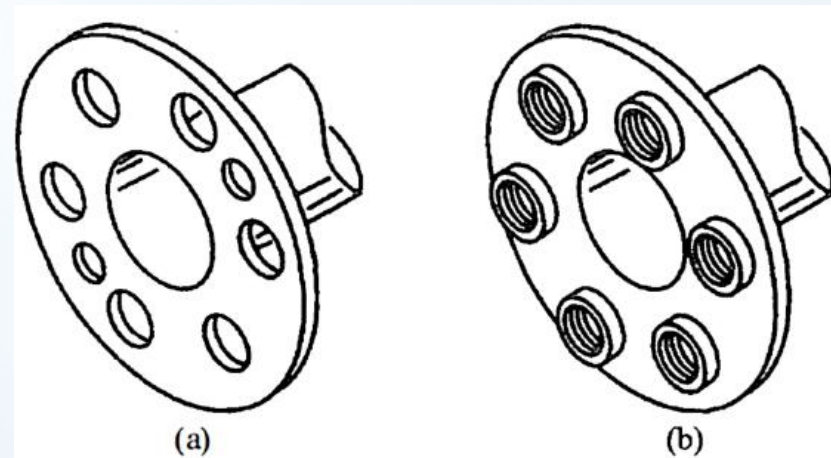


图 19-52 带安装边的轴

(a) 带有定位销孔的安装边； (b) 有螺套的安装边

## B 安装过程

- ◆ 检查凸缘有无锈蚀、缺口、毛刺和其它表面缺陷
- ◆ 清洁带螺栓的孔和带螺纹的圈并处于良好的状态
- ◆ 螺旋桨安装到发动机曲轴上，定位销定位
- ◆ 安装螺栓、垫圈和螺帽，轻轻上紧所有的螺帽
- ◆ 按规定的交错次序扭转螺帽到所要求的扭矩值
- ◆ 安装整流罩
- ◆ 进行轨迹调整
- ◆ 加上保险装置

## C 安装螺钉顺序

遵守螺旋桨制造厂**紧周次序是重要的**，  
避免在螺旋桨**浆毂中导致应力**，多轮次  
按照规定顺序，交叉按力矩要求值拧紧  
螺栓后必须再依次检验各螺栓力矩值

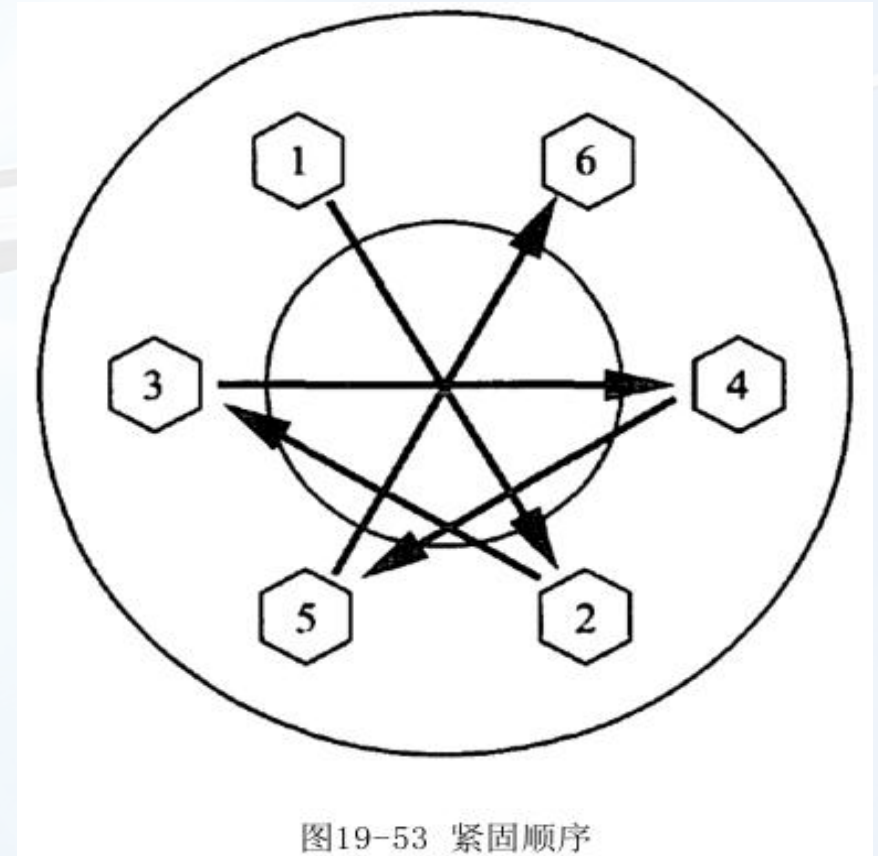


图19-53 紧固顺序

## b) 锥形轴

### A. 介绍

低马力发动机，曲轴是锥形的，螺旋桨安装端带螺纹。防止螺旋桨在轴上转动，轴上有大键槽，键保持螺旋桨在位

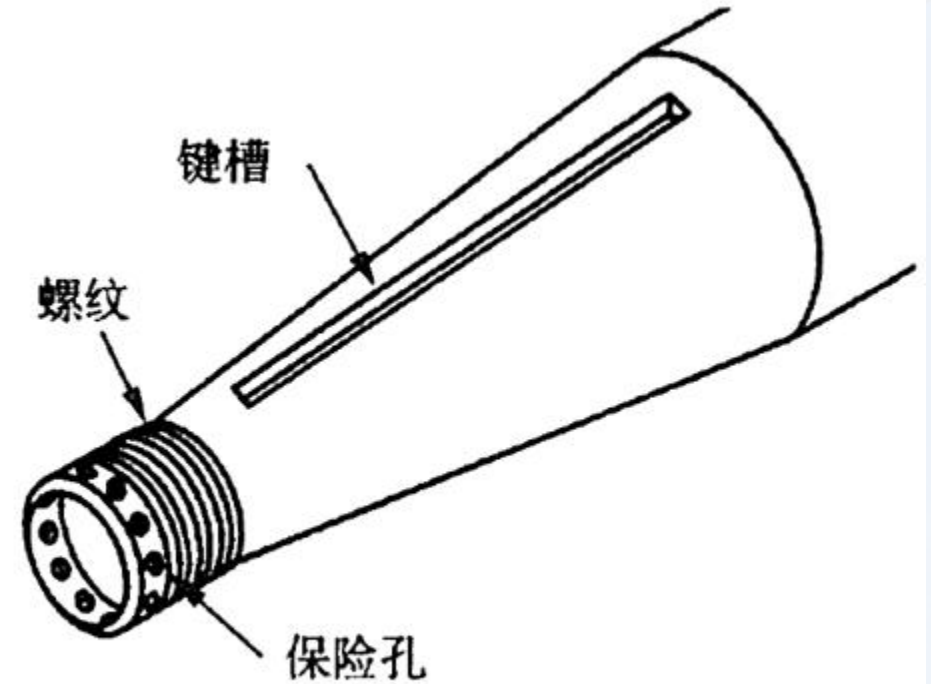


图19-54 锥形轴

## B 安装过程

- ◆ 锥形轴上是否有锈蚀、裂纹和磨损等。特别键槽拐角，染色渗透法检查键槽部位
- ◆ 桨毂部件和安装部件是否有磨损、裂纹、锈蚀和翘曲，染色渗透法或磁粉法检查桨毂和螺栓
- ◆ 安装前试装配，有染色的液体，涂到锥形轴上，全部安装好
- ◆ 拆下桨毂，观察染料接触转移的面积，最小应达到70%
- ◆ 低于70%，检查桨毂和曲轴表面的不平整度，如污物、磨损和锈蚀等，研磨修整表面
- ◆ 清洗桨毂和锥形轴表面上的染料和研磨剂

## c) 套尺轴

### A 介绍

其中两倍宽度的主键保证桨  
毂安装位置

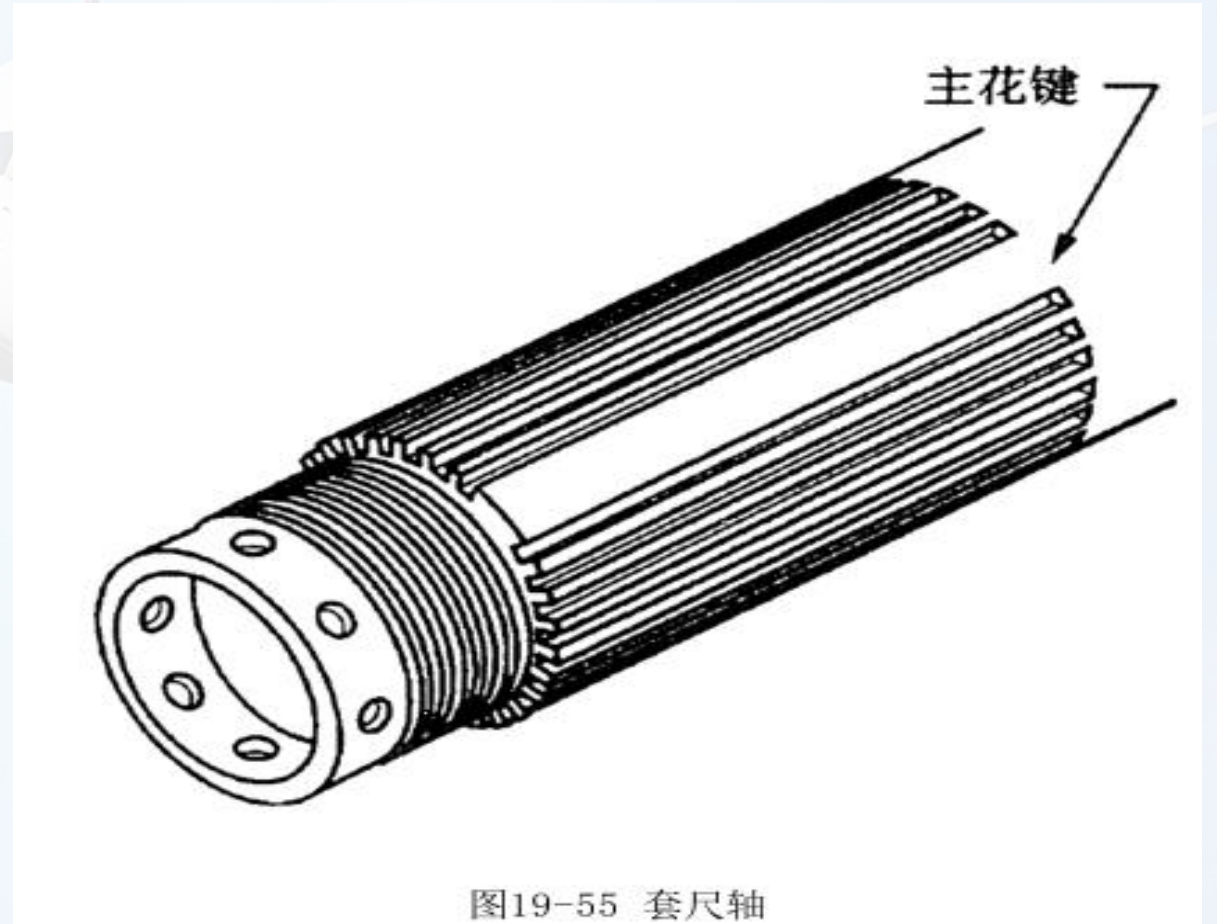
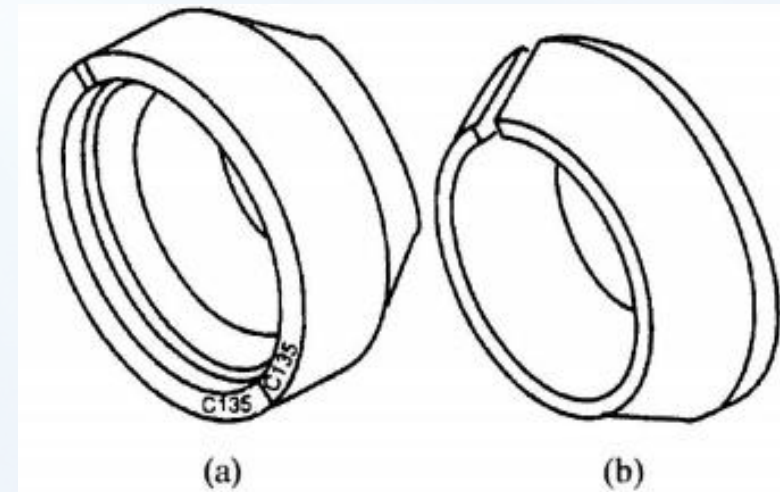


图19-55 套尺轴

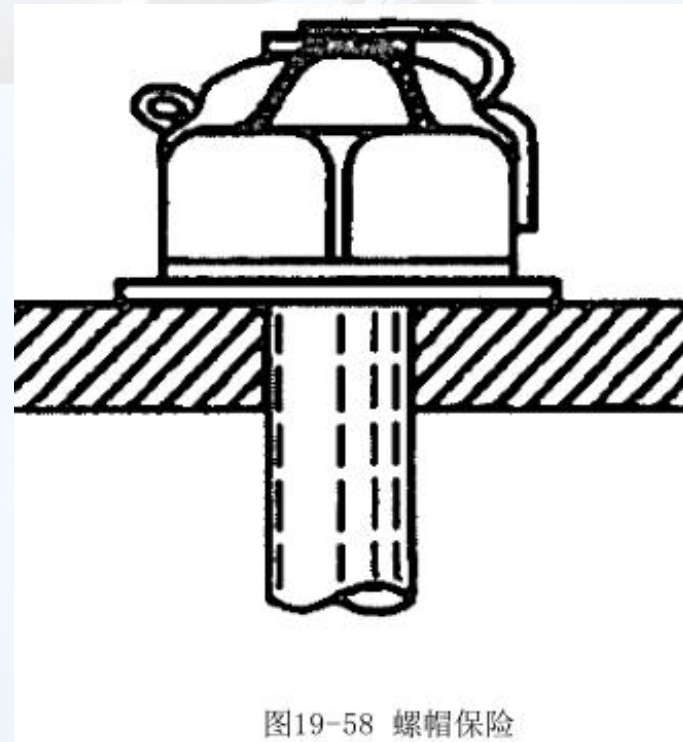
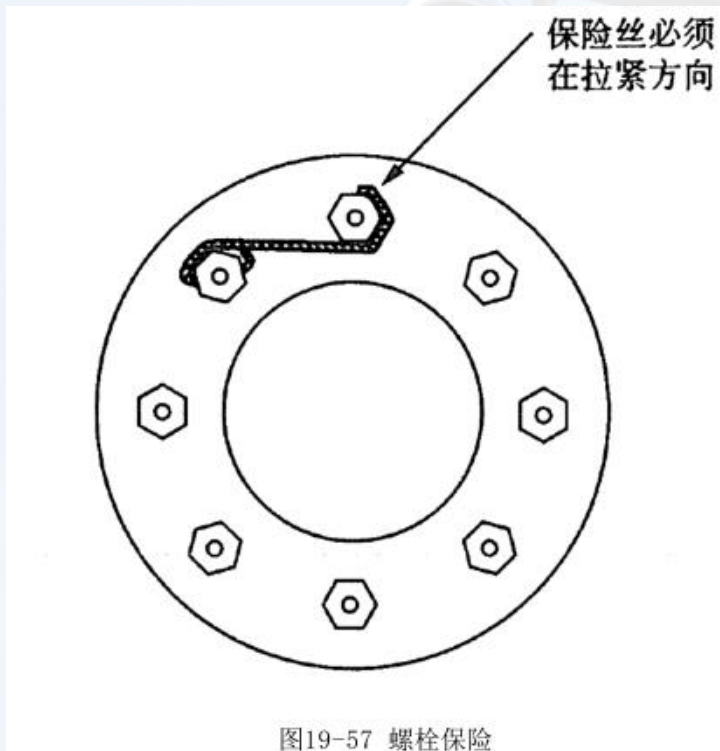
## B 安装过程

- ◆ 过规/不过规检查花键磨损，花键间允许最大尺寸大0.002in（英寸）
- ◆ 量规在两个键槽之间测量，超过20%的键槽插不进去，轴和键可使用
- ◆ 20%以上键槽能插进去，说明曲轴已有过量磨损，必须更换。
- ◆ 确保螺旋桨桨毂在曲轴的中心，前锥和后锥应装在螺旋桨毂的每一侧
- ◆ 普鲁士蓝检查前、后锥的安装是否正确。装扭紧后拆下，前、后锥面积不小于70%。



## C 螺栓保险

- ◆ 螺栓固定每对螺栓的保险丝必须在拉紧的方向
- ◆ 螺旋桨使用的是槽顶螺母，则用开口销保险



## b 检查

所有变距螺旋桨飞机均相同

变距杆前移，转速增加，变距杆后移，转速减少  
油门前移增加拉力，油门后移减少拉力。

发动机暖机和试验液压螺旋桨时，调速器运动整个行程几次

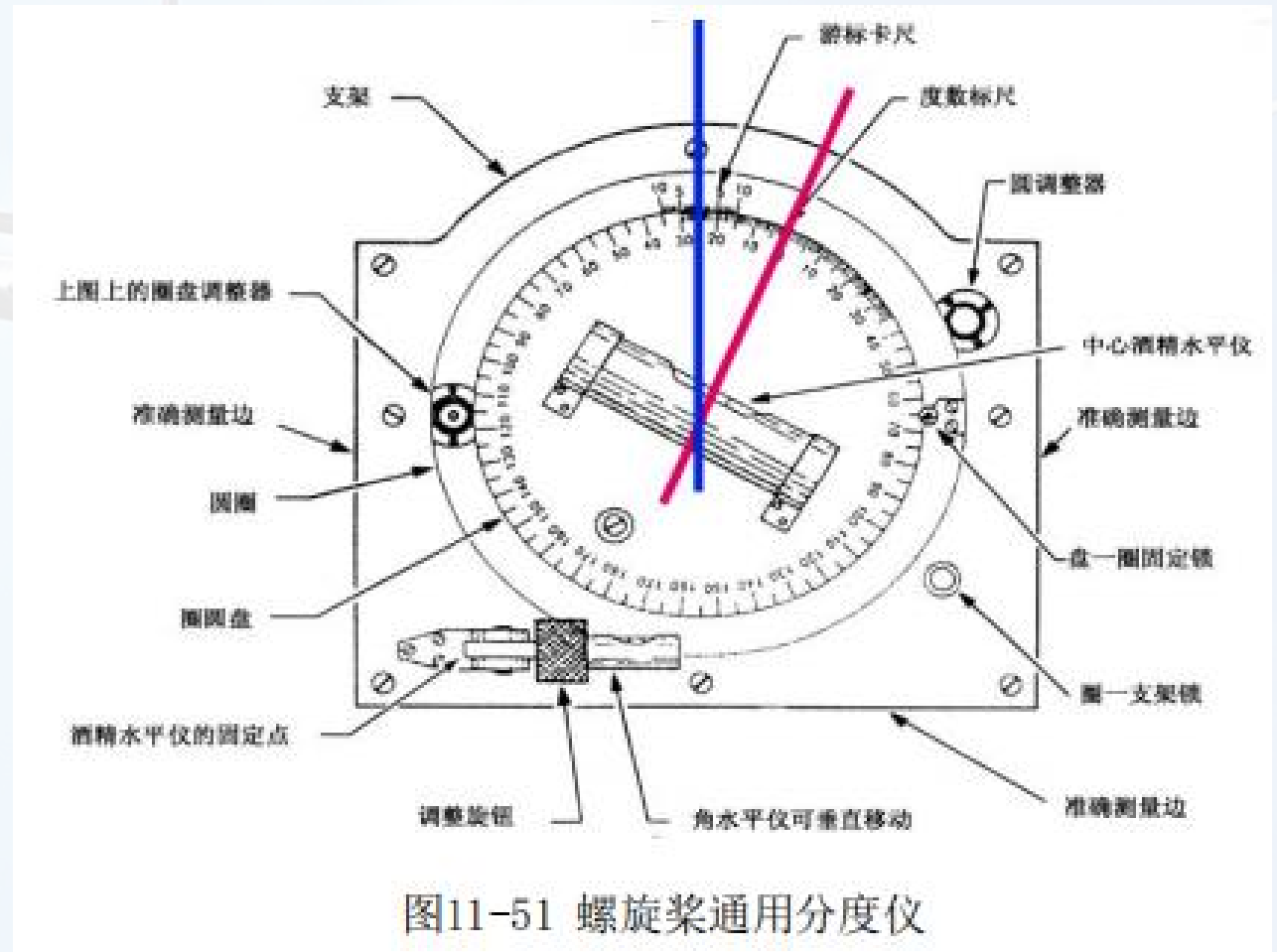
飞行试验

检查滑油是否泄漏和部件的牢固性。

## c 桨叶角的检测

## a) 介绍

指定的桨叶站位检查桨叶角需要使用螺旋桨通用分度仪



## b) 过程

- ◆ 桨叶角之前，分度仪必须归零
- ◆ 分度仪靠住叶面，调节气泡位于水准仪中心；
- ◆ 转动螺旋桨，使桨叶的前缘处于水平位置；
- ◆ 找出桨叶叶面的基准，将分度仪的边放在桨叶面的基准位置上；
- ◆ 转动圆盘调整钮，直到中心酒精水平仪水平为止；
- ◆ 从游标尺上零刻度所对应的数值便是桨叶角的度数。

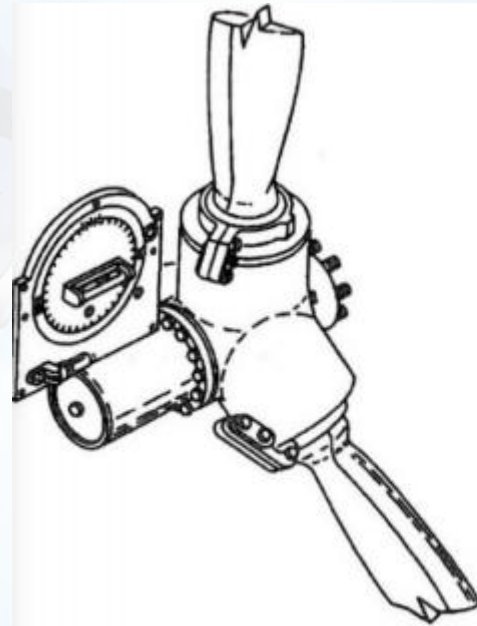


图11-52 桨叶角测量基准

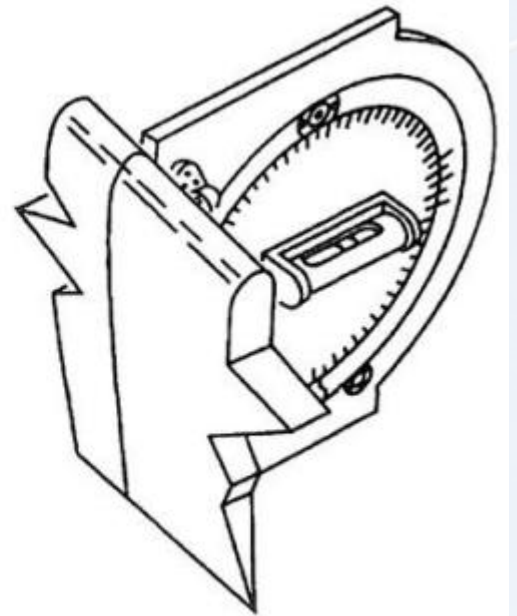
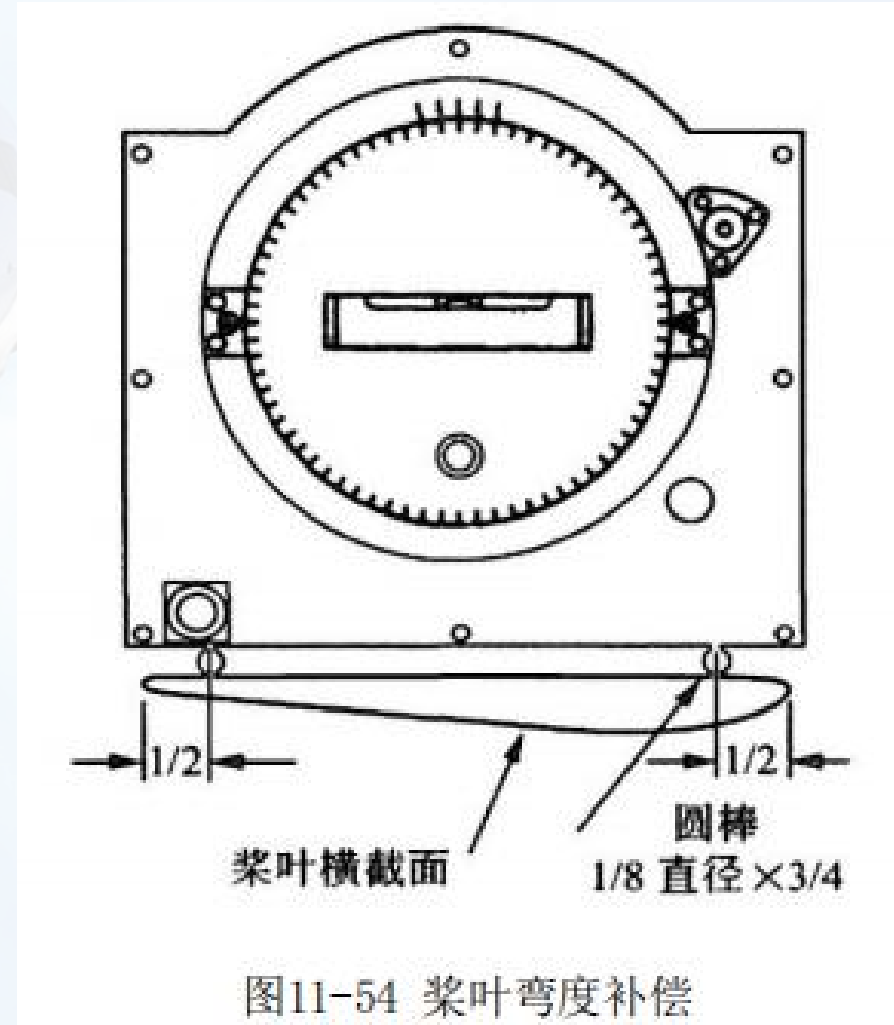


图11-53 桨叶角测量

## c) 特殊情况测量

桨叶叶面弯曲，前缘和后缘  
1/2in(英寸)的地方用1/8in(英寸)  
直径的圆棒连接，固定到螺旋桨  
叶片，为分度仪提供平面



## 7.5 不同类型螺旋桨存放和检查要求

### a 木质螺旋桨的存放和检查要求

#### a) 检查要求

- ◆ 分层、表面上压坑和伤痕。
- ◆ 叶背或叶面裂纹或伤疤、断裂、扭曲、中心孔和螺栓孔磨损或尺寸过大
- ◆ 修理后，保护涂层改变了桨叶的平衡。桨叶检修后必须检查螺旋桨的平衡

## b) 存放

- ◆ 存放水平放置
- ◆ 湿气均匀分布
- ◆ 存放处应该保持冷、暗、干燥
- ◆ 通风良好

## b 铝合金螺旋桨的存放和检查要求

### a) 检查要求

年检和  
100h检查

- ◆ 是否有裂纹、压坑，螺栓扭矩是否正确
- ◆ 清洗后，桨叶是否点蚀、压坑、刻痕、裂纹和腐蚀。
- ◆ 损坏敏感前缘和叶面，可用 4 倍的放大镜，怀疑裂纹着色渗透检查。
- ◆ 桨叶表面缺陷修理平行于长度进行
- ◆ 螺旋桨边缘修理最大允许尺寸深度为 1/8in，长度不大于 1.5in
- ◆ 一个叶尖修短，其余须修短到一样尺寸
- ◆ 叶背和叶面细砂纸抛光，表面阿罗丁、漆和其他批准的保护涂层。

## b 存放和勤务

- ◆ 桨叶时要对其防锈处理，腊纸包装，定期检查和勤务
- ◆ 润滑螺旋桨的油脂有防磨和塑性，即油脂减少摩擦阻力和压力下容易变形。

## c 复合材料螺旋桨的存放和检查要求

### a) 存放和检查

优势

重量  
结构阻尼性  
破损安全  
维修性

材料类型且加工工艺有差别，检查、修理和存放有差别，  
参考厂家的有效维修资料

## b) 钻石 DA42NG特点

- ◆ 变距螺旋桨产自德国MT公司
- ◆ 木质基体，外包玻璃纤维增强塑料（GFRP），丙烯酸清漆
- ◆ 桨叶前缘金属包边增强抗撞击能力
- ◆ 翻修间隔 2400 飞行小时
- ◆ 平时维护随定检完成相应检查即可
- ◆ 存放无特别的要求，普通航材包装保管

## c) 新舟 60/600

- ◆ 变距螺旋桨美国 Hamilton 公司
- ◆ 桨叶材料全复合材料，包括石墨纤维梁、卡维龙增强复材外壳和聚氨脂发泡轻质充填物，而桨叶梁和结构与钢件结合，桨叶表面涂一层聚氨基甲酸漆
- ◆ 前缘有镍质金属保护套
- ◆ 桨壳设计防闪电、雷击的保护
- ◆ 寿命高达31500 飞行小时
- ◆ 维护时随定检完成相应检查，
- ◆ 存放时无要求，按普通航材包装保管即可

# 小结:

1

序号	思考题
1	螺旋桨原理
2	控制原理
3	检查和维护
4	
5	
6	



**感谢聆听，欢迎指正**