



M1.4 航空动力装置

修订批准页:

1

版次	修订时间	编写/改版	修订说明	审核/日期	审批/日期
R0	2020.06.16	单展	新编课件	谈海军 /2020.08.01	张玉 /2020.08.06
R1	2021.01.29	单展	修订课件	谈海军 /2021.02.01	张玉 /2021.02.02
R2	2021.7.26	单展	修订课件	谈海军 /2021.07.26	张玉 /2021.07.27
R3	2021.9.13	张玉	修订课件	谈海军 /2021.09.28	张玉 /2021.11.12
R4	2022.5.16	张玉	修订课件	谈海军 /2022.05.19	张玉 /2022.05.19

目的与要求:

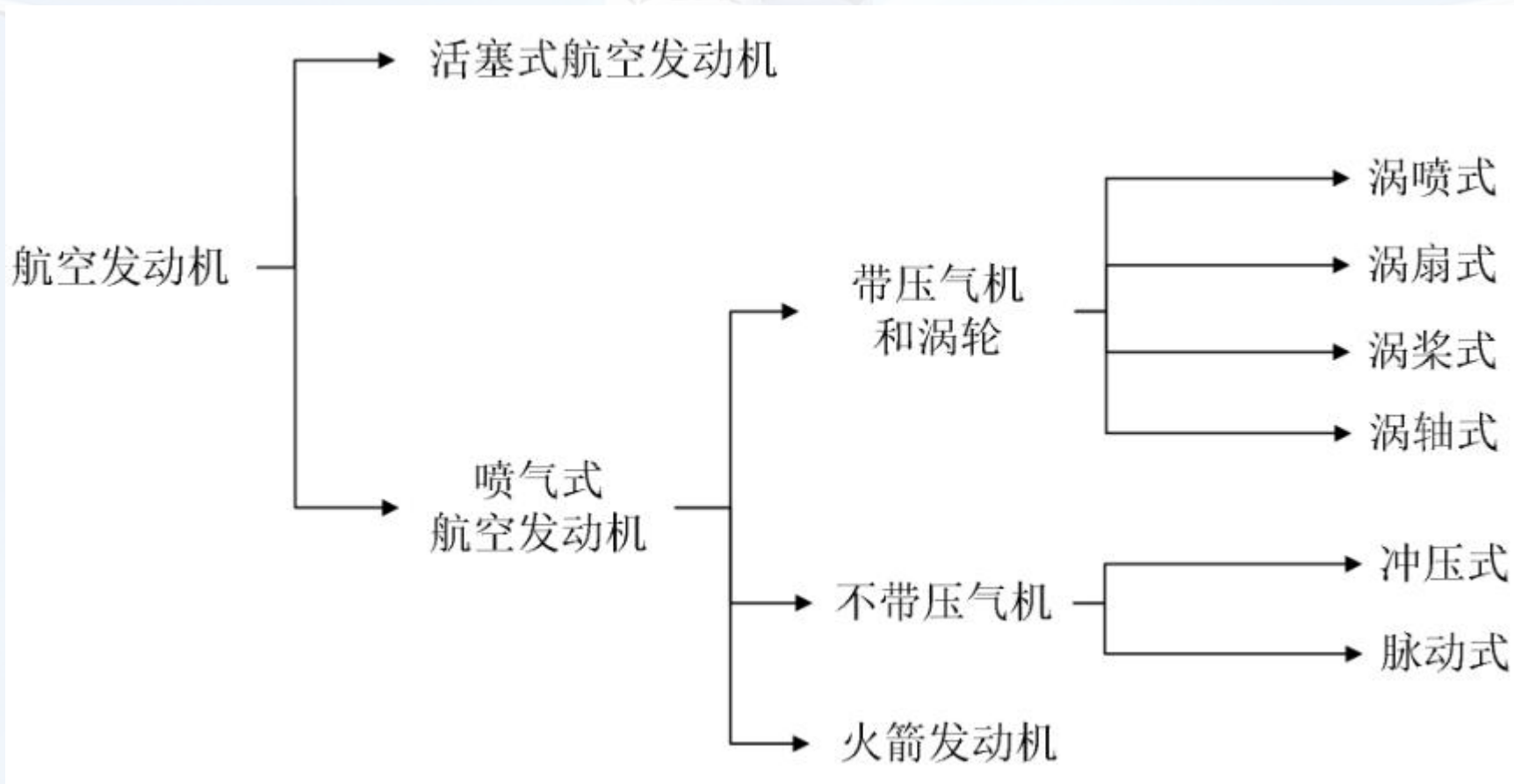
目的	通过本课程学习，可以掌握基本的航空器动力装置的分类和特性，为下一步M5的学习打下良好的概念基础。
要求	<ol style="list-style-type: none">1. 了解活塞式发动机的原理和工作特性。2. 了解燃气发动机的不同种类。3. 了解燃气发动机不同类别的不同特性。

课程安排:

序号	内容	课时	试题数量
1	活塞式发动机概述	2H	2
2	燃气涡轮发动机概述	2H	2
3			
4			
5			
6			

引言

动力装置是指为飞机飞行提供动力的**整个系统**，包括发动机、螺旋桨及其它附件，其核心是**发动机**



引言

辅助动力装置 (Auxiliary Power Unit , APU)

- 独立的小型**动力装置**
- 向飞机提供电力和压缩空气
- 减少对地面设备的依赖,增加直升机野外生存能力
- 飞机起飞时, 发动机功率便可全部用于地面加速和爬升
- 降落后, 使发动机提早关闭, 节省燃油, 降低机场噪声
- 爬升到一定高度后辅助动力装置**关闭**
- 可在**一定高度以下**的高空中启动, 为发动机重新启动提供动力




目 录

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

1.4.1 活塞式发动机概述

1.4.2 燃气涡轮发动机概述

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

1.4.1 活塞式发动机概述 (2H)

目
录

1

航空活塞式发动机的分类

2

四冲程活塞发动机基本工作原理

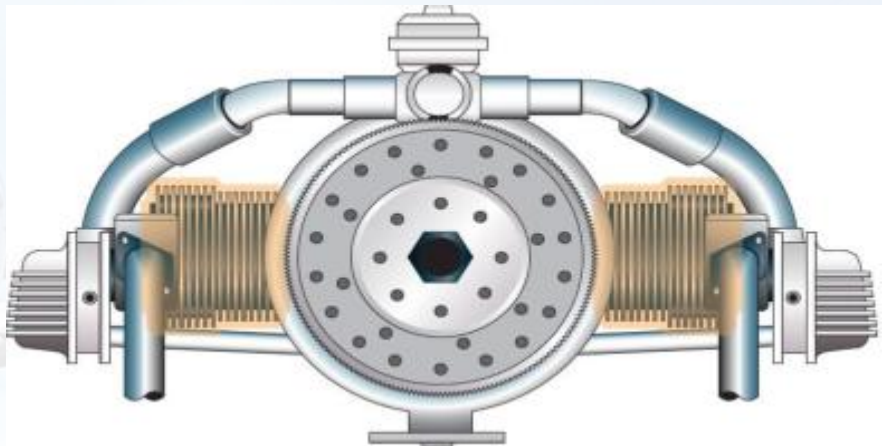
3

螺旋桨基本工作原理

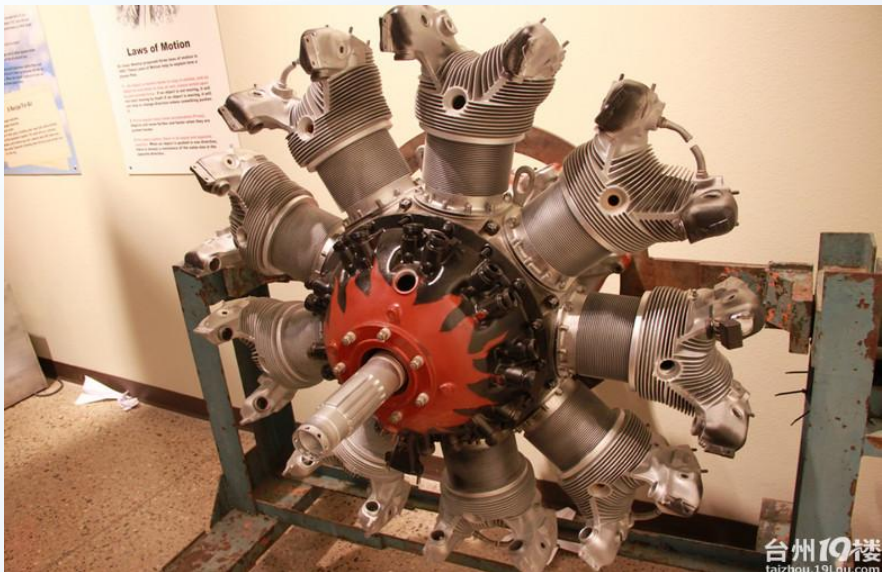
1.4.1 活塞式发动机概述

1、航空活塞式发动机的分类

分类方式	类型	
混气方式	汽化器式	直接喷射式
冷却方式	液冷式	气冷式
是否增压	吸气式	增压式
驱动方式	直接驱动	非直接驱动
气缸排列形式	星型	直列型
	单排星型	单排直列型
	双排星型	水平对置型
		H 型
		V 型



水平对置型



星型发动机

航空活塞式发动机多采用**星型气冷式**发动机

1.4.1 活塞式发动机概述

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

1) 基本构件

□ 基本构件是汽缸、活塞、曲轴和连杆

□ 活塞、连杆和曲轴这三个在运动中密切关联的机件，通常又合称为**曲拐机构**

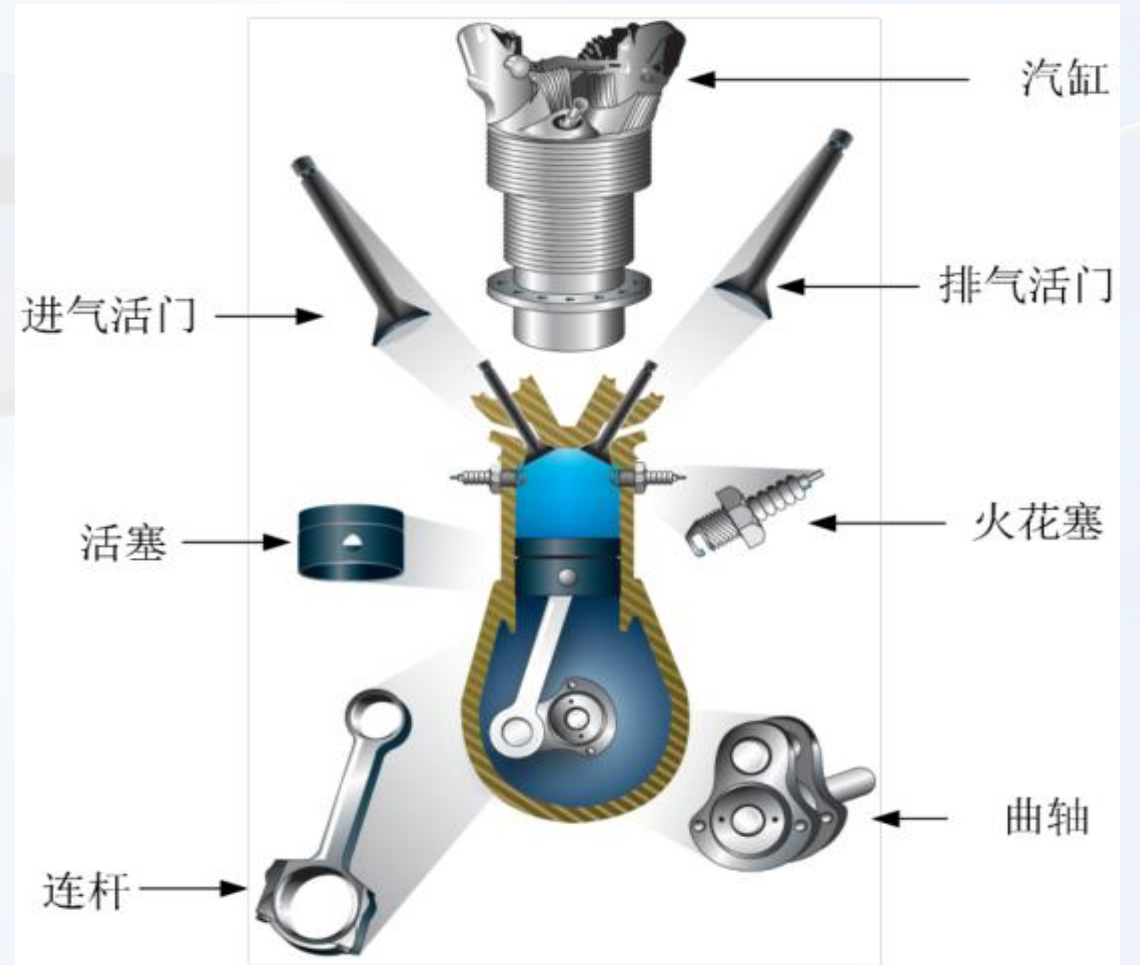


图 4-3 四冲程活塞式发动机基本构件

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

1) 基本构件



活塞

封严涨圈



汽缸



活塞

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

1) 基本构件

连杆的作用是将活塞与曲轴连起来，将活塞所承受的力传给曲轴

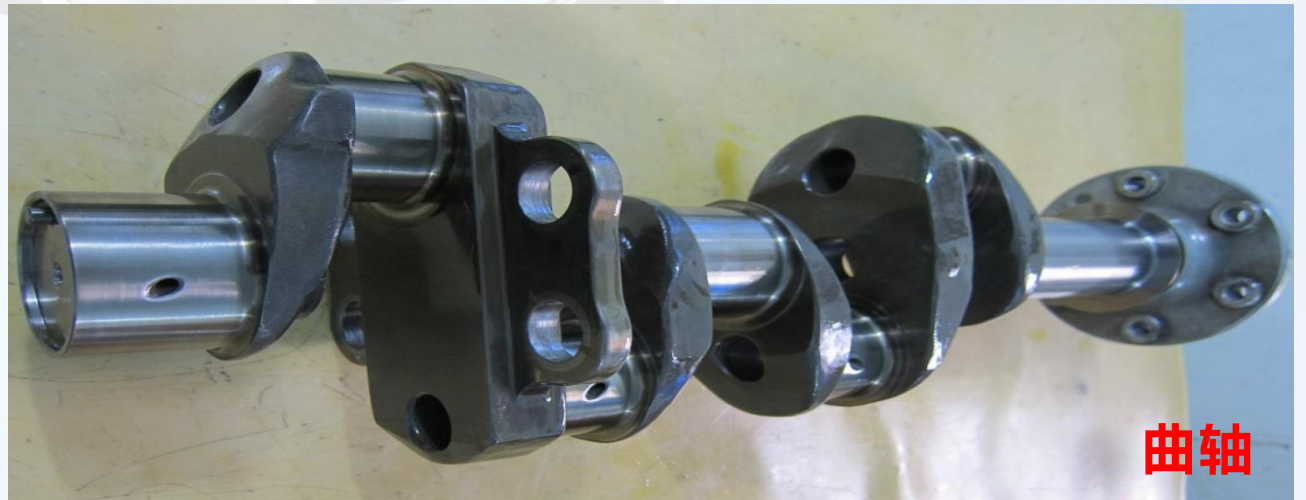


1.4.1 活塞式发动机概述

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

1) 基本构件

曲轴将活塞和连杆的往复运动变为
其旋转运动



曲轴

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

1) 基本构件

- 机匣是发动机的主要受力部分
- 它还是滑油存储器



机匣

1.4.1 活塞式发动机概述

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

2) 工作过程

- 基本工作原理
- 冲程(行程)
- 4个行程介绍

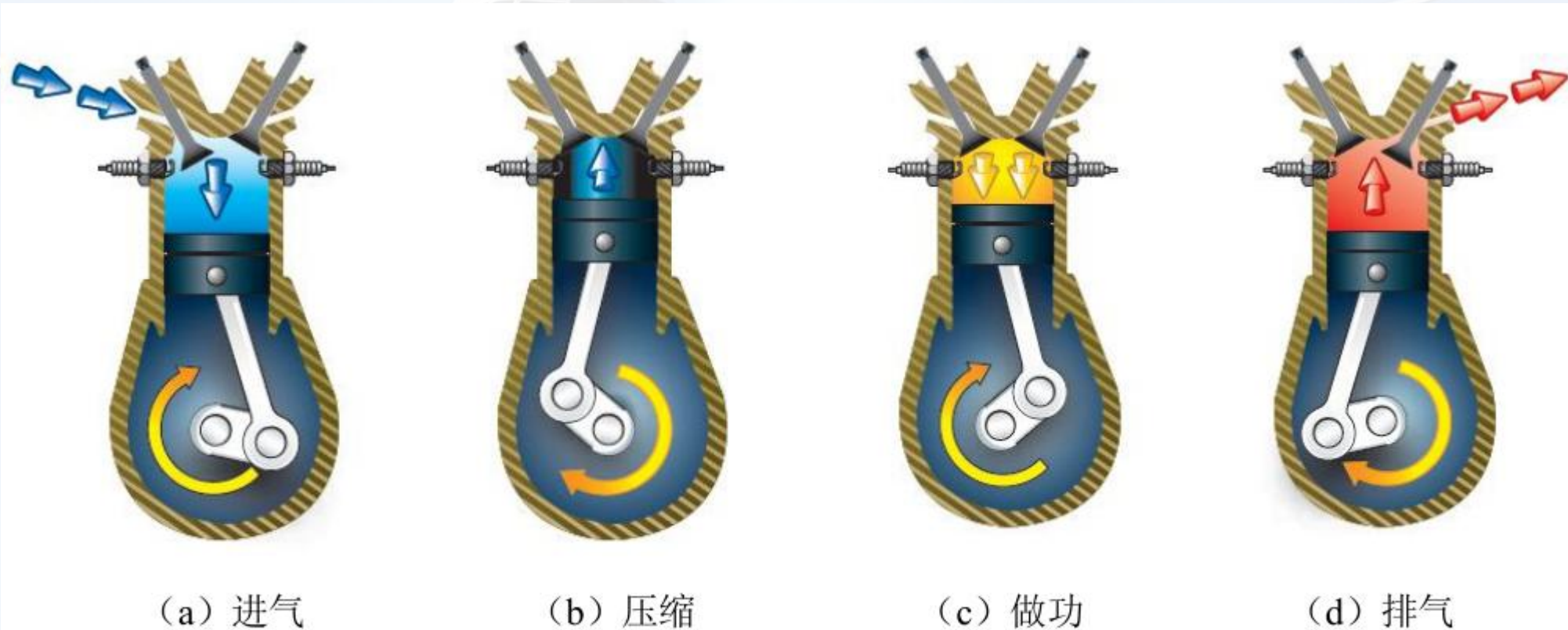
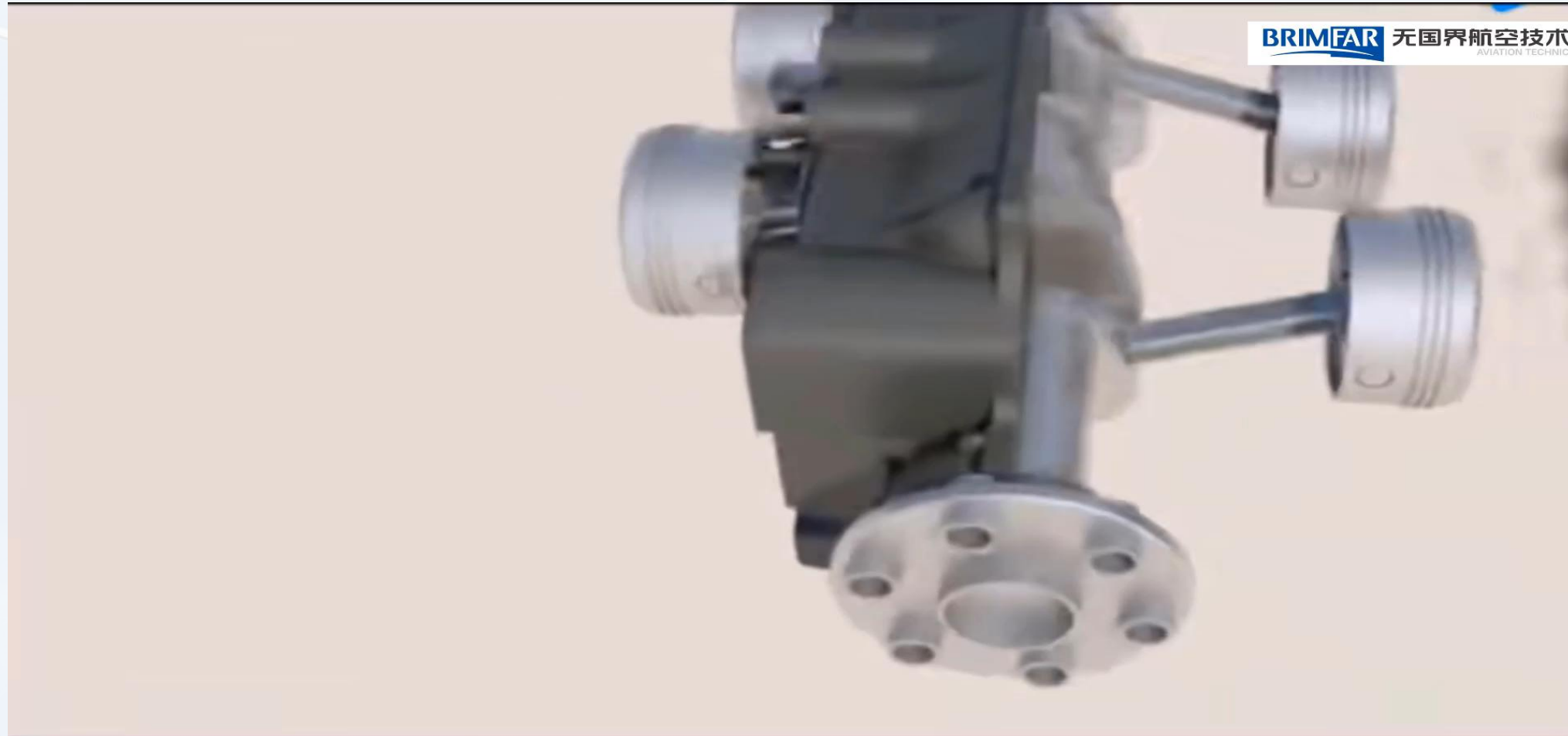


图 4-4 航空活塞发动机四冲程工作示意图

航空活塞发动机工作原理



1.4.1 活塞式发动机概述

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

2) 工作过程

□ 每一个循环：

- ✓ 活塞往复两次
- ✓ 进、排气门各开关一次
- ✓ 点火一次
- ✓ 气体膨胀做功一次
- ✓ 其中只有做功冲程获得机械功

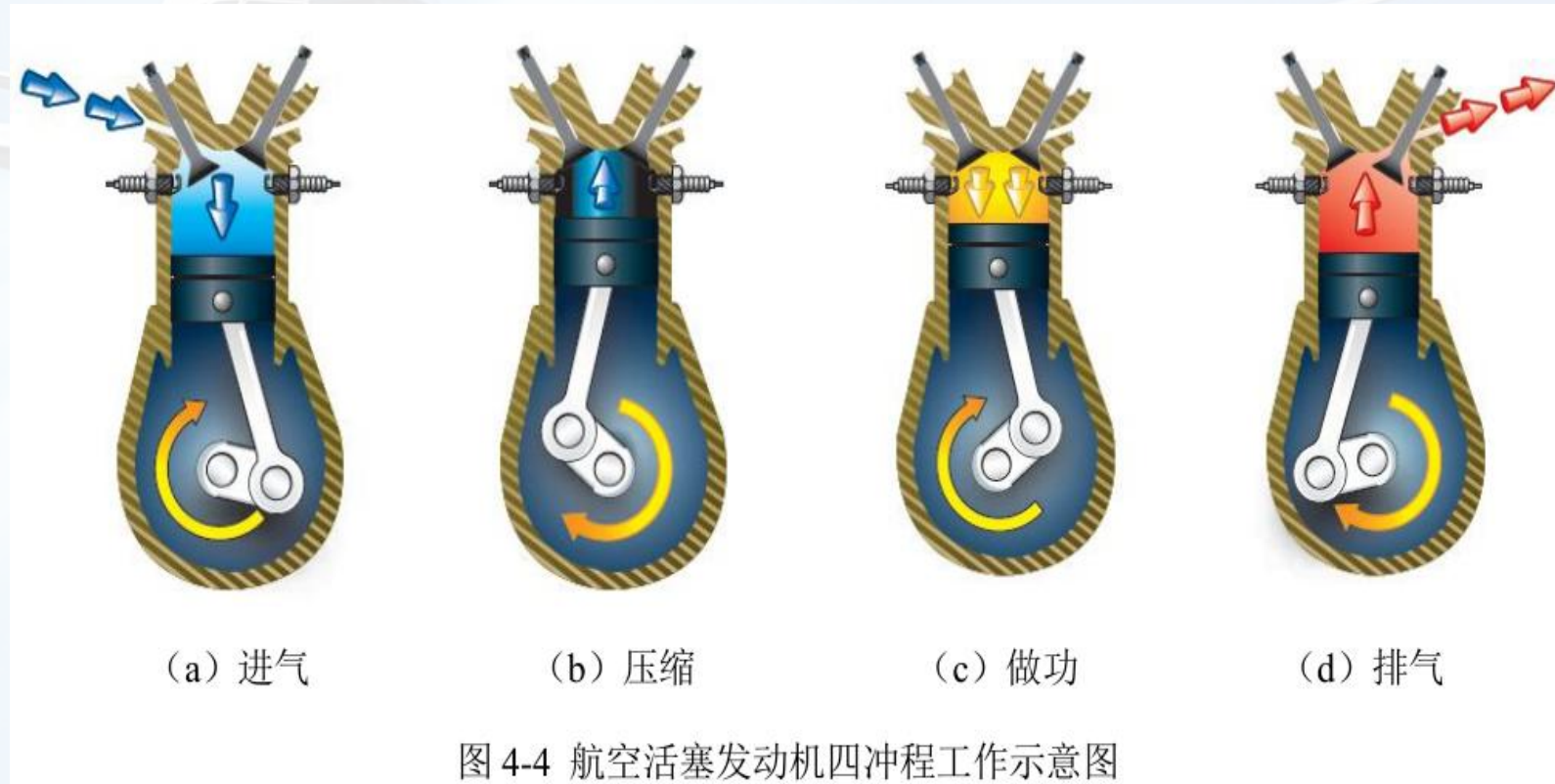


图 4-4 航空活塞发动机四冲程工作示意图

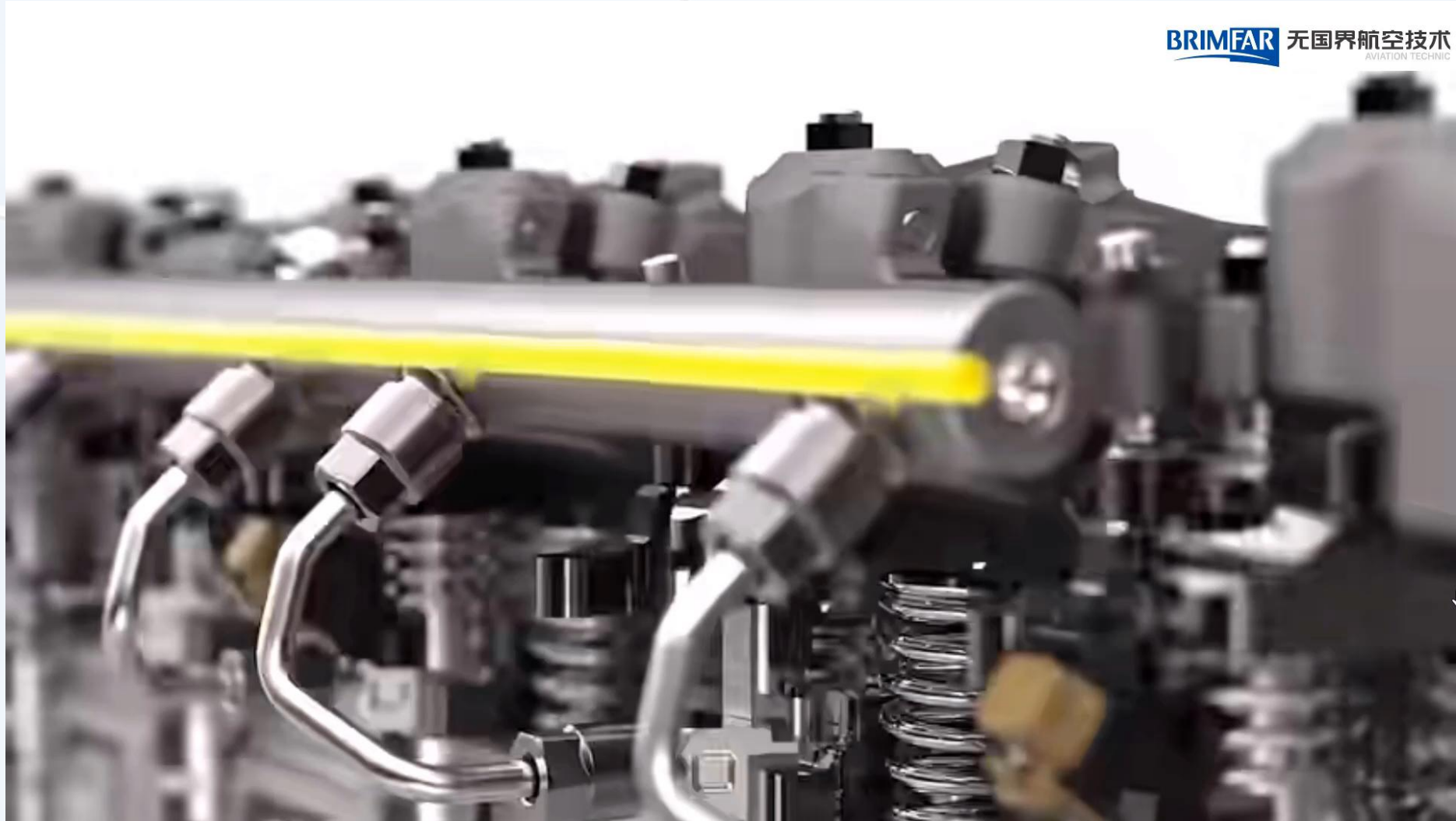
1.4.1 活塞式发动机概述

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

3) 多缸活塞式发动机的工作次序

- 单气缸**功率不足，振动大**
- 四行程发动机点火时刻在**压缩行程结束、膨胀行程开始时**
- 发动机是按**点火→膨胀→排气→进气→压缩**的顺序工作的
- 多缸发动机上各缸的点火次序(均匀错开)也就确定了整台发动机的工作次序
- 各缸工作均匀错开，可以保证活塞推动曲轴的力量比较均匀，发动机运转较为平稳

△型缸活塞发动机



1.4.1 活塞式发动机概述

直缸式活塞发动机



1.4.1 活塞式发动机概述

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

4) 活塞式发动机的附件系统

航空活塞式发动机一般都具有燃油、点火、润滑、冷却和起动等工作系统

(1) 燃油系统

- 连续地向发动机供给适量的、清洁无污染的燃油
- 将燃油很好地雾化和气化

1.4.1 活塞式发动机概述

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

4) 活塞式发动机的附件系统

(2) 点火系统

□ 使用航空汽油的活塞发动机：

✓ 还需要点火系统，在适当时刻产生能量足够的电火花，点燃汽缸内的混合气体

□ 使用航空煤油的活塞发动机：

✓ 其汽缸内混合气体的着火方式是**压燃式**，因此不需要点火系统

1.4.1 活塞式发动机概述

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

4) 活塞式发动机的附件系统

(3) 滑油系统

- **润滑**
- 带走磨损下来的金属碎屑(**清洁**)
- 将机件摩擦产生的热量带走(**散热**)
- 螺旋桨变距机构的**伺服介质**
- 滑油油膜还起到**防腐**作用

1.4.1 活塞式发动机概述

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

4) 活塞式发动机的附件系统

(4) 冷却系统

- 在发动机工作过程中，将汽缸的部分热量散发到大气环境中去，确保**汽缸头温度**正常

(5) 起动系统

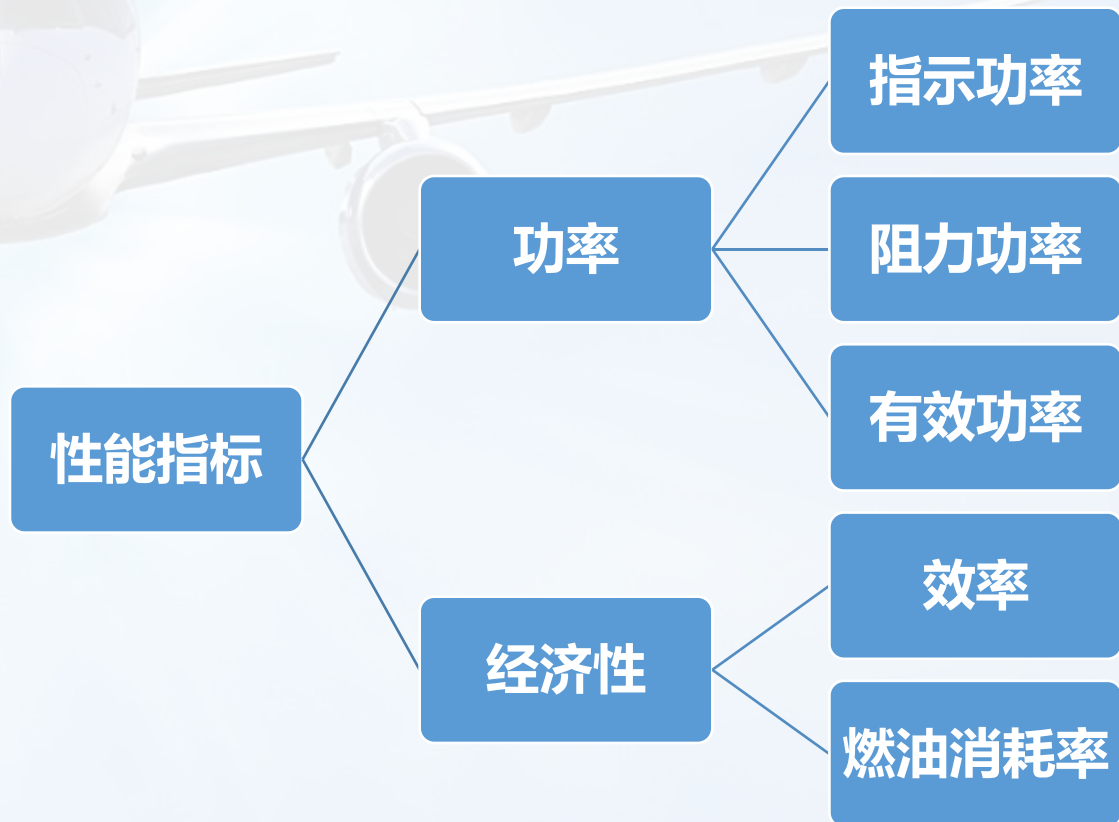
- 利用外部动力把曲轴转动起来，使发动机从静止状态转入正常的工作状态

1.4.1 活塞式发动机概述

2、四冲程活塞发动机的基本工作原理

5) 活塞式发动机的性能

- 指示功率：气体对活塞做功的功率
- 有效功率：曲轴实际输出的功率
- 燃油消耗率：发动机产生一马力有效功率，在一小时内所消耗的燃油量



1.4.1 活塞式发动机概述

小结:

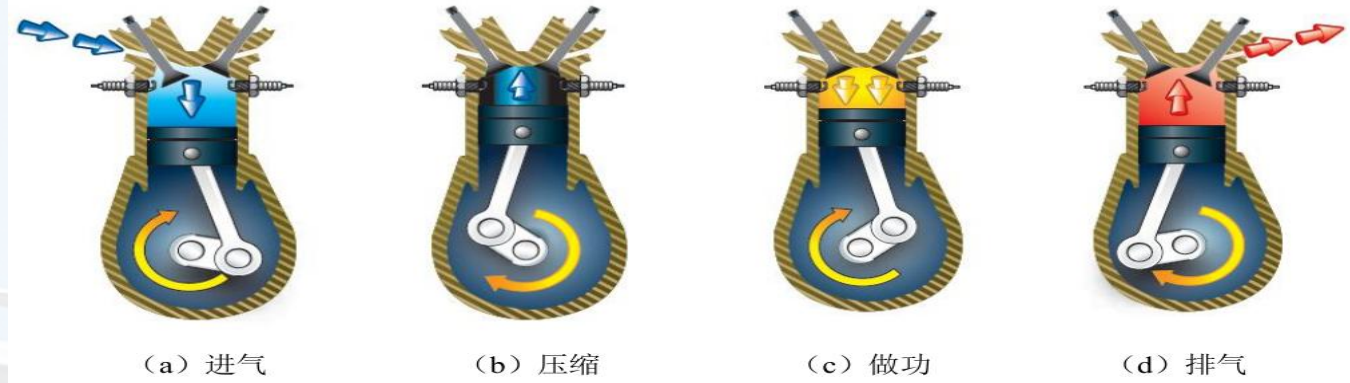



图 4-4 航空活塞发动机四冲程工作示意图

	进气门	排气门	活塞	曲轴转动	点火	做功/消耗功
进气行程	打开	关闭	向下运动	半圈		消耗功
压缩行程	关闭	关闭	向上运动	半圈	√	消耗功
做功行程	关闭	关闭	向下运动	半圈		做功
排气行程	关闭	打开	向上运动	半圈		消耗功

A faint, light-colored illustration of a twin-engine aircraft in flight, viewed from a front-quarter perspective, serving as a background for the text.

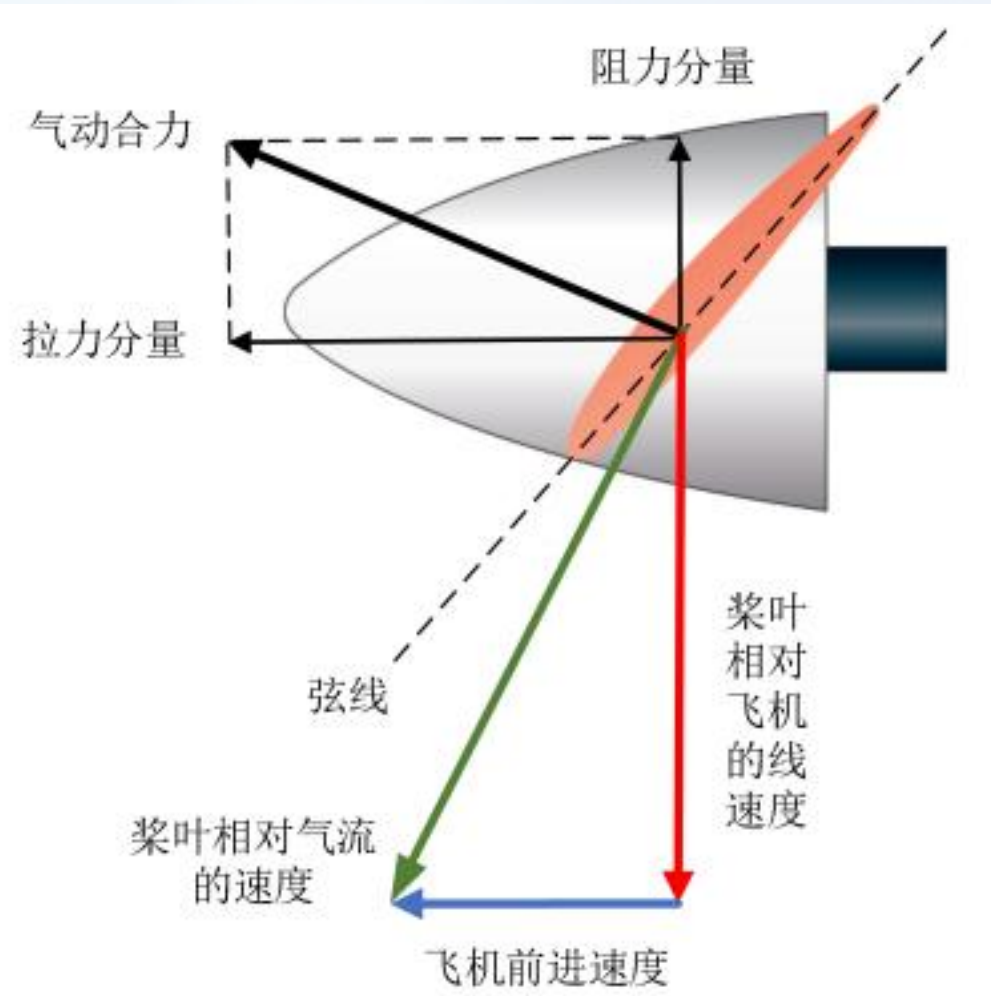
活塞式发动机单独不能驱动飞机，它必须驱动螺旋桨才能使飞机运动，因而活塞发动机和**螺旋桨**一起才构成了飞机的推进系统

1.4.1 活塞式发动机概述

3、螺旋桨基本工作原理

1) 螺旋桨拉力的产生

- 每一个截面都相当于机翼的一个翼型
- 类似于飞机机翼产生升力的原理
- 气动拉力、叶型拉力和旋转阻力
- 气动合力轴线分量就是拉力
- 螺旋桨的拉力的大小取决于桨叶迎角、螺旋桨转速和翼型的形状

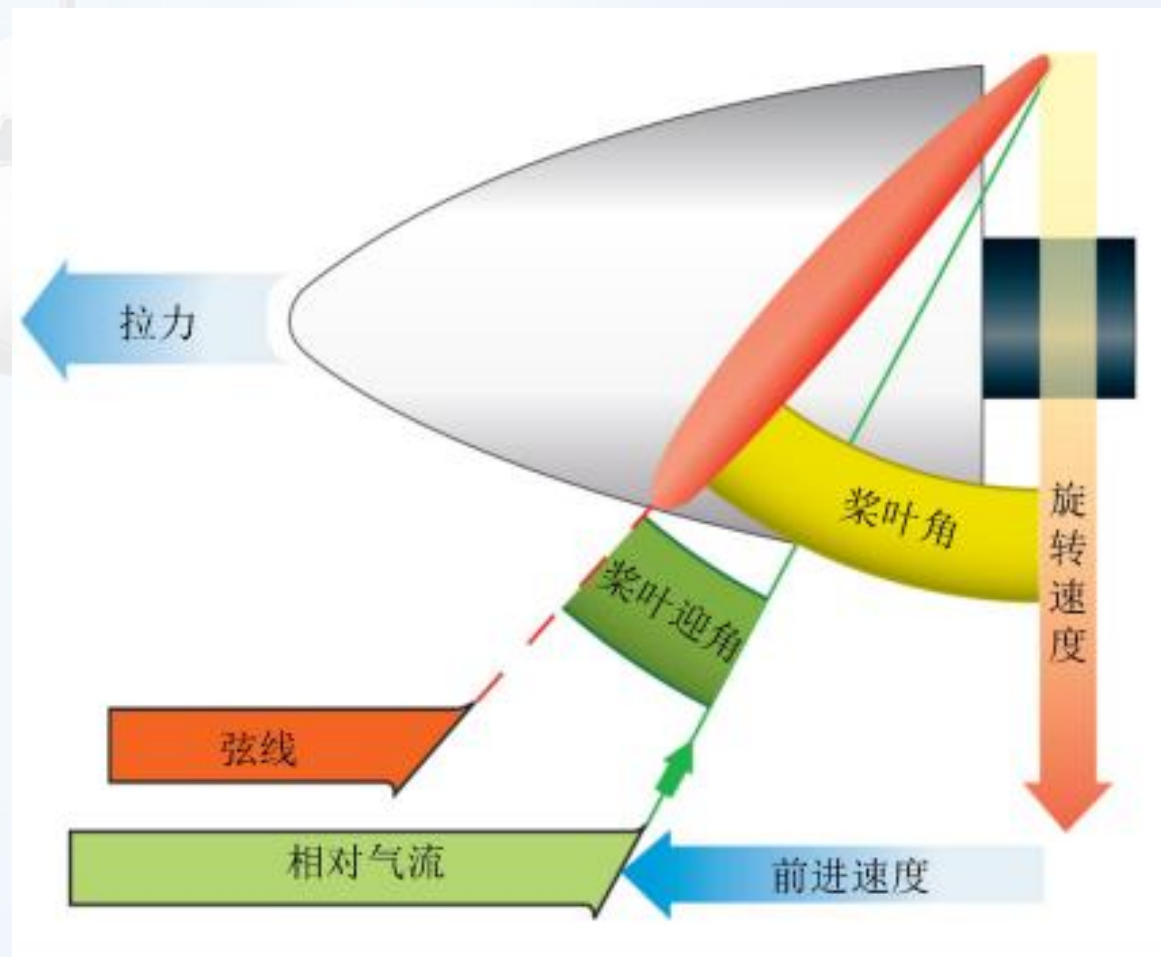


1.4.1 活塞式发动机概述

3、螺旋桨基本工作原理

2) 桨叶迎角和桨叶角

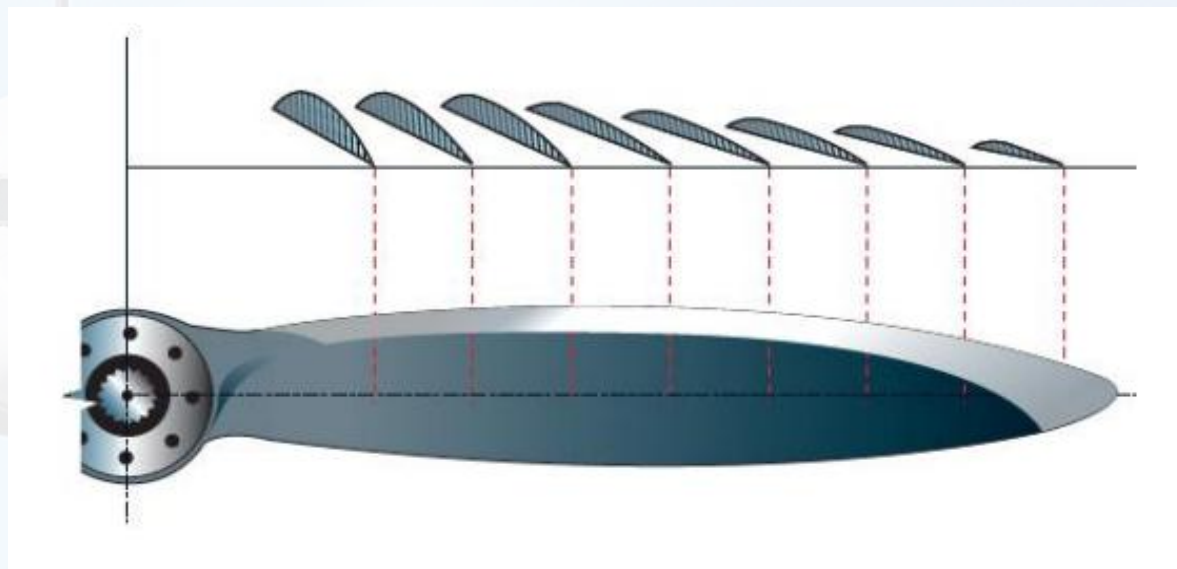
- 桨叶角、桨叶迎角的概念
- 桨叶角、桨叶迎角的关系
- 桨叶迎角随螺旋桨转速及飞行速度的变化规律



3、螺旋桨基本工作原理

3) 螺旋桨扭曲的原因

- 线速度从根部到尖部逐渐增加
- 桨叶的迎角从根部到尖部逐渐减小
- 保证叶尖不受过大的力
- 接近桨毂用较厚的低速翼型
- 接近翼尖用较薄的高速翼型
- 沿着桨叶整个长度产生相对不变的拉力



1.4.1 活塞式发动机概述

3、螺旋桨基本工作原理

4) 桨叶角和桨距

- 螺旋桨的桨距的概念
- 桨距和桨叶角描述的是两个不同的概念
- 但桨距和桨叶角的大小密切相关
- 一般而言，桨叶角增大，则桨距增大

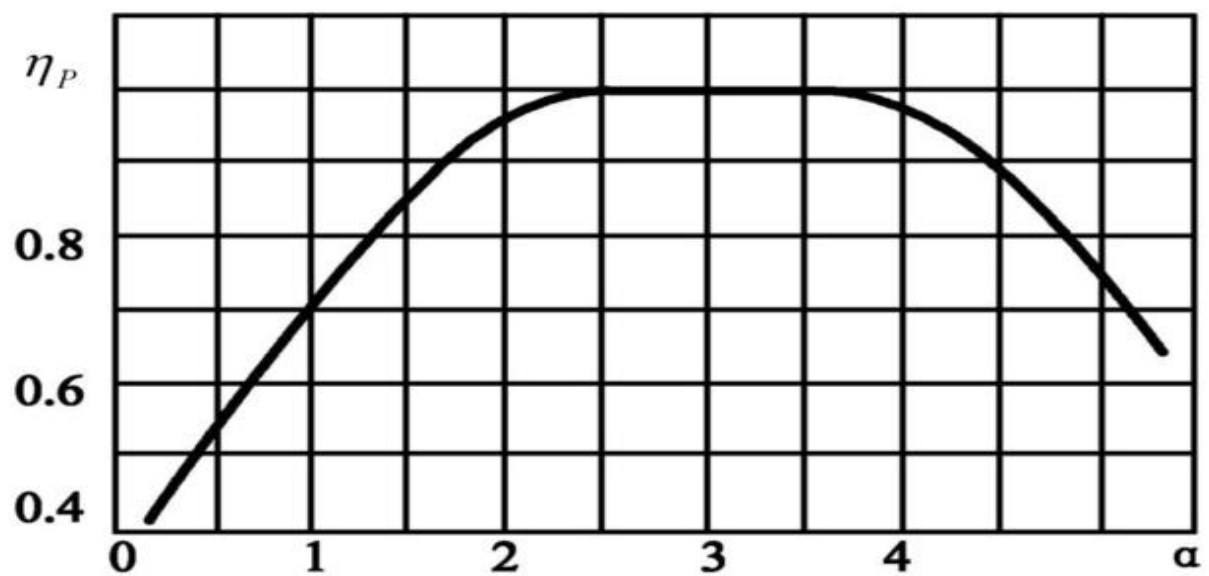
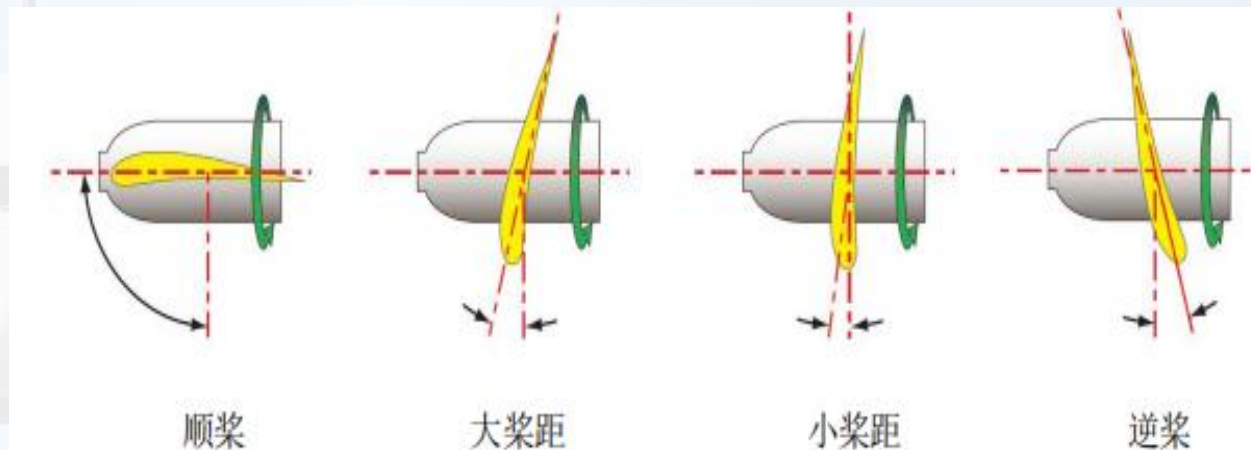


1.4.1 活塞式发动机概述

3、螺旋桨基本工作原理

5) 螺旋桨的变距

- 变距螺旋桨：桨叶角可改变的螺旋桨
- 桨叶迎角随螺旋桨转速及飞行速度而变化
- 桨叶迎角影响螺旋桨的拉力的大小
- 螺旋桨效率最佳的攻角是在 $2 \sim 4^\circ$ 之间
- 变距螺旋桨的目的就是要保持螺旋桨效率最佳的攻角(一般取 4°)



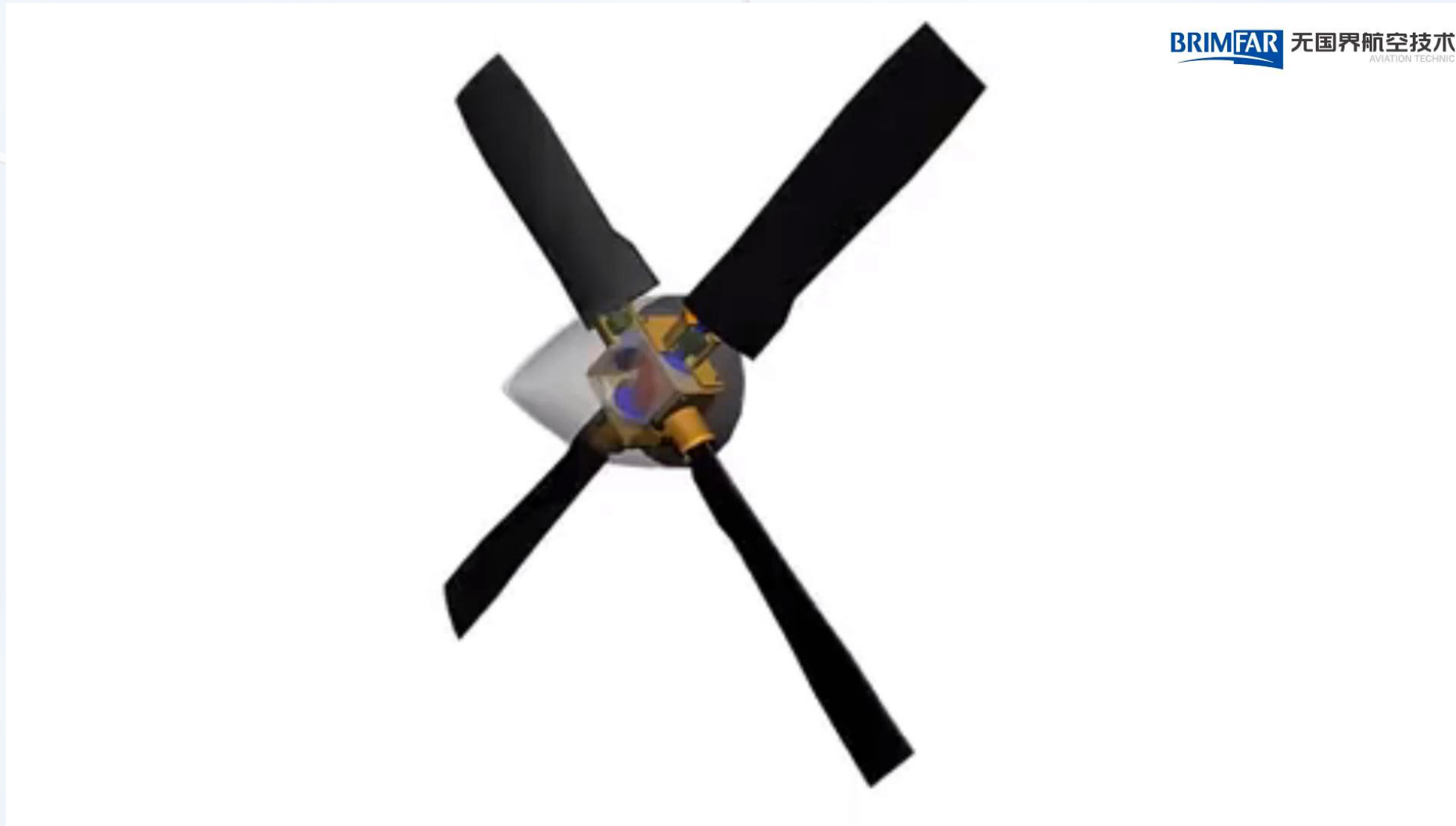
1.4.1 活塞式发动机概述

3、螺旋桨基本工作原理

5) 螺旋桨的变距

- 飞行速度较低的小型飞机一般采用定距螺旋桨
- 速度较高的大中型螺旋桨飞机，采用变距螺旋桨能够使飞机的效率大为提高
- 变距螺旋桨要加装一套变距机构

螺旋桨变距



1.4.1 活塞式发动机概述

3、螺旋桨基本工作原理

5) 螺旋桨的变距

□ 顺桨

- ✓ 使桨叶角调到90度附近，桨叶将顺着气流旋转
- ✓ 飞行阻力最小，确保飞机的操纵性及飞行安全

□ 逆桨(反桨)

- ✓ 使桨叶角变为负值，使螺旋桨产生反方向的拉力
- ✓ 减短着陆滑跑距离和改善地面机动能力



(a) 完全顺桨状态



(b) 正常运动状态和顺桨状态的对比

1.4.1 活塞式发动机概述

3、螺旋桨基本工作原理

6) 螺旋桨的使用

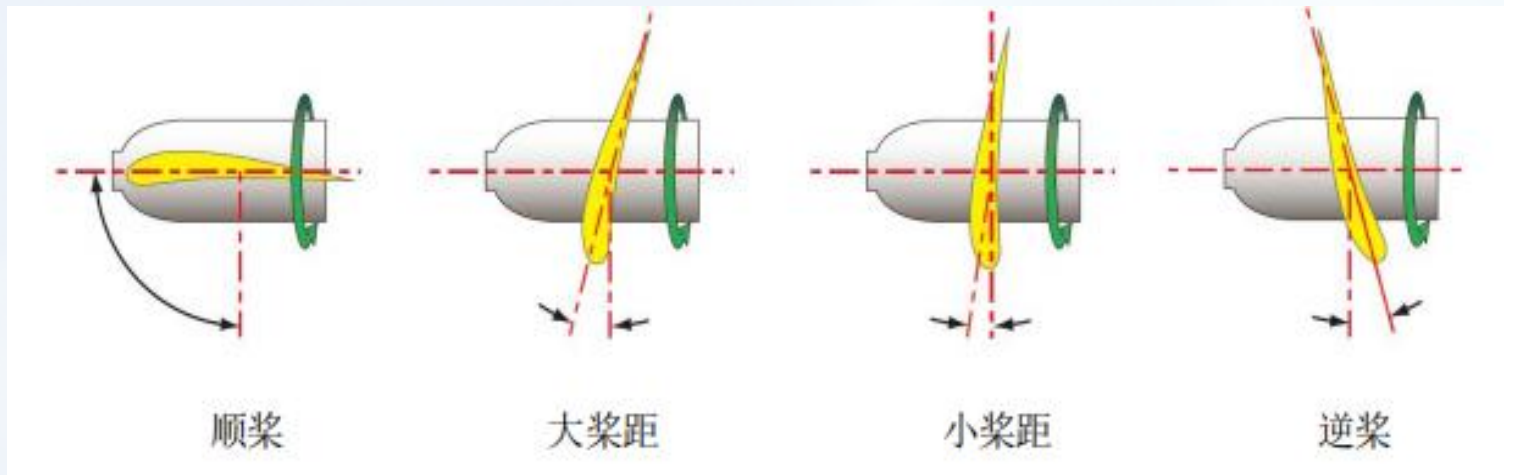
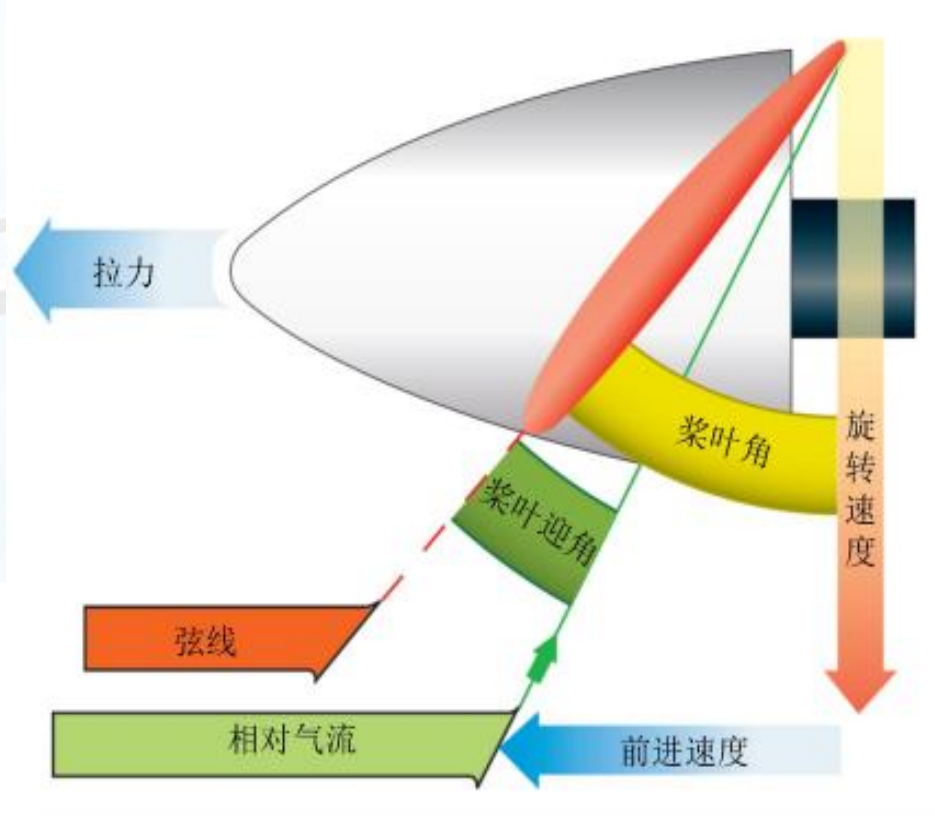
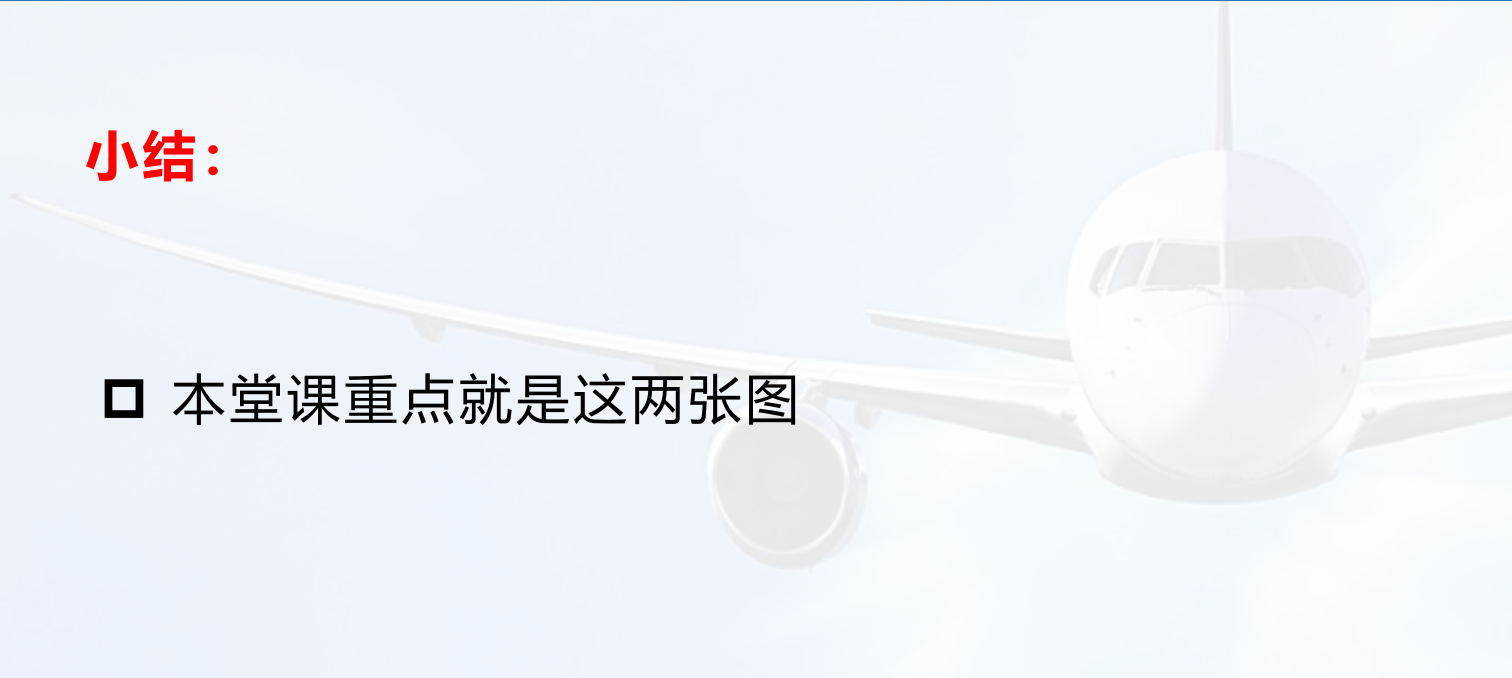
- 可以和活塞式发动机配合使用，也可以和输出轴功率的喷气发动机配合使用
- 低速时推进的效率很高，产生的推力也较喷气推进的飞机大
- 高速时，叶尖上产生激波，使阻力大增，效率急剧下降
- 最高速度都在每小时 800 千米之下
- 在支线运输飞机上，涡轮螺旋桨飞机得到了广泛应用



1.4.1 活塞式发动机概述

小结:

□ 本堂课重点就是这两张图



A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background of the slide.

1.4.2 燃气涡轮发动机概述 (2H)

目
录

1

航空燃气涡轮发动机的分类

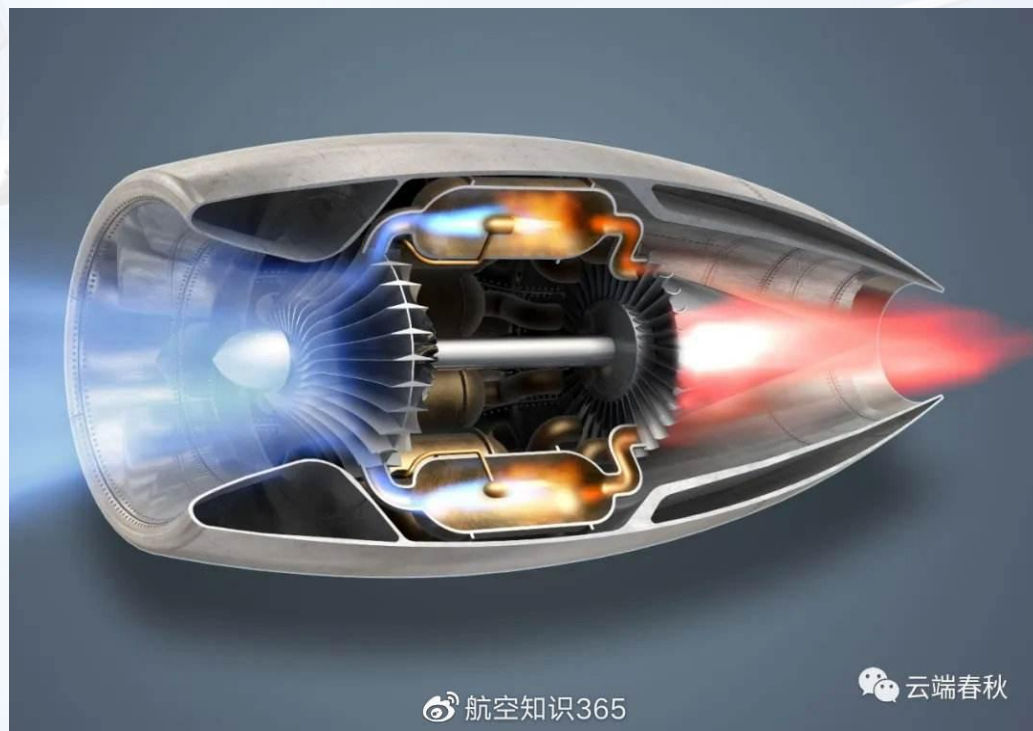
2

发动机的基本组成和工作原理

3

发动机安装布局 and 主要附件系统

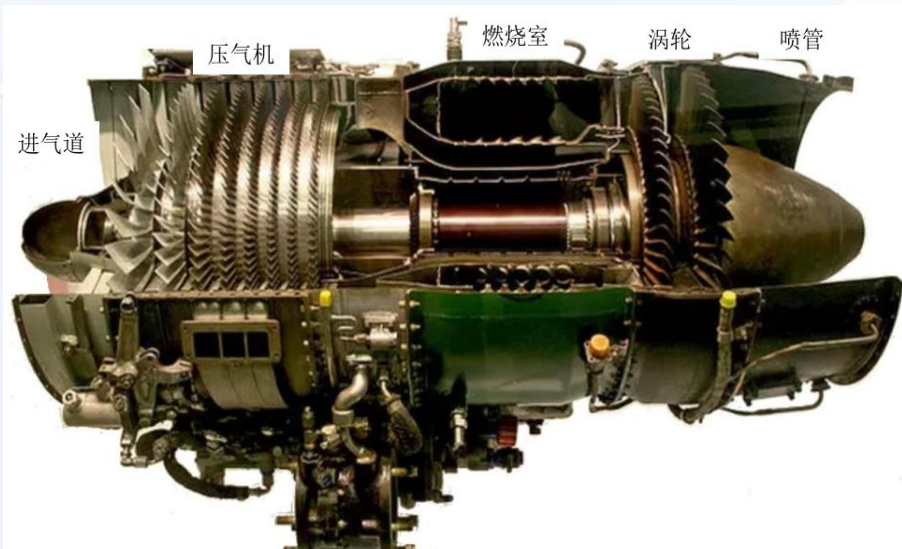
- 由于螺旋桨在高速飞行时的缺点及活塞发动机在降低推重比上已接近了极限
- 为提高飞机飞行速度在动力装置上需要来一次革新才能继续前进
- 随着喷气式发动机的出现，飞机的动力装置进入了一个新纪元



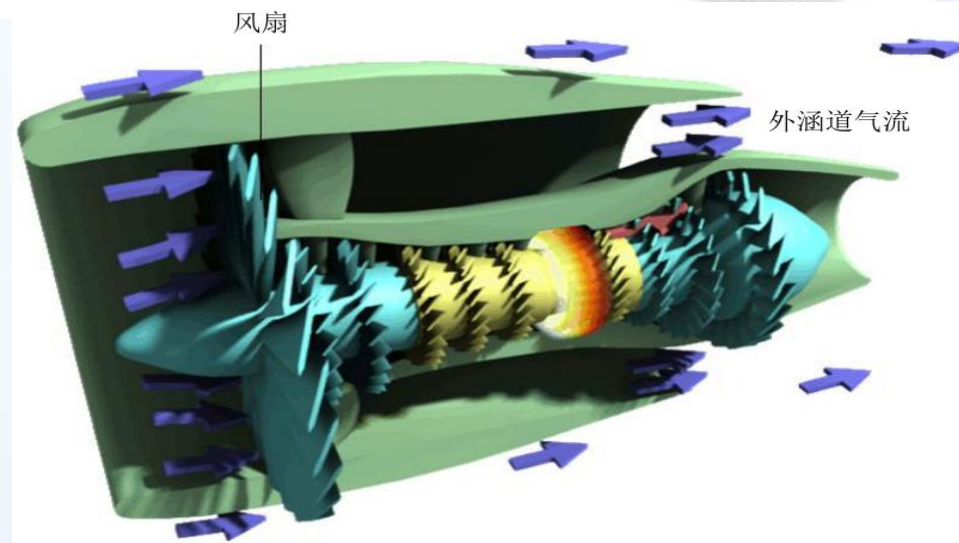
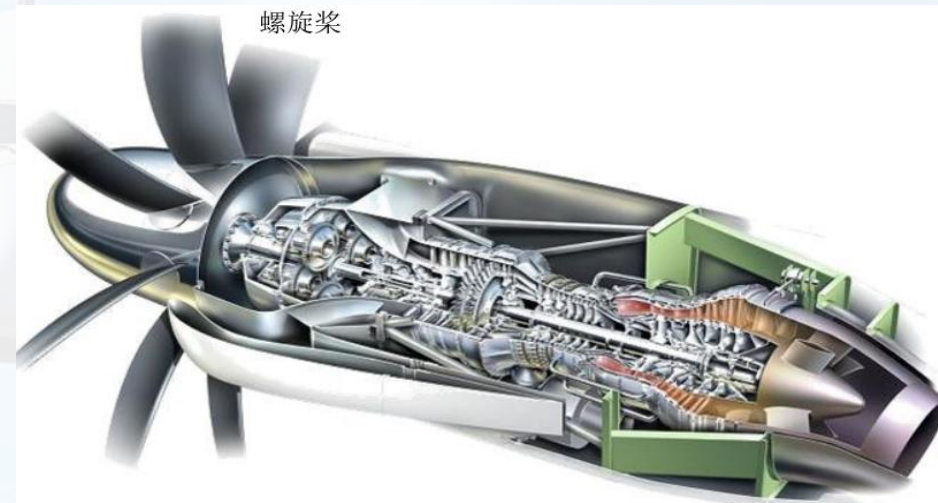
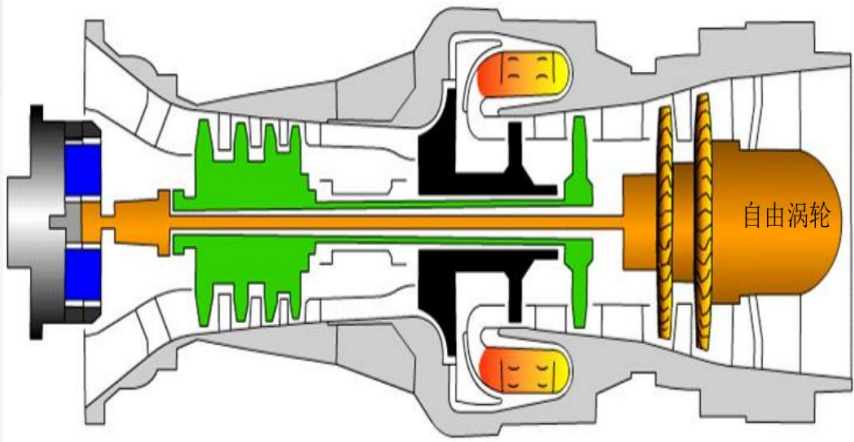
1.4.2 燃气涡轮发动机概述

1、航空燃气涡轮发动机的分类

涡轮喷气发动机



涡轮轴发动机



涡轮螺旋桨发动机

涡轮风扇发动机

1.4.2 燃气涡轮发动机概述

2、发动机的基本组成和工作原理

1) 燃气涡轮发动机与活塞式发动机的比较

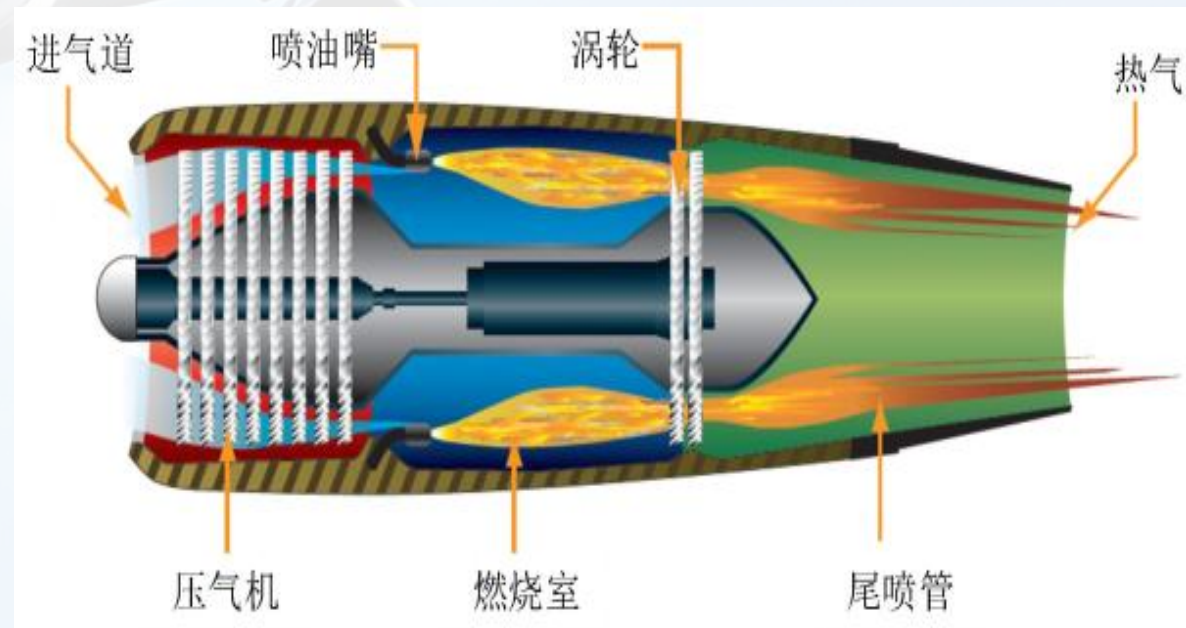
	类似				不同						
活塞式发动机	进气冲程	压气冲程	做功冲程	排气冲程	在一个空间完成	做功是周期性的	功率输出靠曲轴	振动大	坚固器壁的汽缸	需要运动转化机构	推重比小
燃气涡轮发动机	气体从进气道进入	气体被压气机压缩	点燃, 涡轮输出功	燃气从尾喷管排出	不同的空间完成	做功是连续的	做功分为两个部分	振动小	开敞的燃烧室	无需运动转化机构	推重比大

1.4.2 燃气涡轮发动机概述

2、发动机的基本组成和工作原理

2) 涡轮喷气发动机（简称涡喷）

- 是燃气涡轮发动机最基本的形式
- 由进气道、压气机、燃烧室、涡轮和喷管组成
- 工作过程简介
- **特点**：涡轮只带动压气机压缩空气，发动机的全部推力来自喷出的燃气流所产生的反作用力
- 迎风面积小，具有较好的速度性能
- 但亚音速经济性差，适宜作超音速战斗机的动力装置

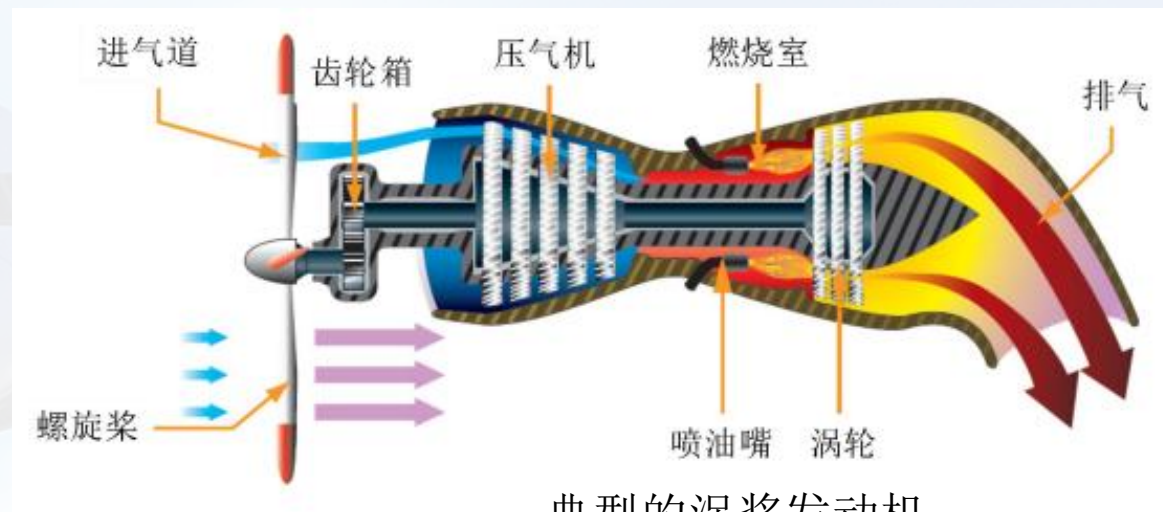


1.4.2 燃气涡轮发动机概述

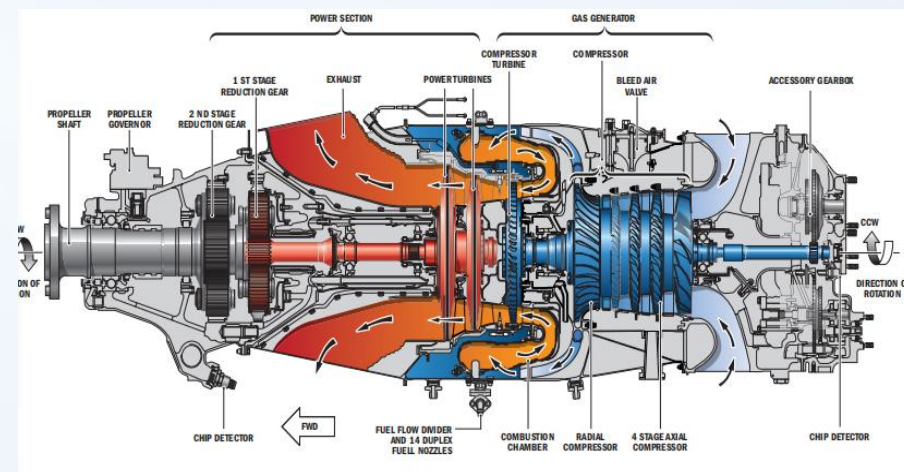
2、发动机的基本组成和工作原理

3) 涡轮螺旋桨发动机（简称涡桨）

- 基本构造与涡喷发动机相同
- 涡轮带动压气机和（经**减速器**）螺旋桨
- 本质上是螺旋桨推进(约占全部动力的 90%)
- 起飞推进力大
- 可产生较大负拉力
- 中、低速经济性好
- 最适宜做中、低速支线民航机、运输机和轰炸机的动力装置



典型的涡桨发动机



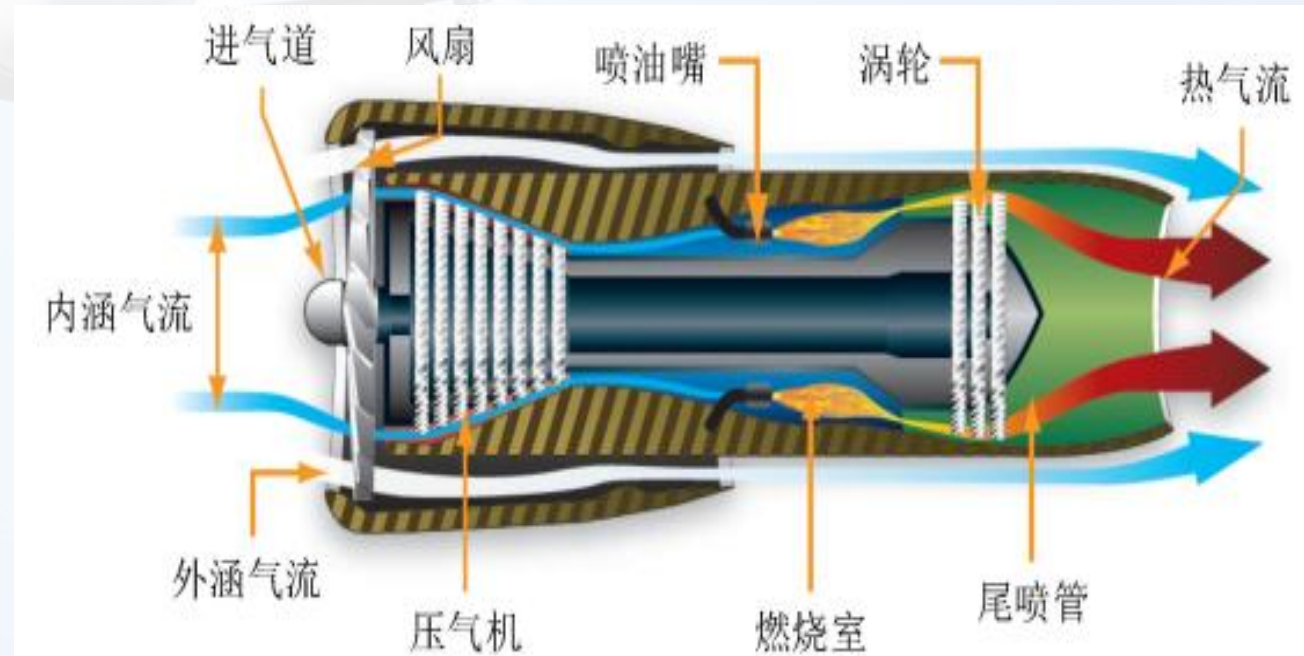
倒置的螺旋桨发动机

1.4.2 燃气涡轮发动机概述

2、发动机的基本组成和工作原理

4) 涡轮风扇发动机（简称涡扇）

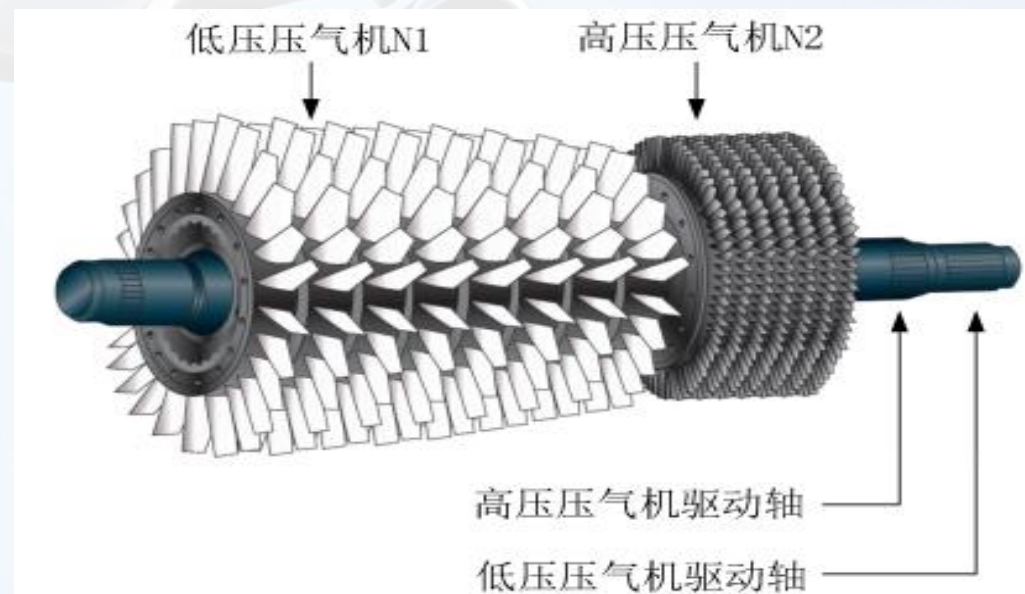
- 在涡喷发动机的前面增加了风扇
- 外涵道、内涵道、涵道比(B)的概念
- 涡扇的性能随涵道比(B)的不同差异很大
- 参与产生推力的空气流量大
- 效率高，经济性好
- 起飞、复飞推力大
- 噪音低
- 无论在民航机还是在军用机上都得到广泛应用



2、发动机的基本组成和工作原理

5) 涡扇发动机主要技术参数

- 涵道比(B)
- 涡轮前温度
- 涡轮排气温度 (EGT)
- 增压比 (EPR)
- 风扇转速 (N1)
- 高压转子转速 (N2)

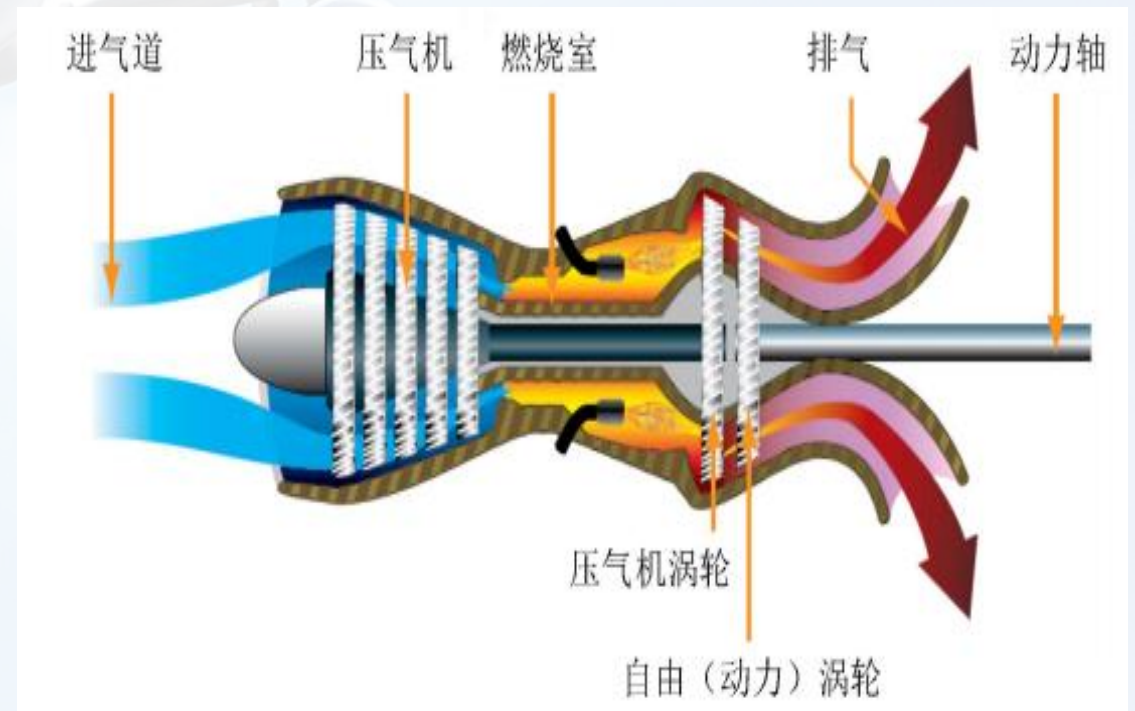


1.4.2 燃气涡轮发动机概述

2、发动机的基本组成和工作原理

6) 涡轮轴发动机（简称涡轴）

- 与涡桨发动机几乎没有多大区别
- 只输出轴功率而无喷气动力，已演变成热机
- 自由涡轮通过**减速器**带动外界负载
- 自由涡轮和燃气发生器**只有气动联系**
- 自由涡轮**恒转速控制**
- 低速范围($Ma < 0.3$)，经济性好
- 工作环境较为恶劣
- 应用广泛



小结:

	主要特点	适用速度范围	应用领域
涡喷发动机	全部推力来自喷出的燃气流所产生的反作用力	高速 / 超音速	超音速战斗机
涡扇发动机	由内外涵道组成	中高速/亚音速	大型民航运输飞机主要的动力装置
涡桨发动机	本质上是螺旋桨推进	中低速	支线民航机、运输机和轰炸机
涡轴发动机	只输出轴功率而无喷气动力，已演变成热机	低速	应用广泛 直升机主要动力
活塞发动机	主要过程在气缸中完成需螺旋桨配合	低速	小型飞机上

1.4.2 燃气涡轮发动机概述

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

1) 发动机安装布局

(1) 螺旋桨飞机发动机安装布局

- 一般装在机身前段和机翼上的发动短舱之内
- 单发活塞式/涡桨式飞机的发动机都装在机头部分
- 多发螺旋桨飞机的发动机都对称地装在两翼上
- 既改善了驾驶舱的视野
- 又使两边螺旋桨产生的反作用扭矩平衡



单发螺旋桨



双发螺旋桨

1.4.2 燃气涡轮发动机概述

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

1) 发动机安装布局

(2) 喷气式发动机的安装布局

□ 翼吊布局

发动机吊舱在机翼下

□ 尾吊布局

发动机吊舱在机身尾部外侧

□ 混合布局

飞机尾部一台发动机，翼下两台



(a) 翼吊布局



(b) 尾吊双发布局



(c) 混合布局



(d) 尾吊三发布局

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

1) 发动机安装布局

(2) 喷气式发动机的安装布局

□ 翼吊布局

✓ 是目前最通行的布置方式

✓ 优点

✓ 缺点



3、发动机安装布局 and 主要附件系统

1) 发动机安装布局

(2) 喷气式发动机的安装布局

□ 尾吊布局

✓ 优点

✓ 缺点



3、发动机安装布局 and 主要附件系统

1) 发动机安装布局

(2) 喷气式发动机的安装布局

□ 混合布局

从趋势上看，**翼吊布局优越性较大**



1.4.2 燃气涡轮发动机概述

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

2) 发动机主要附件系统

□ 和发动机配套的其它系统有：

✓ 附件传动系统

✓ 燃油系统

✓ 润滑系统

✓ 点火系统

✓ 控制仪表系统

✓ 起动系统

✓ 冷却系统

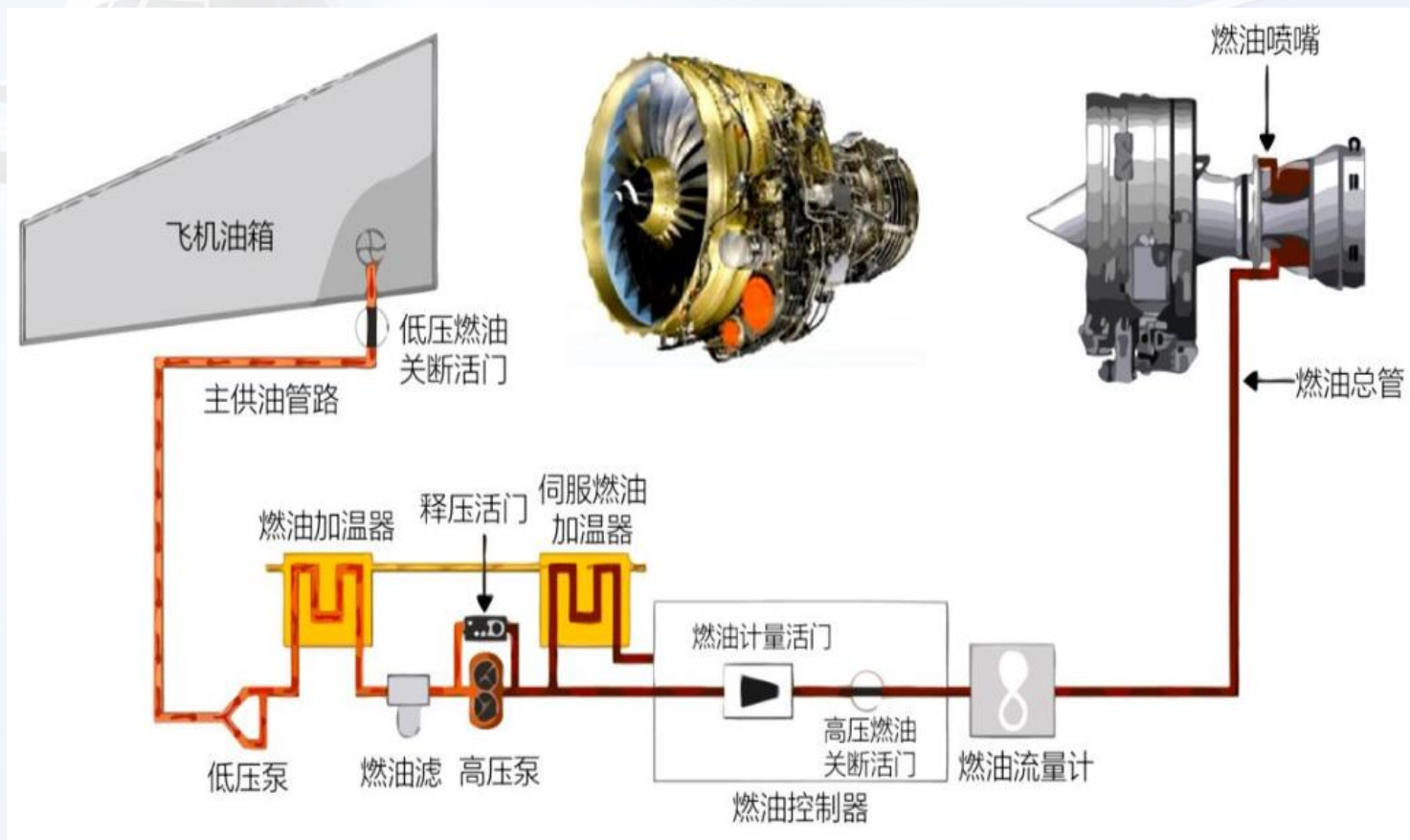
1.4.2 燃气涡轮发动机概述

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

2) 发动机主要附件系统

(1) 燃油系统

- 给发动机提供适量的清洁燃油
- 雾化燃油，便于与空气混合
- 只手动控制油门杆来控制发动机的开、停和功率选择
- 其它控制都是自动的

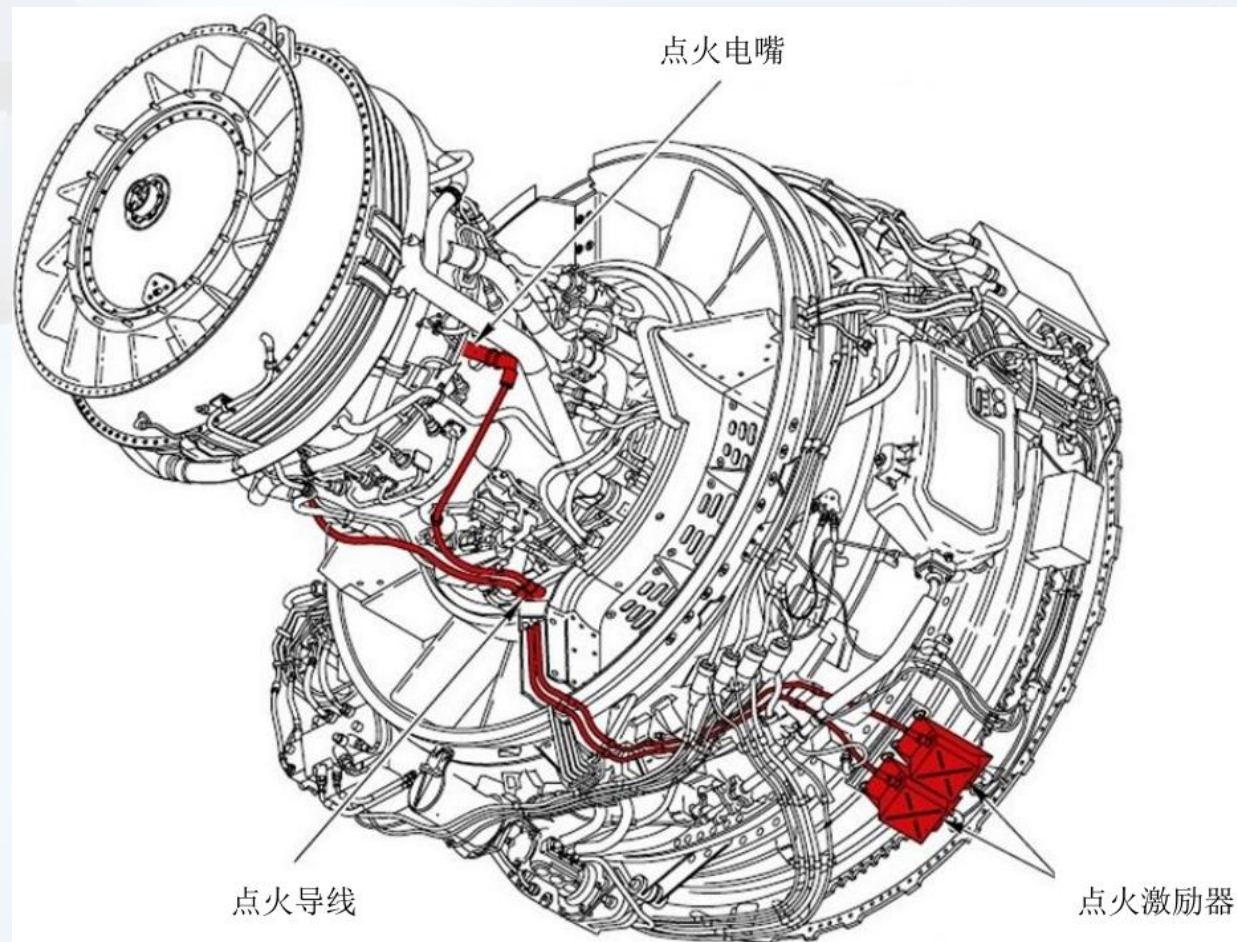


3、发动机安装布局 and 主要附件系统

2) 发动机主要附件系统

(2) 点火系统

- 在发动机启动和正常工作时，使电嘴适时地产生电火花，可靠地点燃混合气
- 点火系统是双套的，由电源、点火激励器、高能导线、点火电嘴以及相应的冷却系统组成



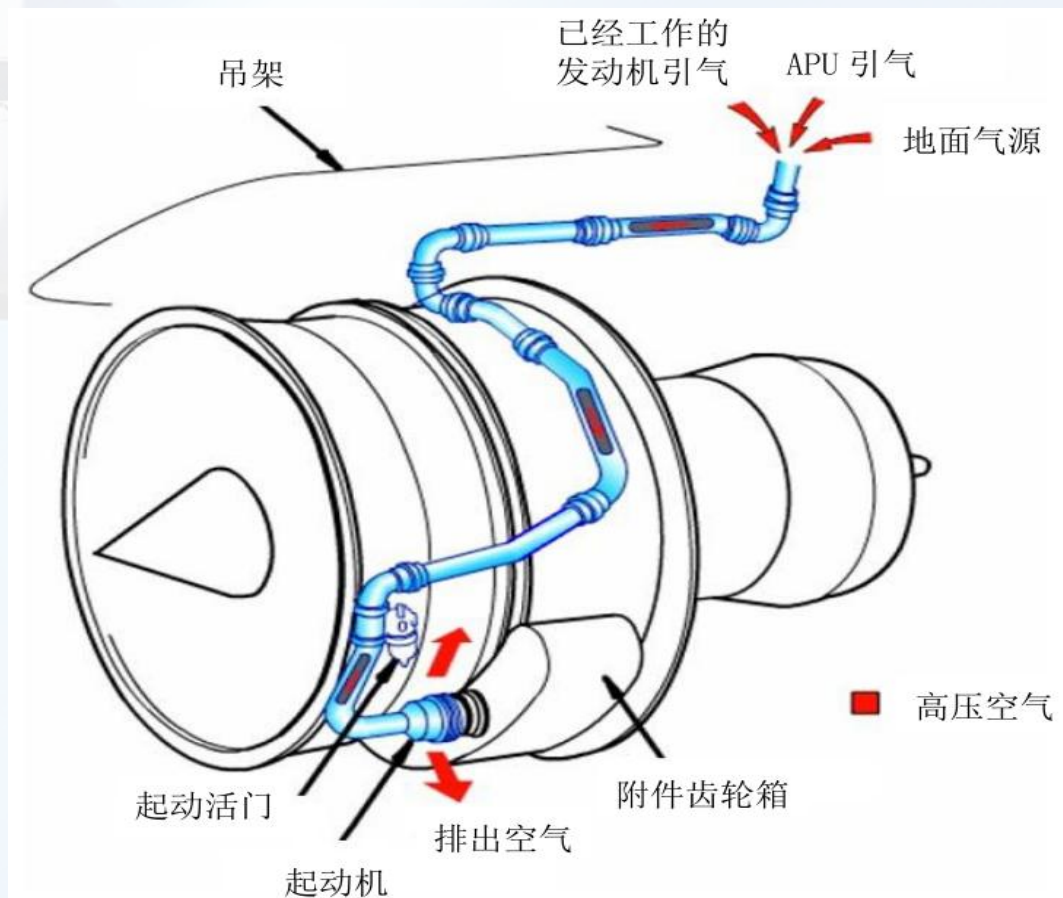
1.4.2 燃气涡轮发动机概述

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

2) 发动机主要附件系统

(3) 起动系统

- 利用外部动力，使发动机由静止状态进入慢车工作状态
- 主要使用电起动和空气起动



空气起动

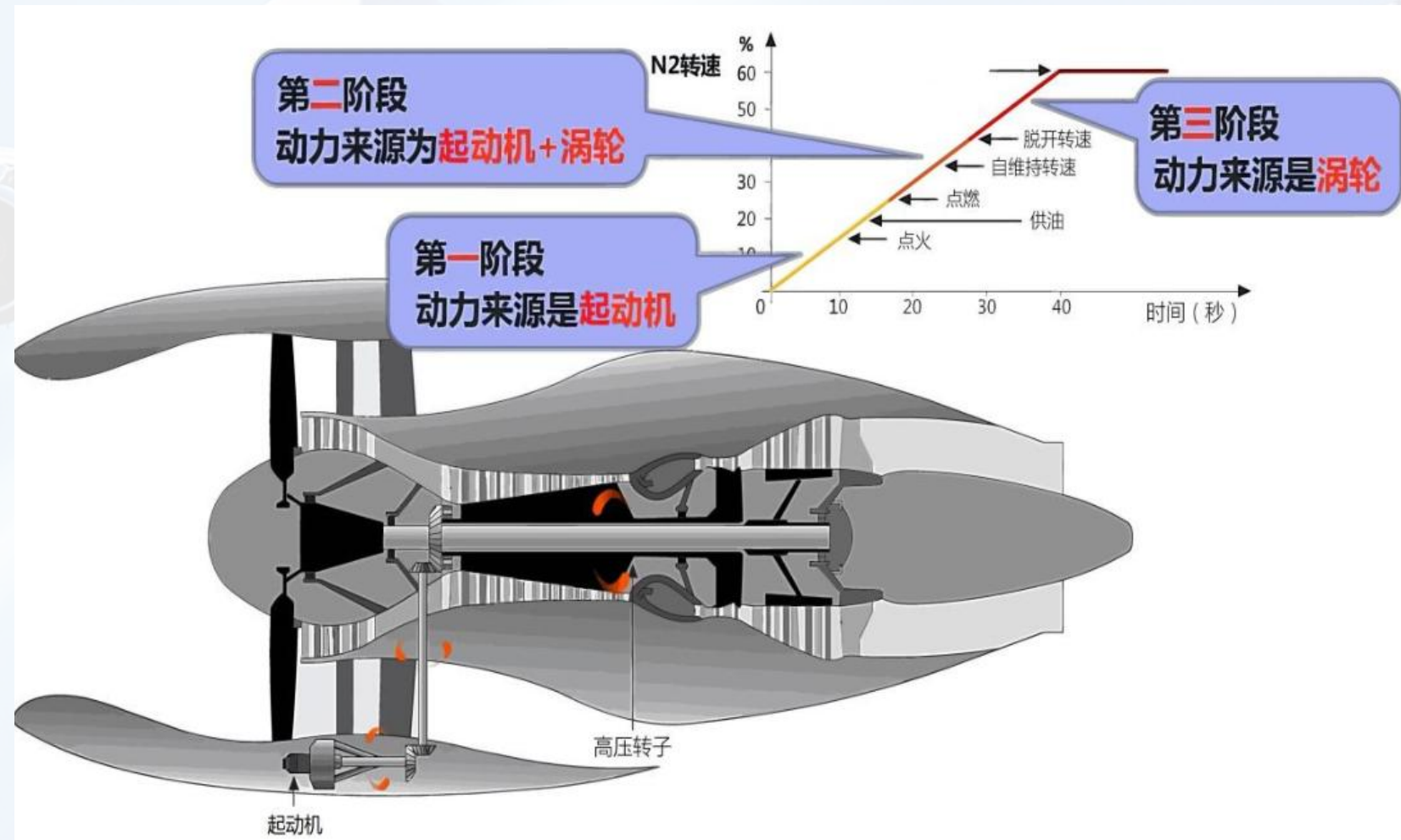
1.4.2 燃气涡轮发动机概述

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

2) 发动机主要附件系统

(3) 起动系统

- 起动机必须产生高扭矩并传递给发动机转子
- 直到涡轮能提供足够的功率取代起动机的功率才脱开



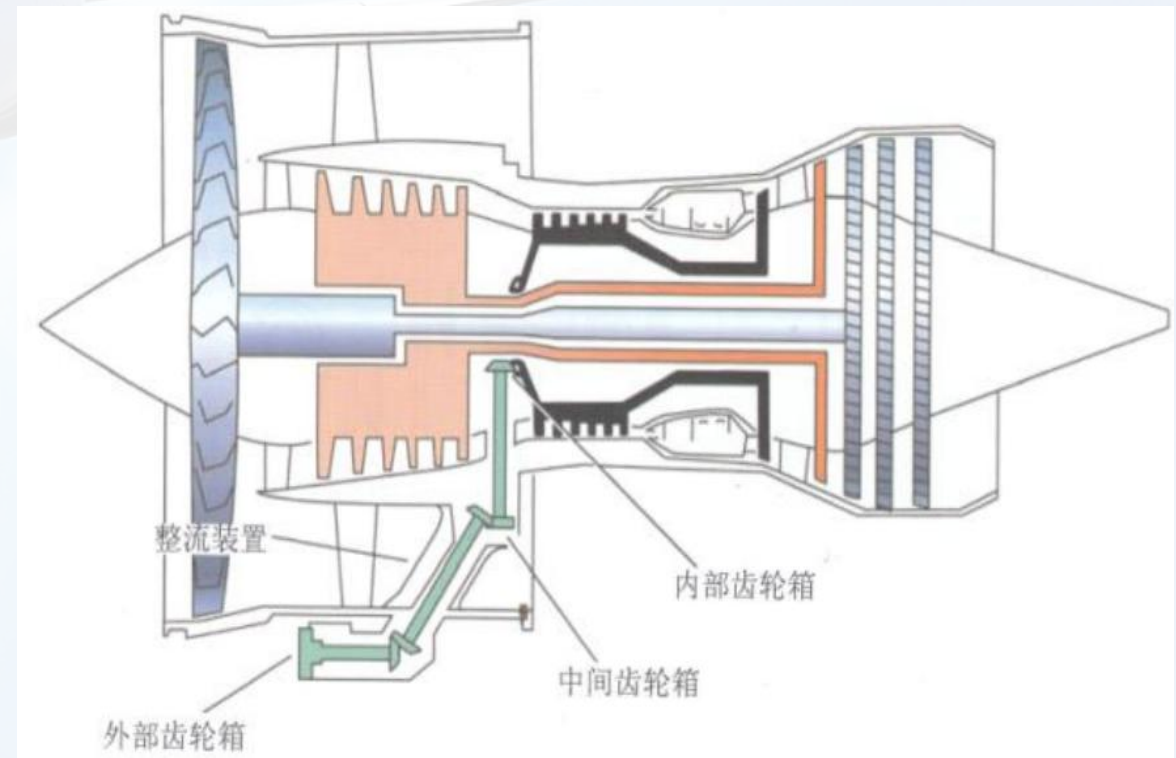
1.4.2 燃气涡轮发动机概述

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

2) 发动机主要附件系统

(4) 附件传动系统

- 需要有一套减速齿轮装置，为飞机的液压、气压和电气装置提供动力，这套装置称为附件传动装置
- 附件传动装置是发动机的重要部件，是维护中的重要部位
- 若出现故障，发动机应立即停车



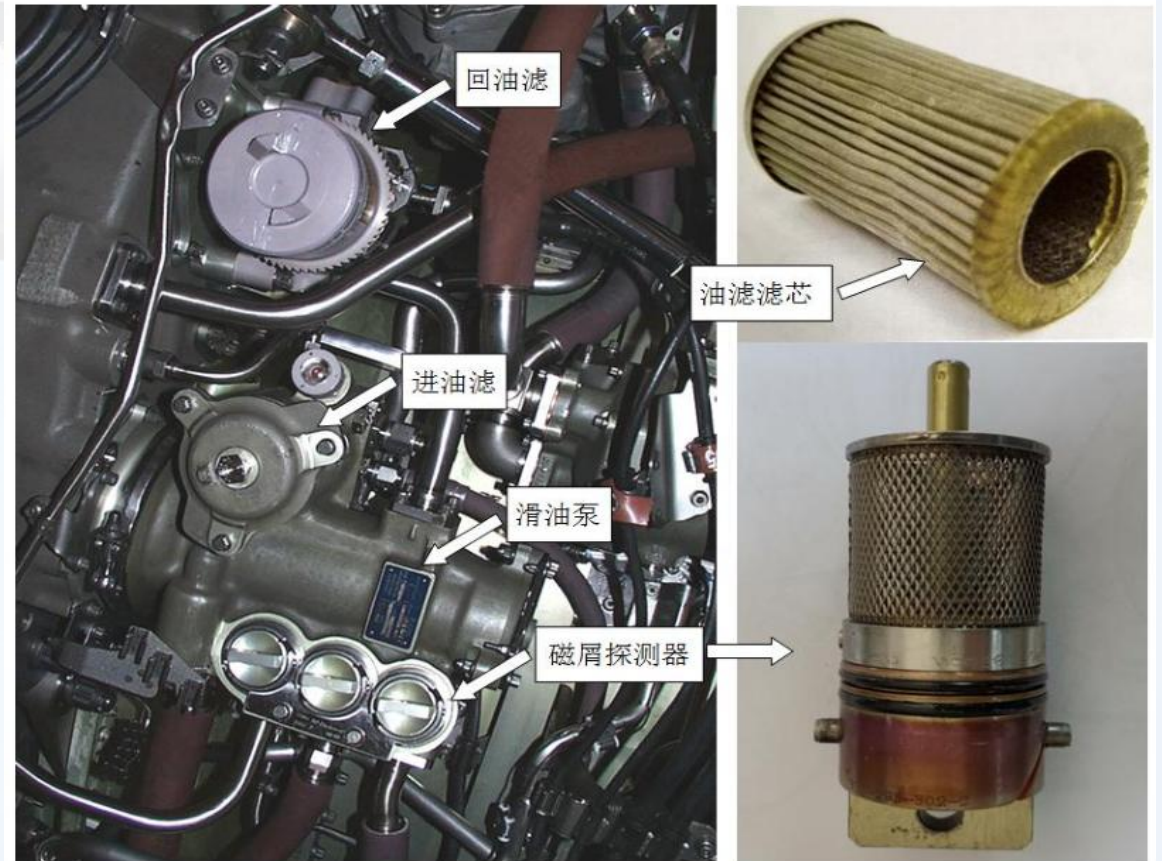
1.4.2 燃气涡轮发动机概述

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

2) 发动机主要附件系统

(5) 润滑系统

- 对所有齿轮、轴承都要用滑油润滑和冷却
- 润滑系统由滑油箱、滑油泵、供油管道、供油喷嘴、回油管道、冷却装置组成



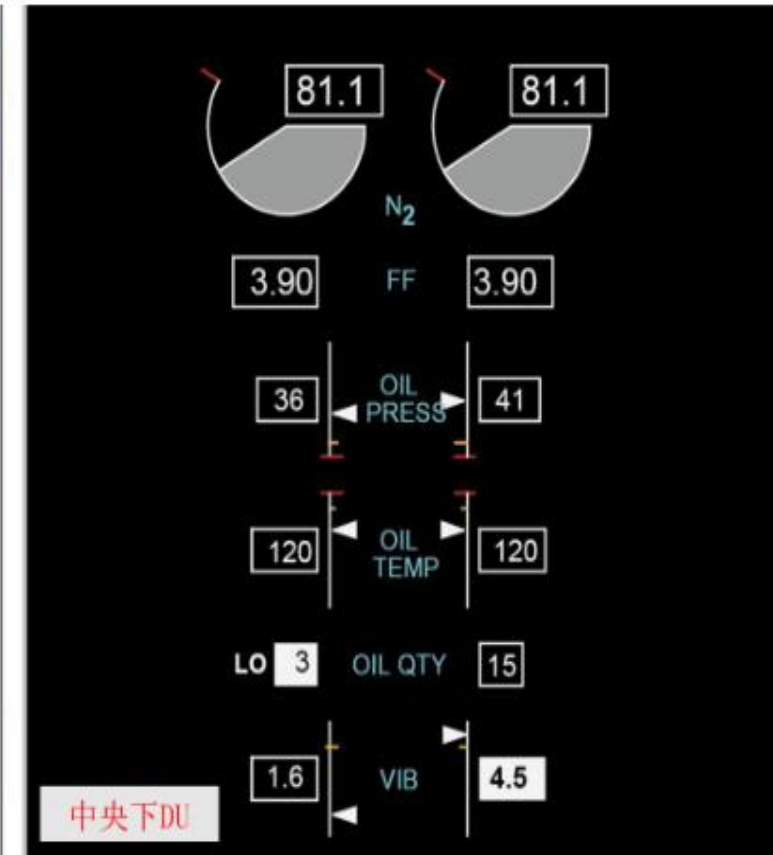
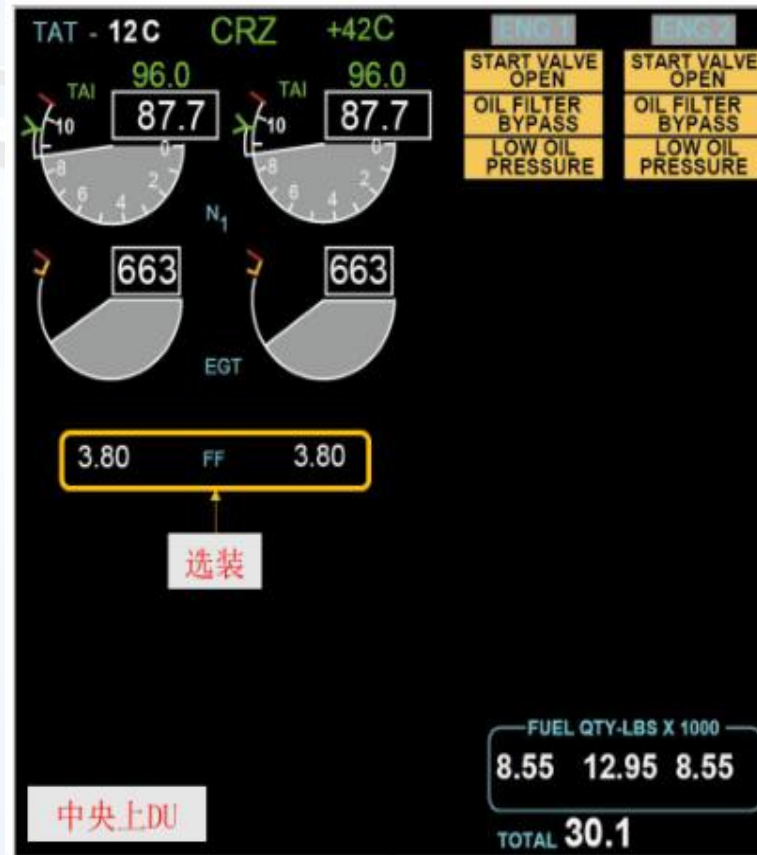
1.4.2 燃气涡轮发动机概述

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

2) 发动机主要附件系统

(6) 仪表系统

- 用以测量发动机的各种参数
- 有压力表、温度表、转速表、油量表、振动指示器等
- 综合显示到显示器上
- 如果数据超限，就用声音、灯光向飞行员报警



1.4.2 燃气涡轮发动机概述

3、发动机安装布局 and 主要附件系统

2) 发动机主要附件系统

(7) 冷却系统

- 使发动机工作的温度保持在一个适当的范围
- 由于有大量空气流过，因此发动机大部分由空气冷却
- 齿轮箱和轴承由滑油冷却，滑油的热量经过交换器由气流带走

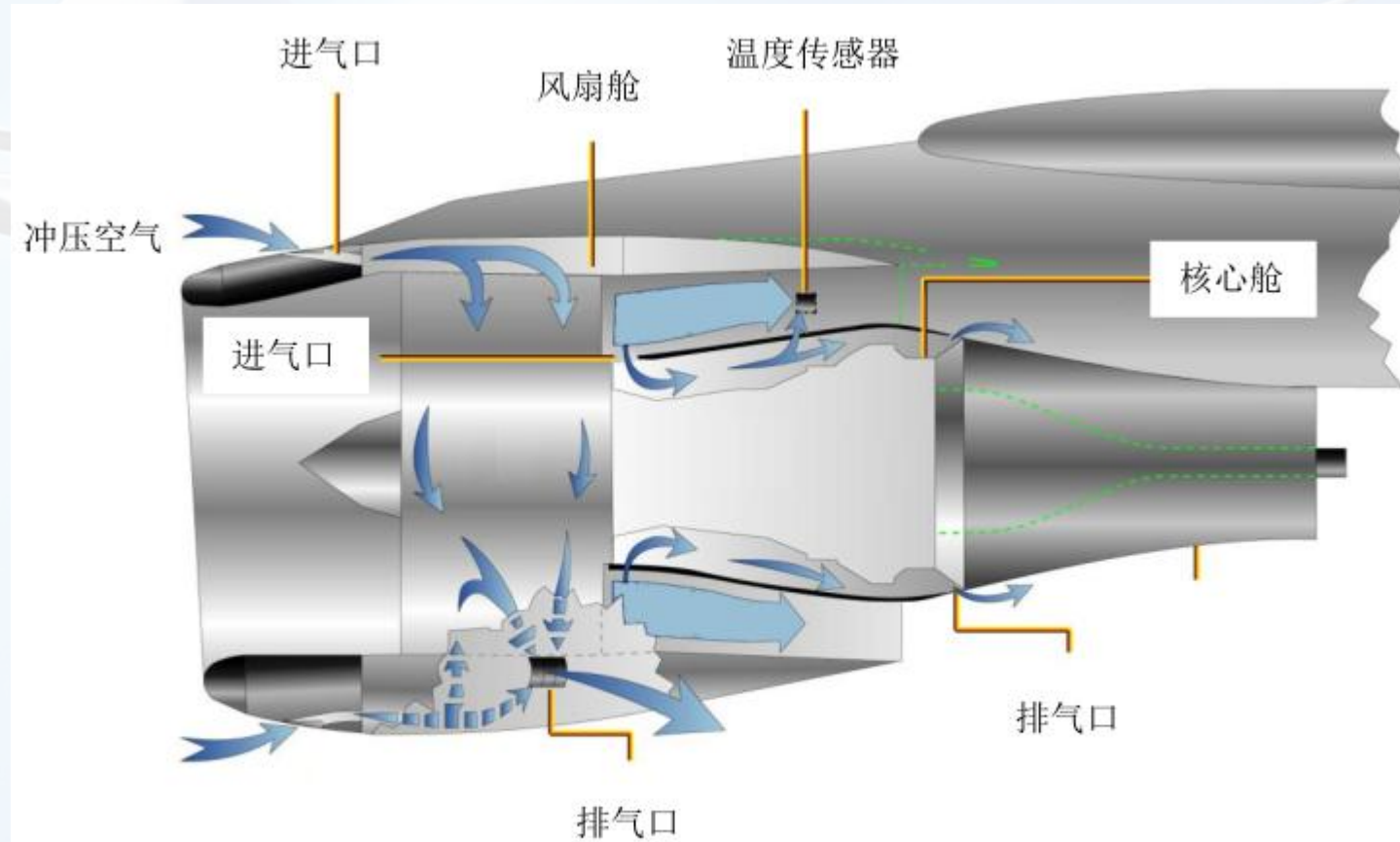


图 15-3 典型发动机的外部冷却

小结:

	翼吊布局	尾吊布局
优点	减少了机翼结构重量 发动机进气不受干扰 飞行阻力在巡航时很小 客舱内噪声影响较小	机翼设计简单、容易 单发失效时偏航力矩小 可以安装奇数个发动机 客舱内的噪声小
缺点	单发失效时偏航力矩大 容易吸入异物	结构重量较高 占用部分机身 尾翼受发动机排气影响 重心靠后
使用趋势	在大量使用 是目前最通行的布置方式 优越性较大	在大量使用

全章总结:

序号	本章重点知识要点
1	航空活塞式发动机的分类、四冲程活塞发动机基本工作原理、螺旋桨基本工作原理
2	航空燃气涡轮发动机的分类、发动机的基本组成和工作原理、发动机安装布局 and 主要附件系统



感谢聆听，欢迎指正