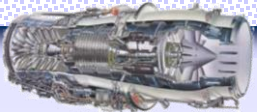


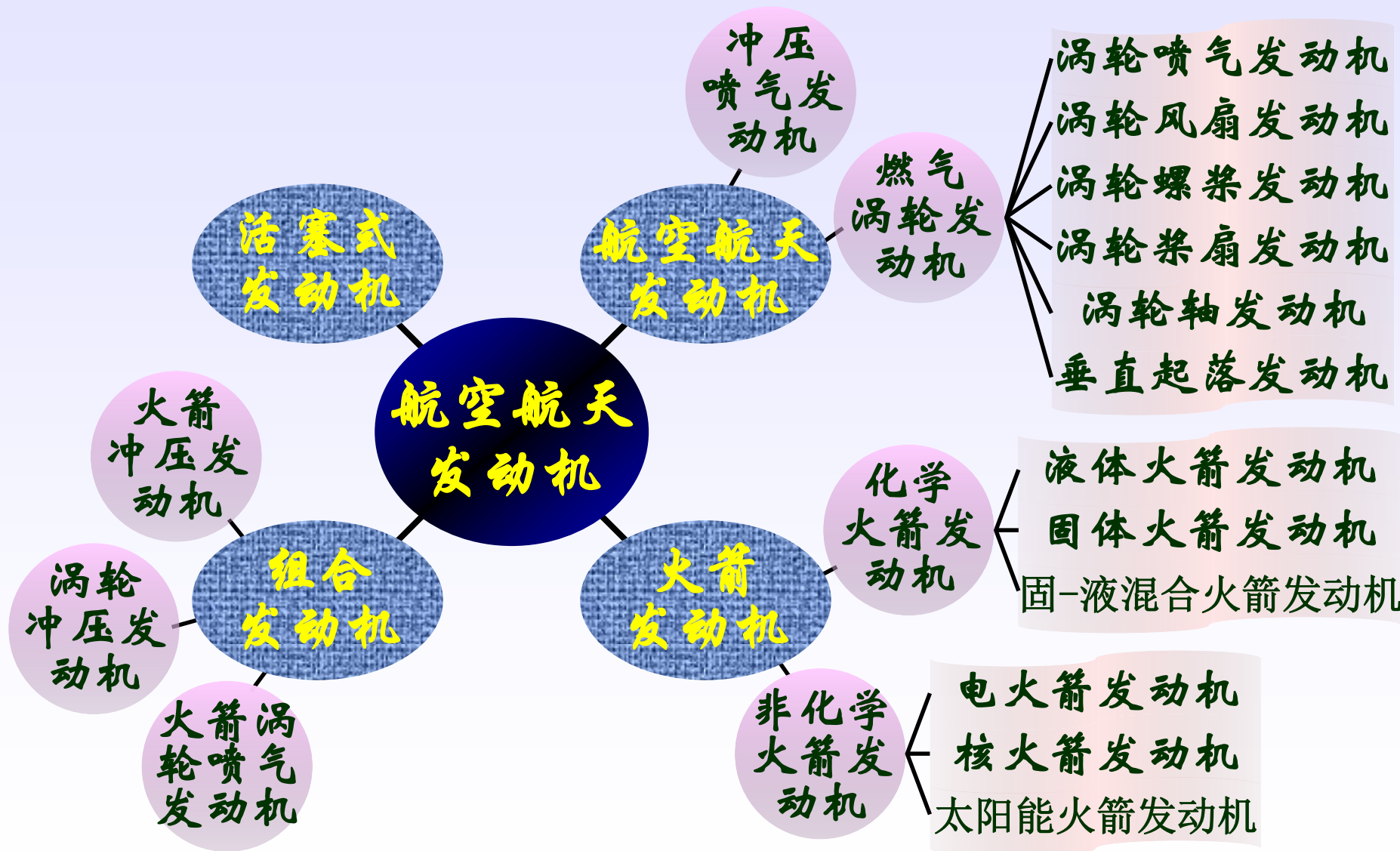
# 第3章 飞行器动力系统

---



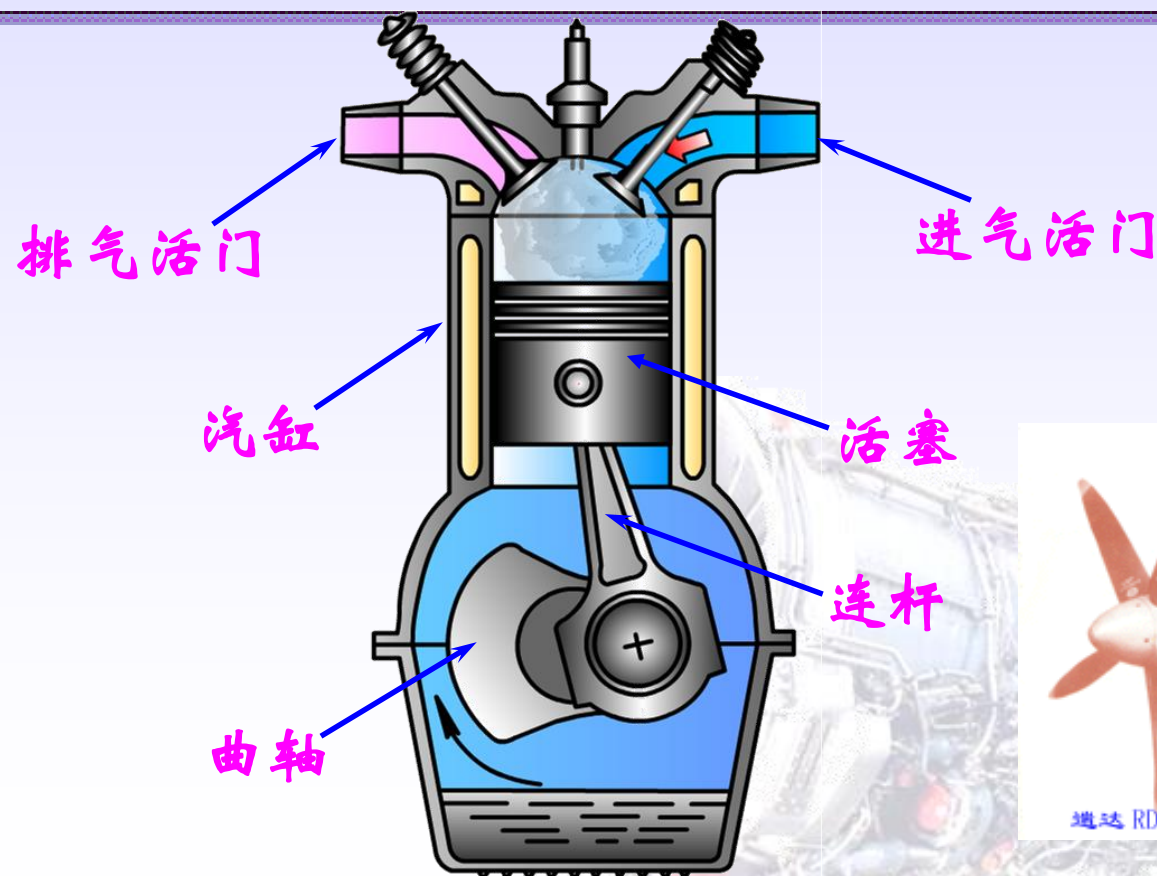


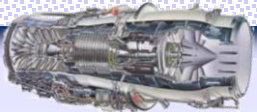
# 3.1 发动机的分类及特点



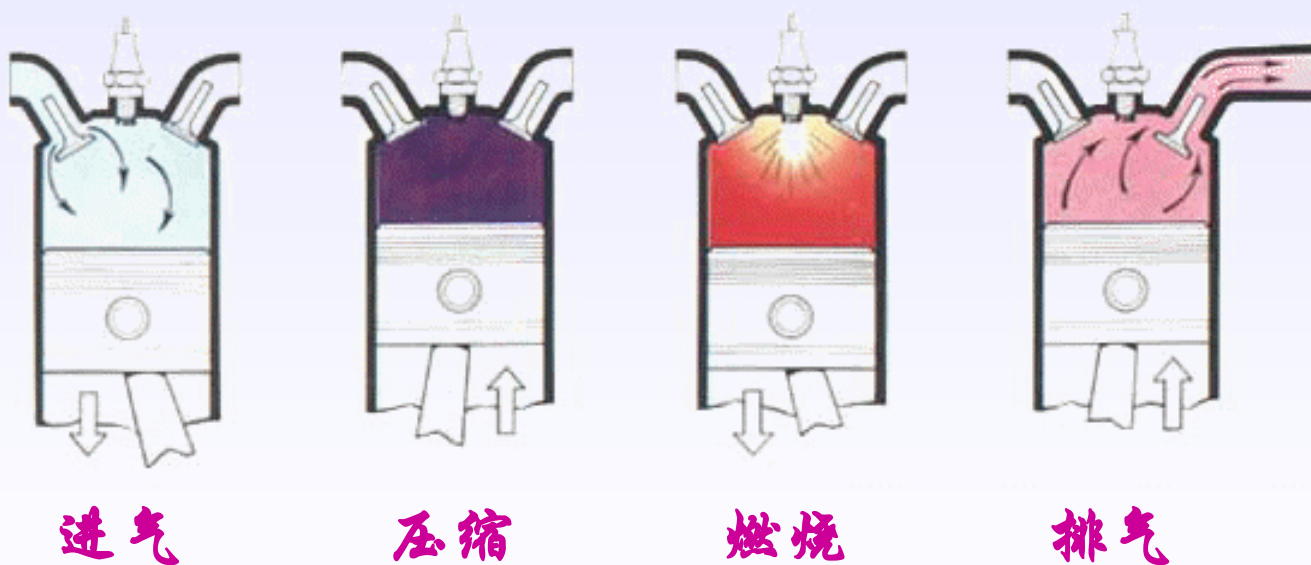
## 3.2 活塞式航空发动机

### 3.2.1 活塞式发动机的主要组成

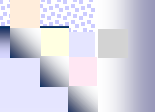
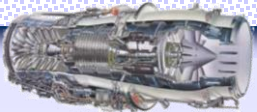




## 3.2.2 活塞式发动机的工作原理



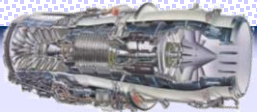
活塞式航空发动机



### 3.2.3 活塞式发动机的辅助系统

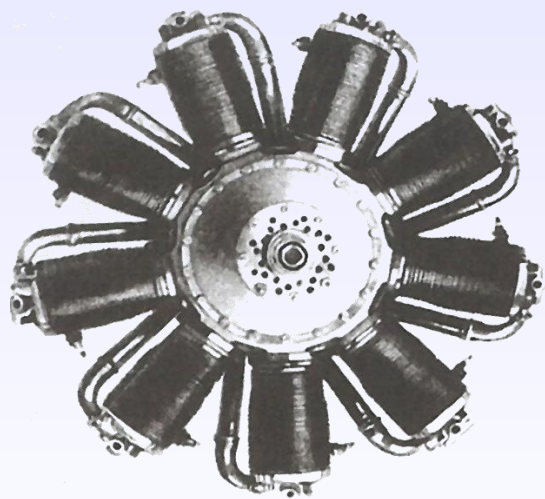
进气系统      燃料系统      点火系统

冷却系统      启动系统      定时系统

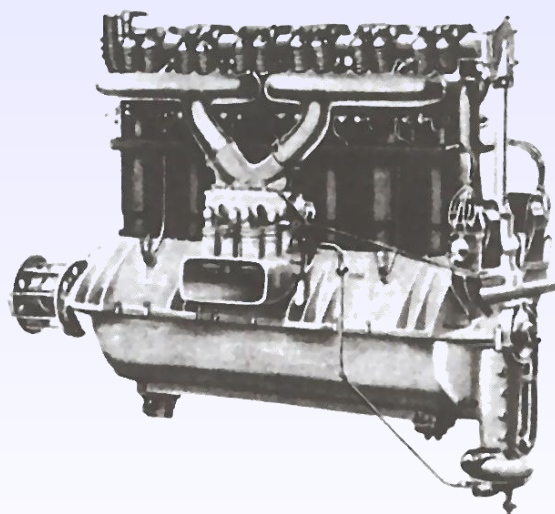


# 活塞式发动机的冷却方式

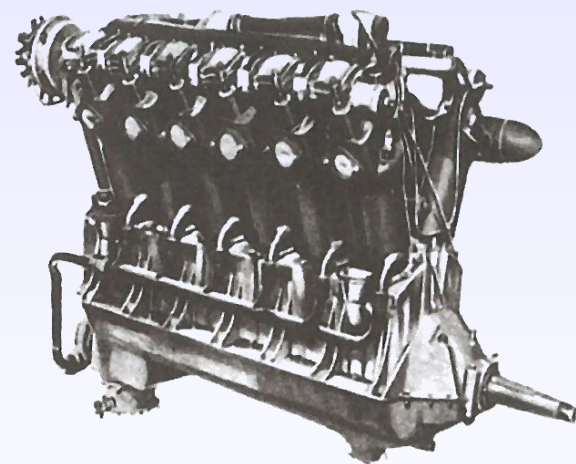
星形 X形 V形 直立式 对立式



星形发动机



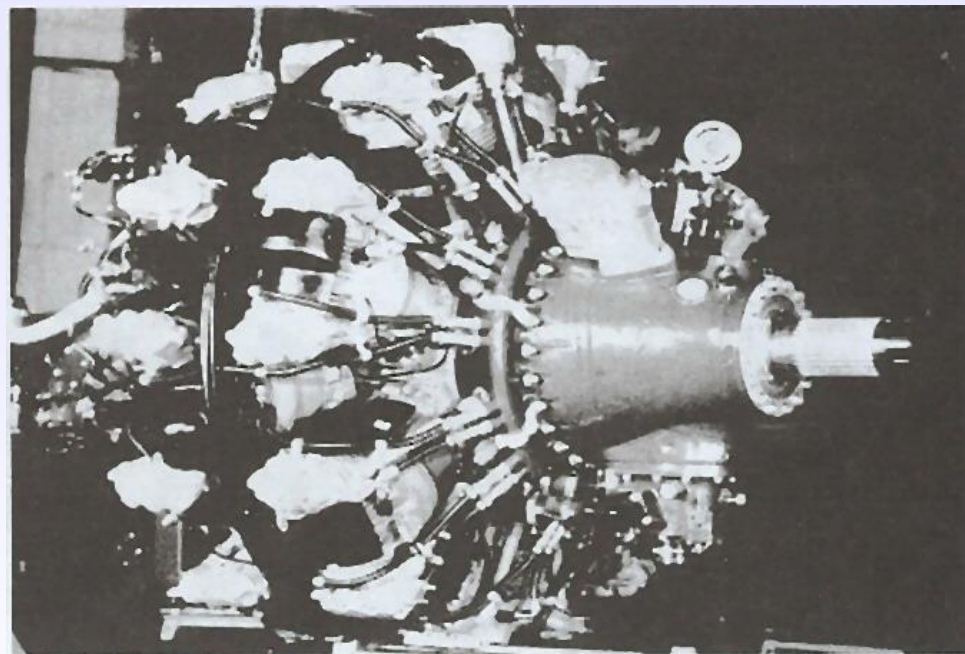
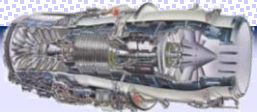
直立式发动机



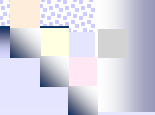
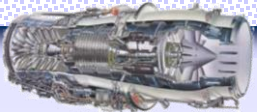
V形发动机

活塞式航空发动机





活塞8发动机  
双排14缸星形气冷发动机



## 3.2.4 航空活塞式发动机主要性能指标

发动机功率——

发动机可用与驱动螺旋桨的功率称为有效功率 (kW)

功率重量比——

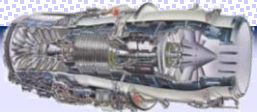
发动机提供的功率和发动机重量之比 (kW/kg)

燃料消耗率(耗油率)——

衡量发动机经济性的指标，产生1kW功率在每小时所消耗的燃料的质量 (kg/kW·h)

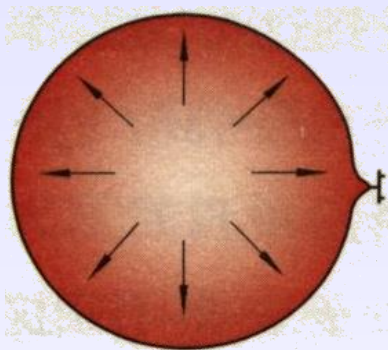
活塞式航空发动机



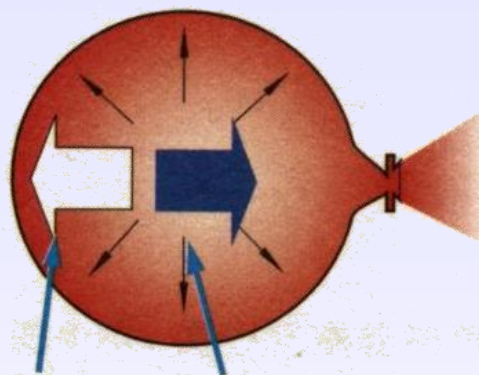


## 3.3 空气喷气发动机

气球

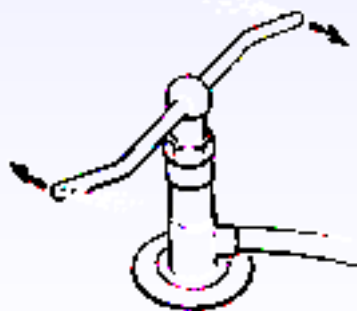


平衡状态



反作用力

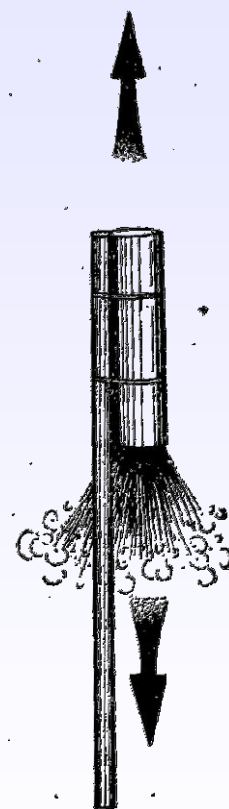
作用力



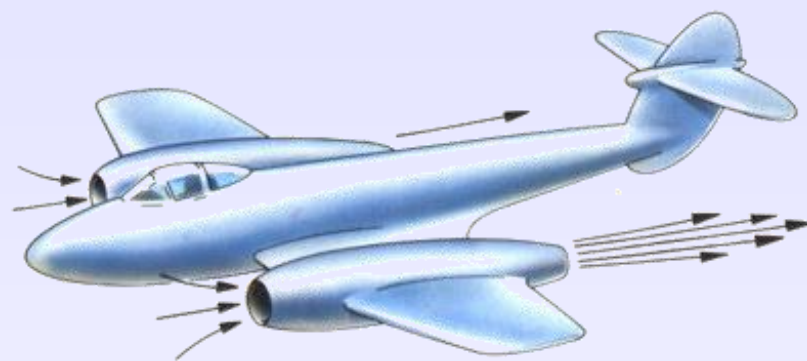
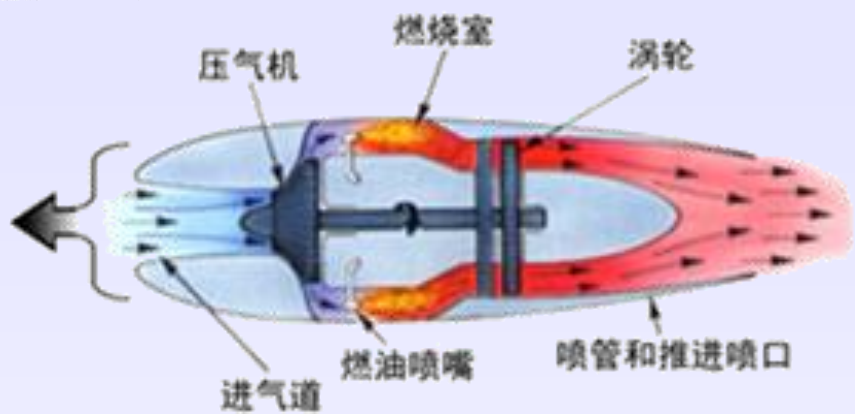
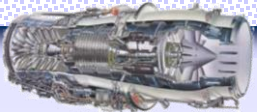
自动旋转喷灌器

喷嘴喷出高压水流的反作用力

驱动喷管沿立轴旋转

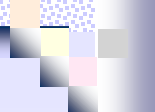
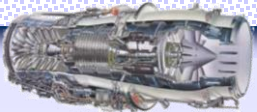


起花点火燃烧后向上飞升



高压燃气向后喷射过程使发动机产生向前的推力

空气喷气发动机



## 3.3.1 燃气涡轮发动机

燃气涡轮发动机的**核心机**

——**压气机 燃烧室 涡轮**

涡轮喷气发动机

涡轮风扇发动机

涡轮螺桨发动机

涡轮桨扇发动机

涡轮轴发动机

垂直起落发动机

空气喷气发动机



# 1、涡轮喷气发动机

## 组成部件

进气道、压气机、燃烧室、涡轮、尾喷管

## 进气道系统

整理进入发动机的气流，消除旋涡，保证发动机所需的空气量；将高速气流逐渐降下来，尽量将动能转变为压力势能，保证压气机有良好的工作条件



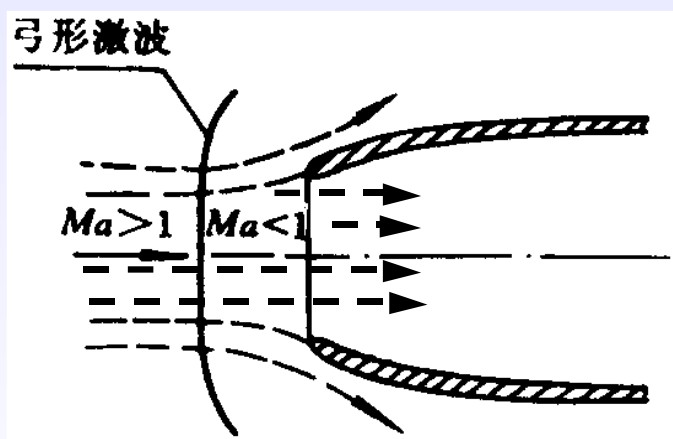
涡轮喷气发动机

空气喷气发动机

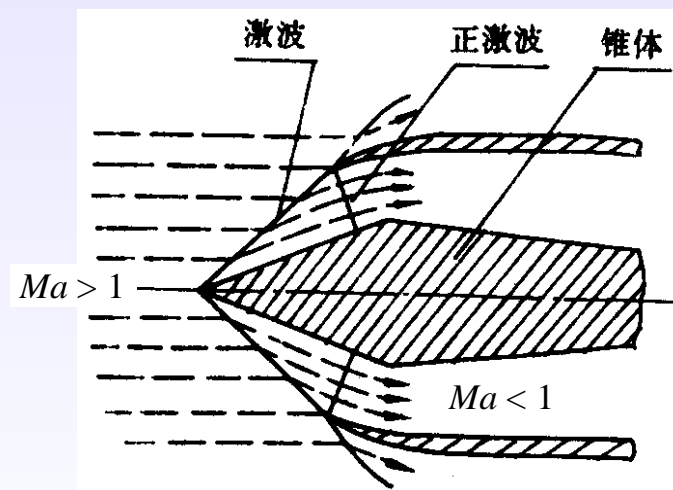


# 进气道系统

## 进气道的形状



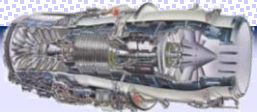
亚声速进气道



超声速进气道







# 进气道系统

## 进气道的布局位置——

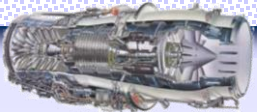
机头正面进气      两侧进气（机身、翼根）

腹部进气      背部进气      短舱正面进气



涡轮喷气发动机

空气喷气发动机



歼七



歼八

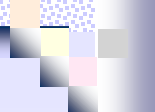
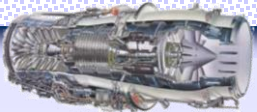


## 机头正面进气



涡轮喷气发动机

空气喷气发动机



歼十

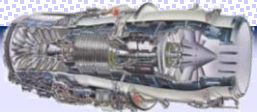
腹部进气



涡轮喷气发动机

空气喷气发动机





Saab35

## 两侧进气（机身、翼根）

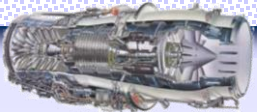


歼八II

空气喷气发动机



涡轮喷气发动机

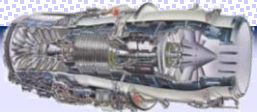


## 背部进气



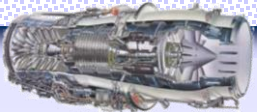
涡轮喷气发动机





# 短舱正面进气

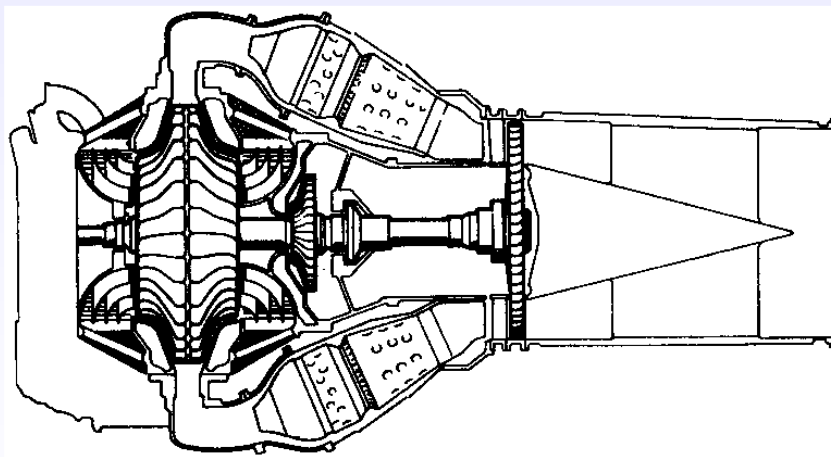
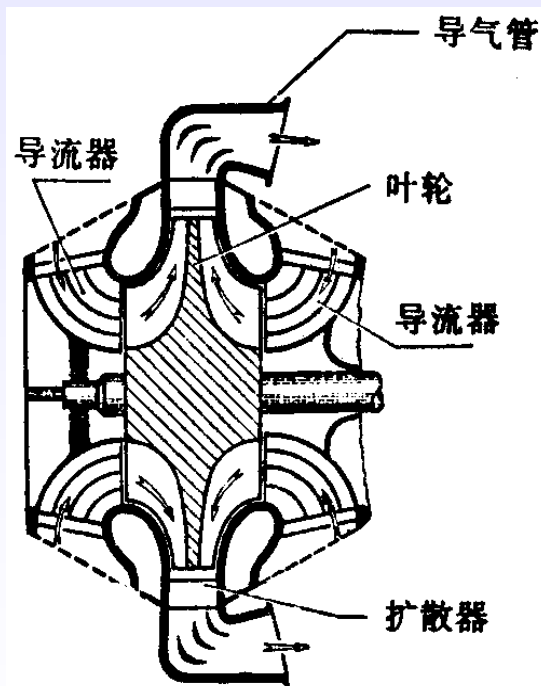




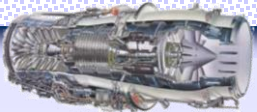
# 压气机

提高进入发动机燃烧室的空气压力

## 离心式压气机

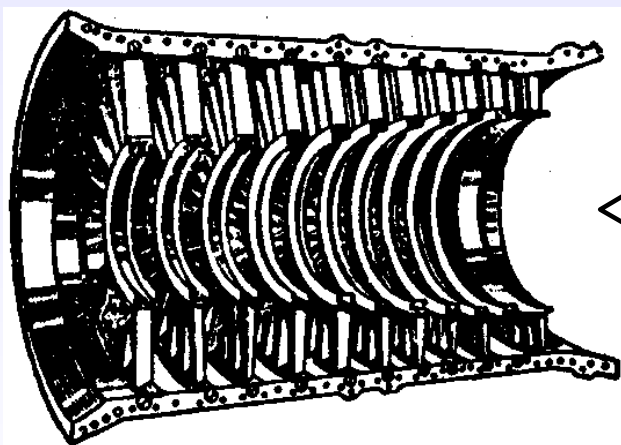


涡轮喷气发动机

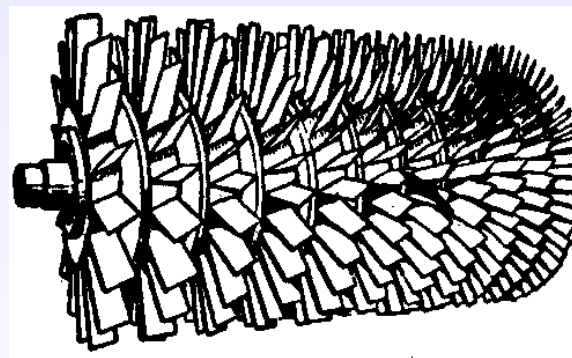


# 压气机

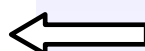
## 轴流式压气机

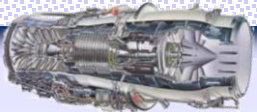


静子



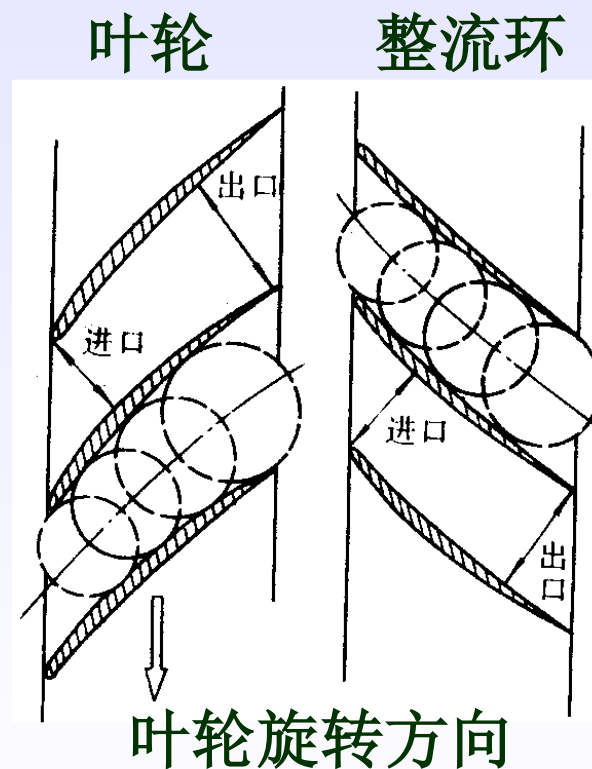
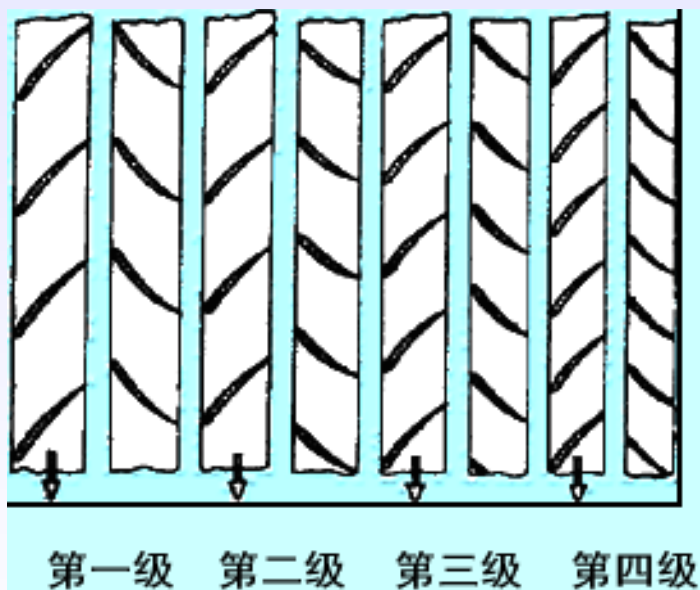
转子

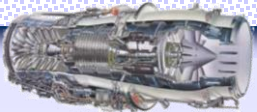




# 压气机

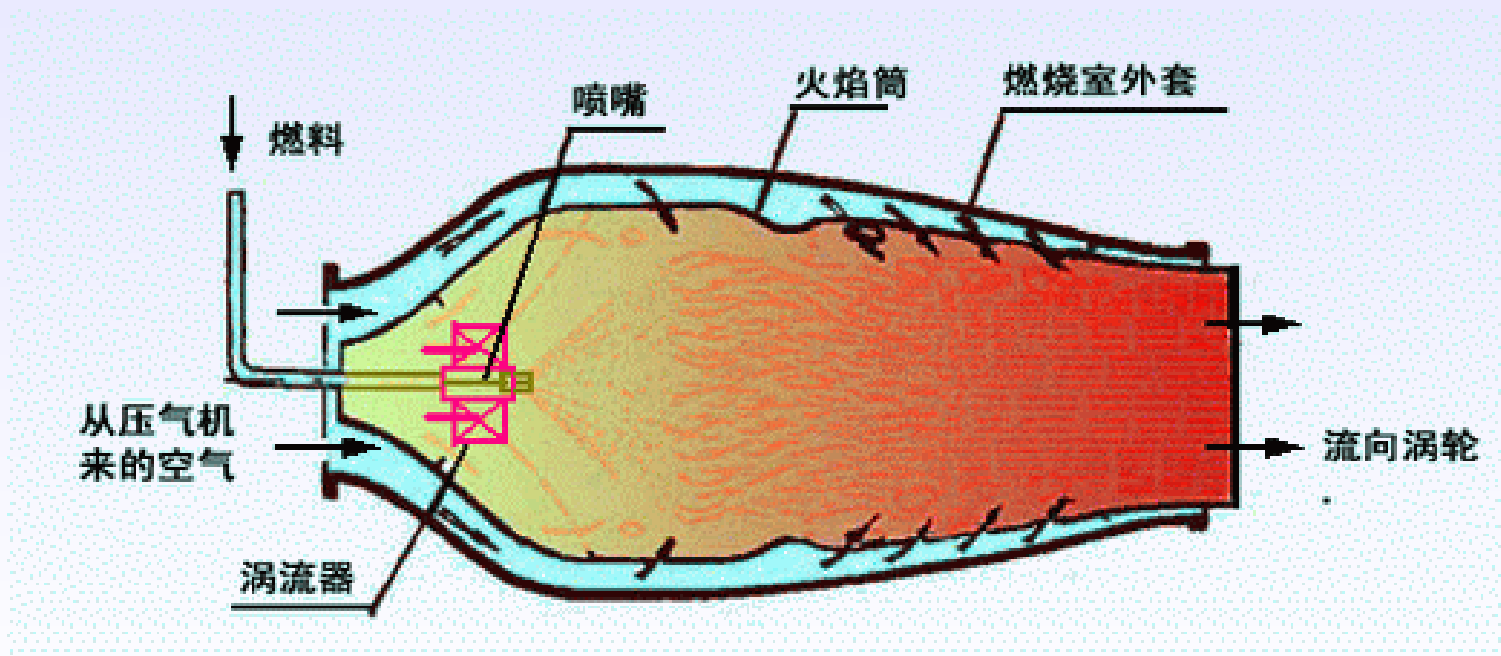
## 轴流式压气机





# 燃烧室

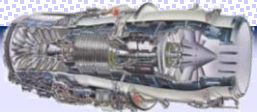
燃料与高压空气混合燃烧的地方



涡轮喷气发动机

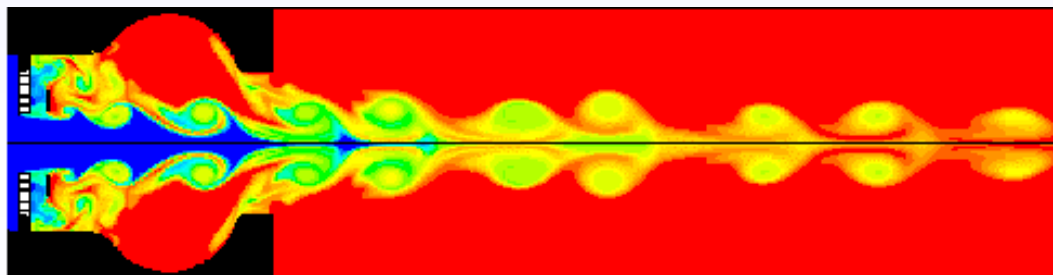
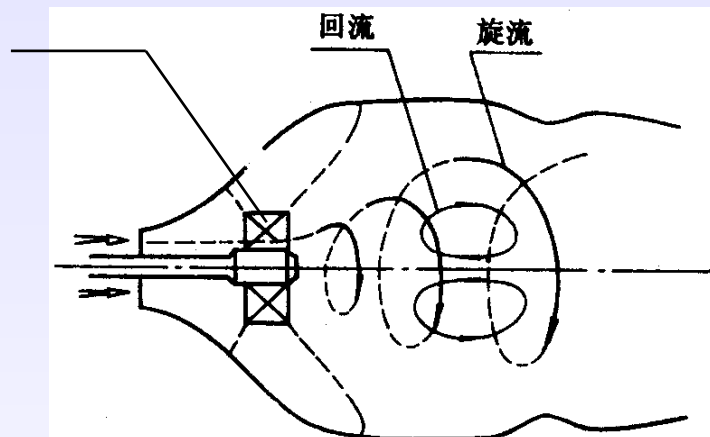
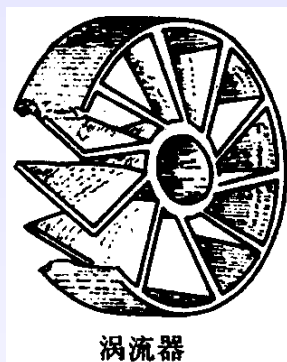
空气喷气发动机

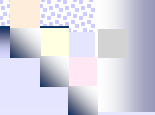
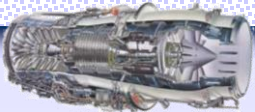




# 燃烧室

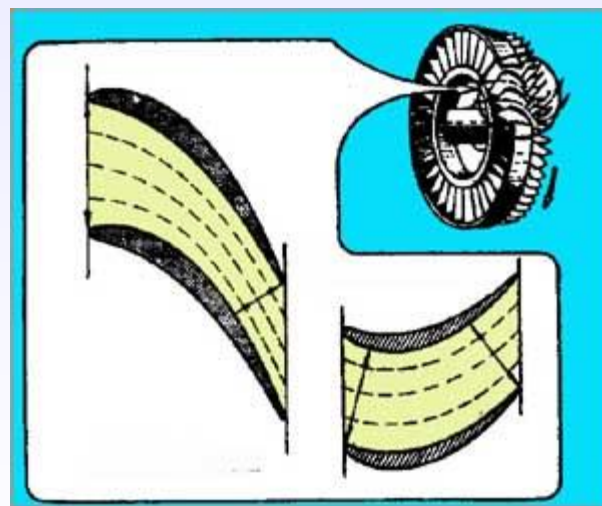
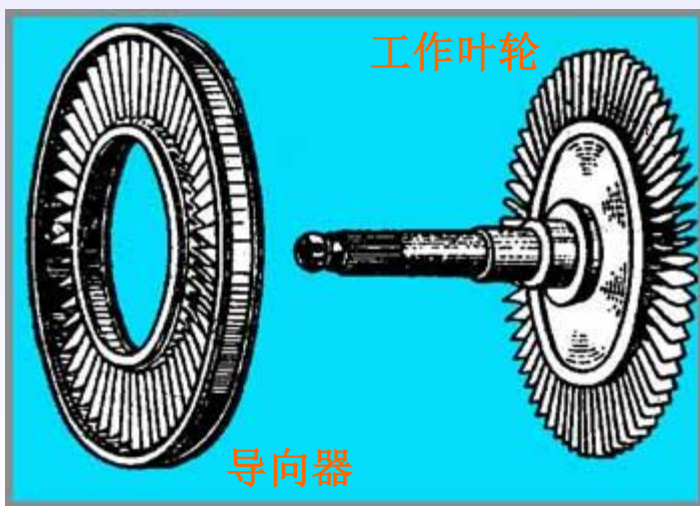
## 涡流器





# 涡轮

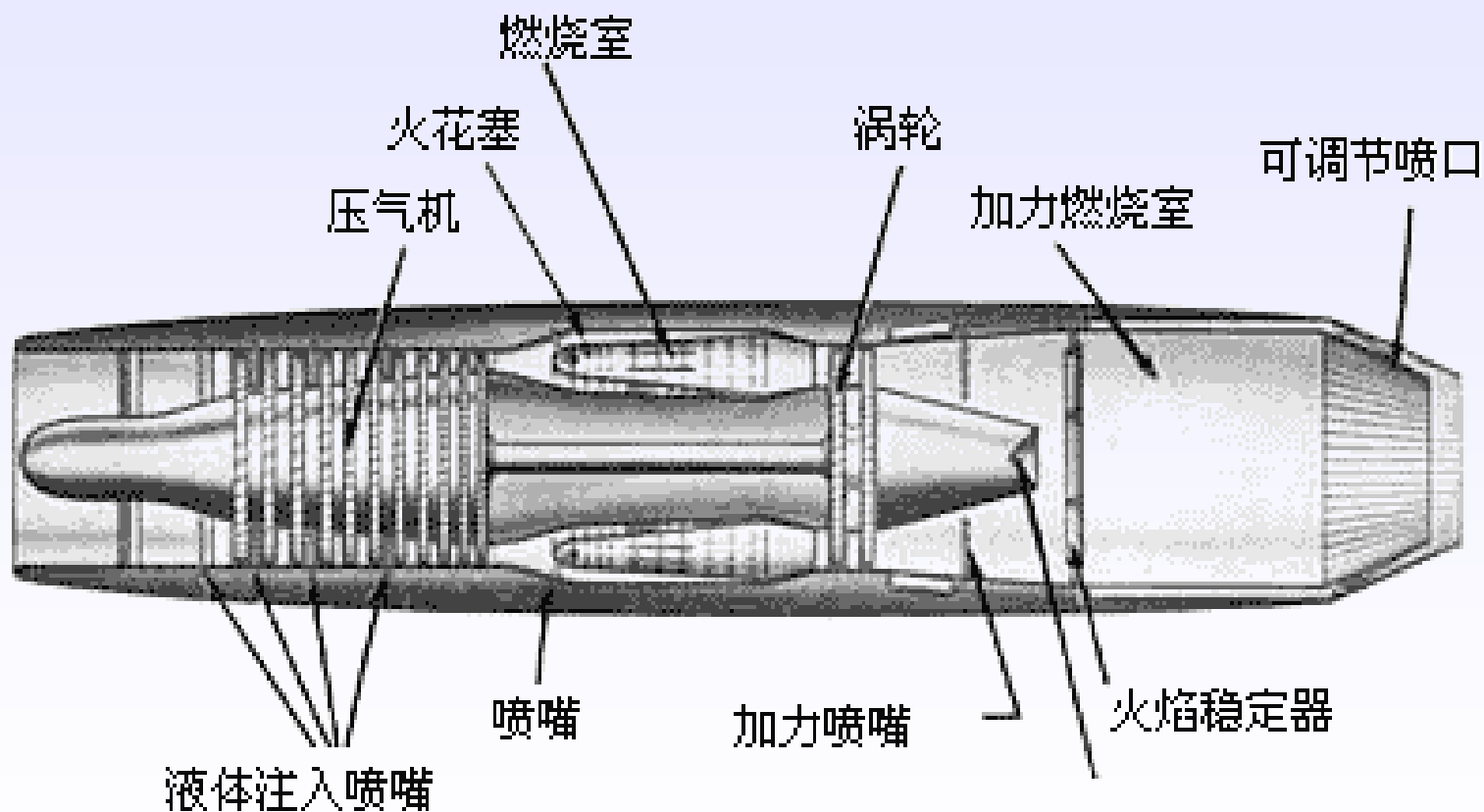
将燃烧室出口的高温、高压气体的能量转变为机械能，驱动压气机、风扇、螺旋桨和其他附件





# 加力燃烧室

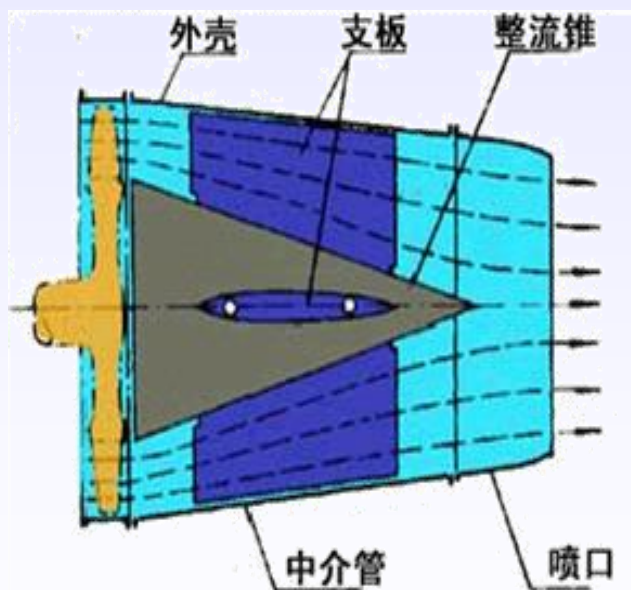
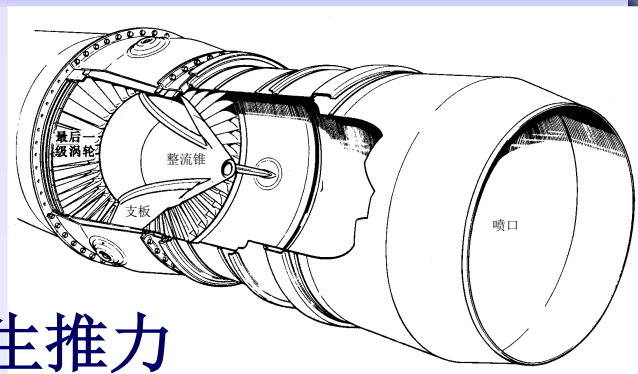
功用：使燃烧更充分燃烧，产生更大的推力。



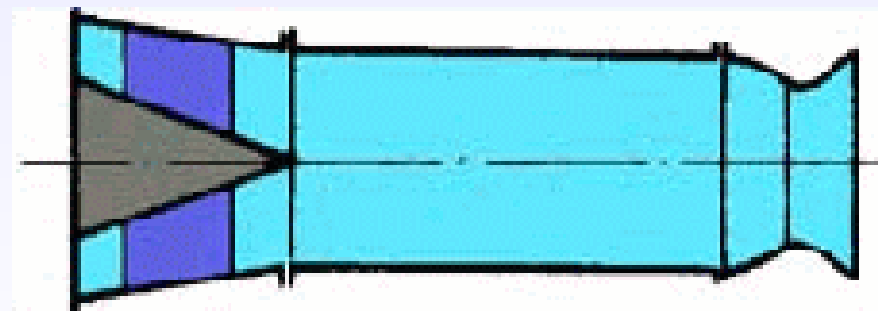


# 尾喷管

整理燃烧后的气流  
燃气膨胀，加速喷出产生推力

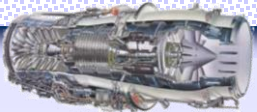


亚音速喷管——收敛形



超音速喷管——拉瓦尔喷管





## 3.3.2 空气喷气发动机的主要性能参数

**推力**——

作用在发动机内外表面上压力的合力(N)

**单位推力**——

每单位流量的空气(kg/s)进入发动机所产生的推力

**推重比**——

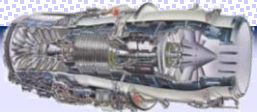
发动机推力(地面最大工作状态下)和其结构重量之比

**单位耗油率**——

产生单位推力(1N)每小时所消耗的燃油量(kg/N·h)

发动机经济性的主要指标

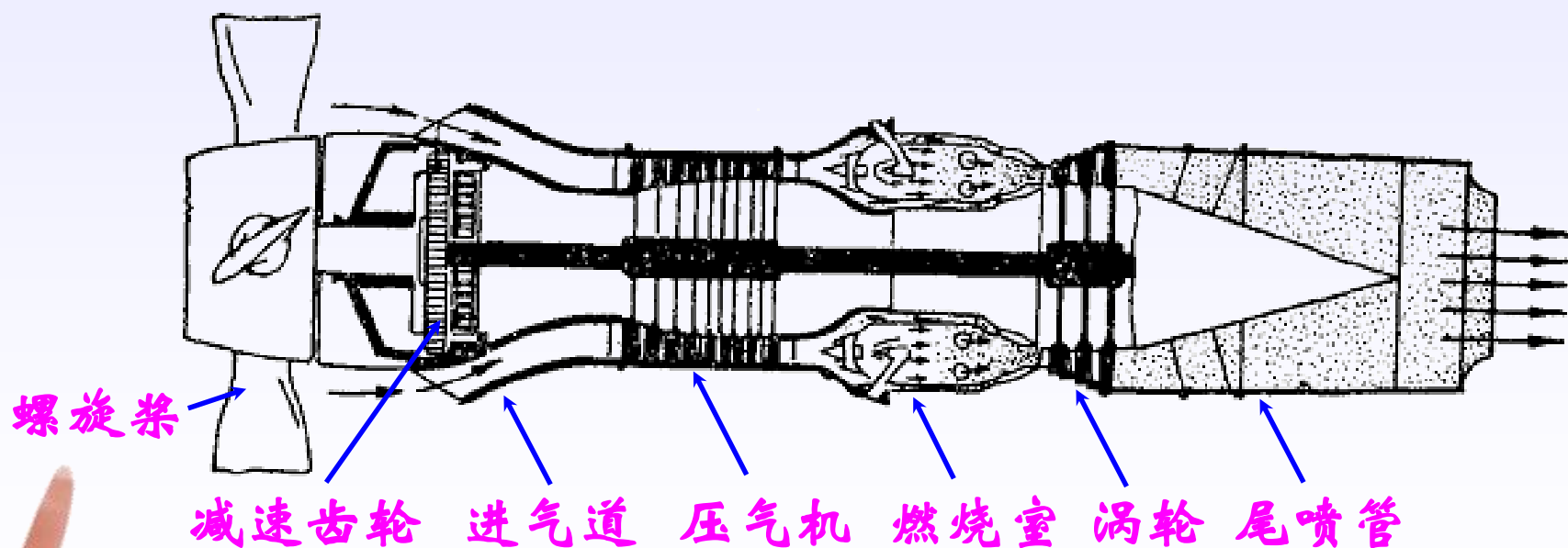




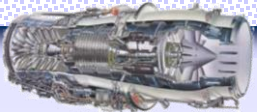
## 2、涡轮螺旋桨发动机

螺旋桨提供拉力，燃气提供少量推力

低亚声速飞行时效率高，耗油率小，经济性能好



空气喷气发动机



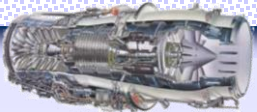
C-130大力神



运7



图95战略轰炸机



### 3、涡轮风扇发动机

能量损失小 耗油率低 经济性好 噪音水平低 效率高 起飞推力大

涡轮风扇发动机的结构参见教材

**涵道比：** 外股气流与内股气流流量之比

**发展方向：**

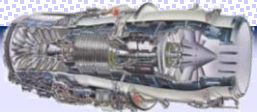
低涵道比的军用加力发动机

高涵道比、高涡轮前温度、高增压比的民用发动机

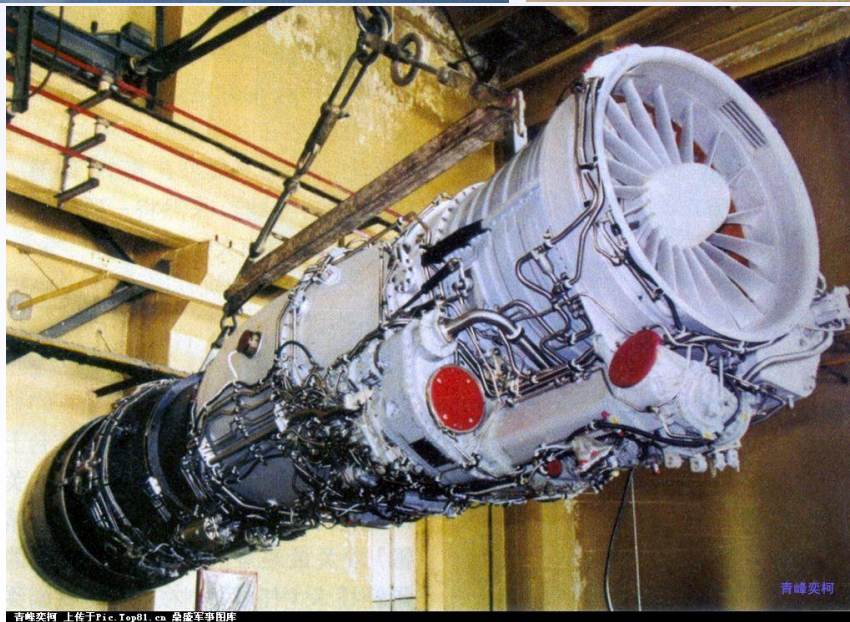


空气喷气发动机



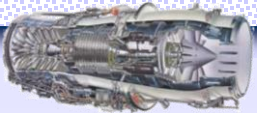


Su27



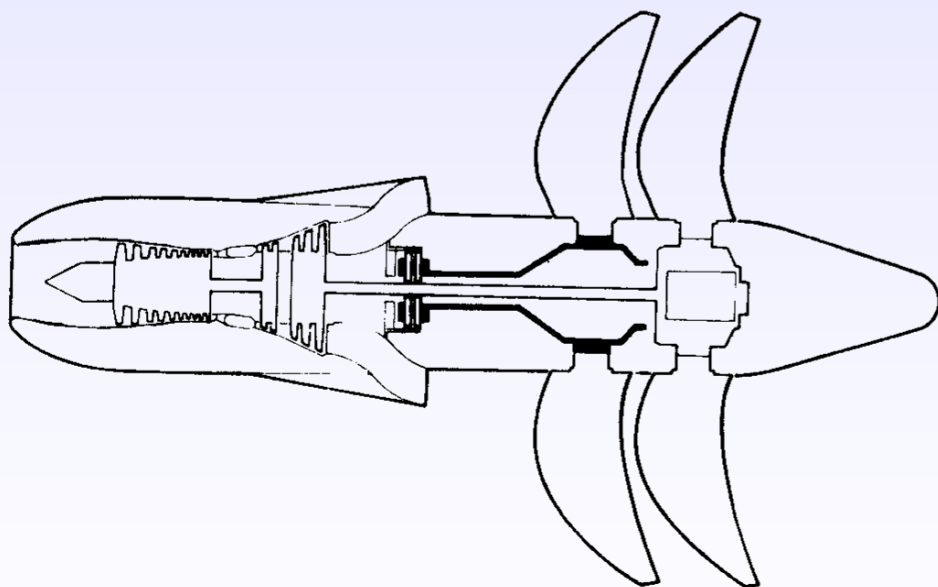
秦岭” WS-9涡扇发动机

Boeing777

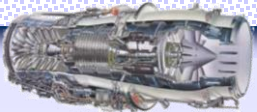


## 4、涡轮桨扇发动机

推进效率高，省油；适用于高亚音速飞行



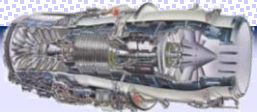
空气喷气发动机



安70



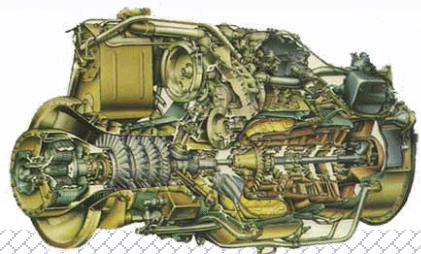
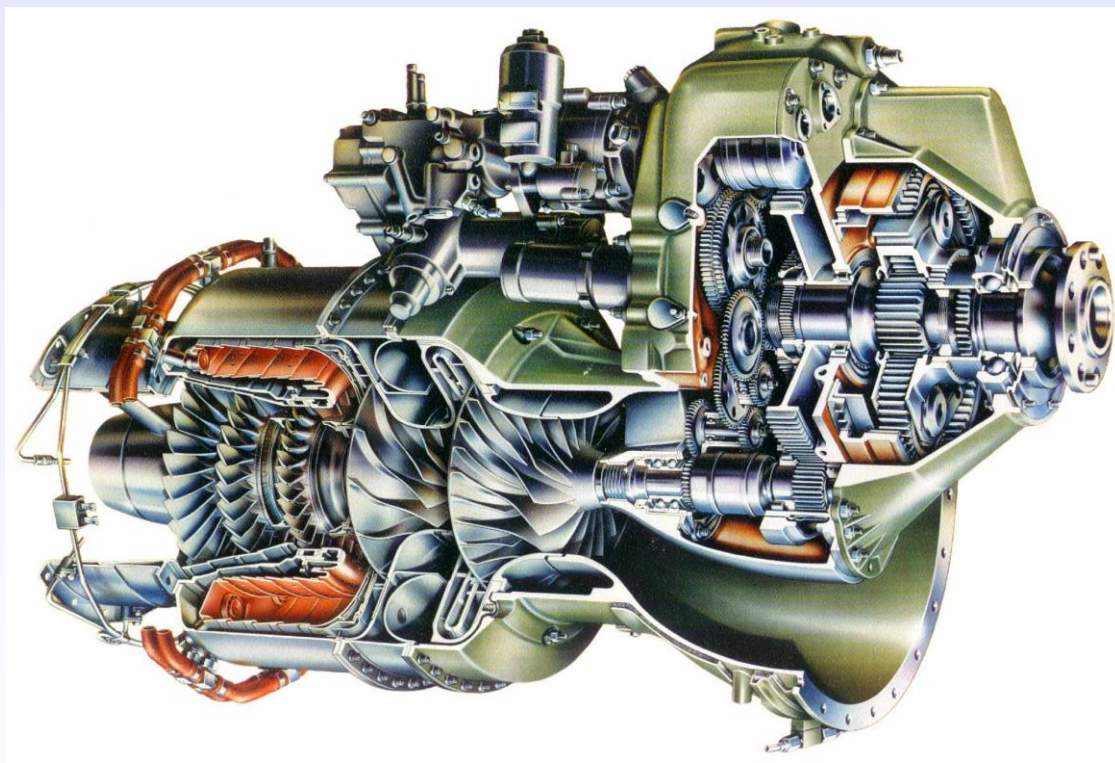




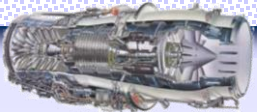
## 5、涡轮轴发动机

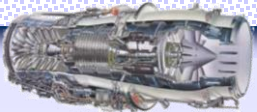
现代直升机的  
主要动力

比活塞发动机  
易于启动、功率  
大、质量轻、  
体积小，振动小，  
噪声低，航程、  
速度、升  
限、装载量大；  
耗油率较大



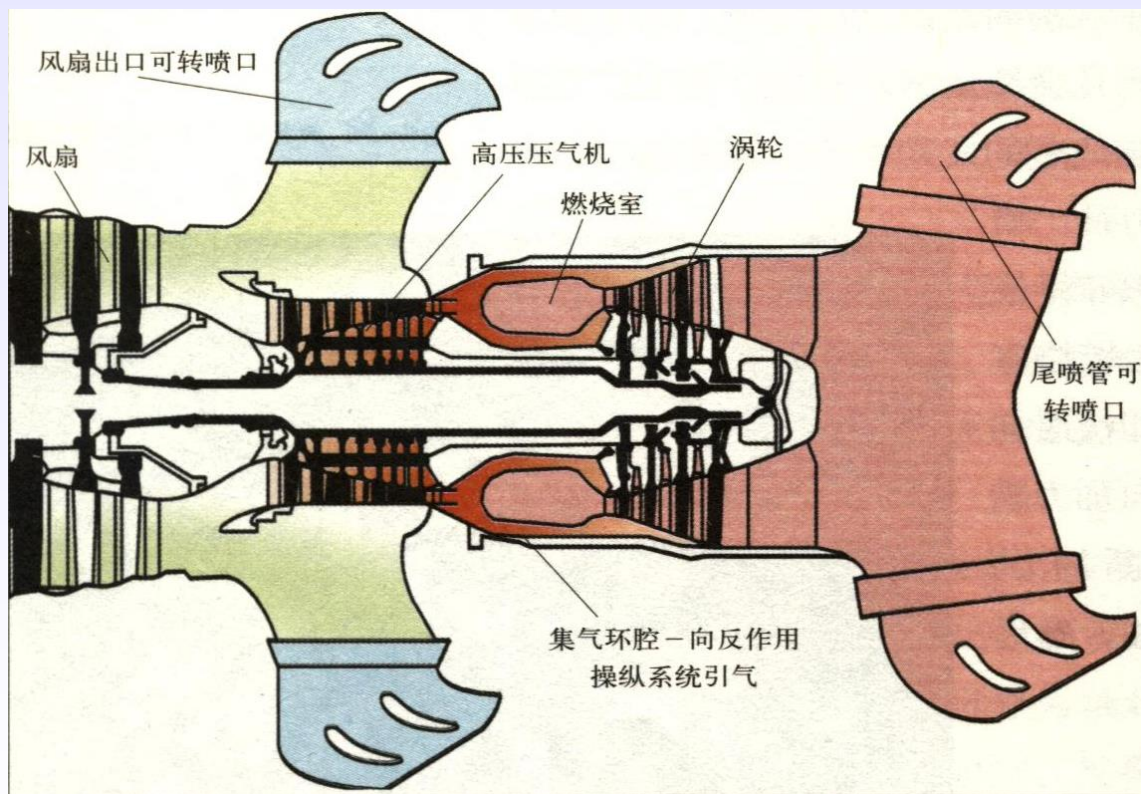
空气喷气发动机





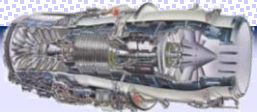
# 6、垂直起落发动机

## 可转喷口的涡轮扇发动机



空气喷气发动机





垂直起落发动机

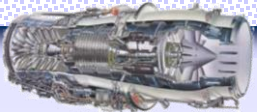


可转喷口的涡轮扇发动机

鹞



空气喷气发动机



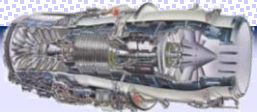
## X-32B



可转喷口的涡轮扇发动机

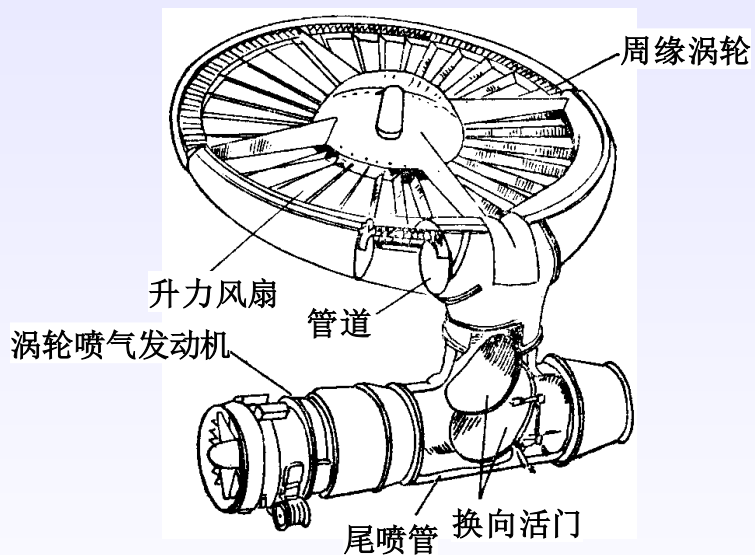
空气喷气发动机



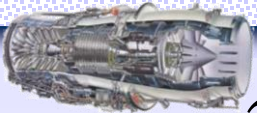


## 升力风扇发动机

垂直起落发动机

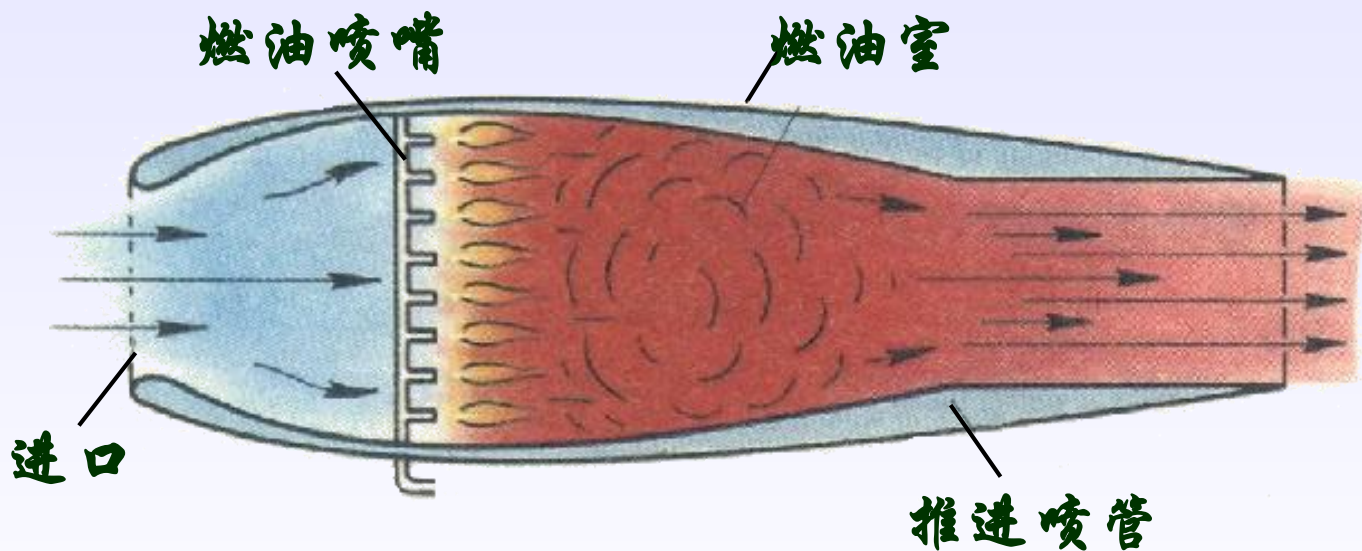


空气喷气发动机



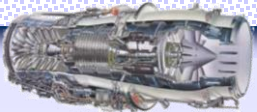
### 3.3.3 冲压喷气发动机

组成——进气道（扩压器）、燃烧室、尾喷管

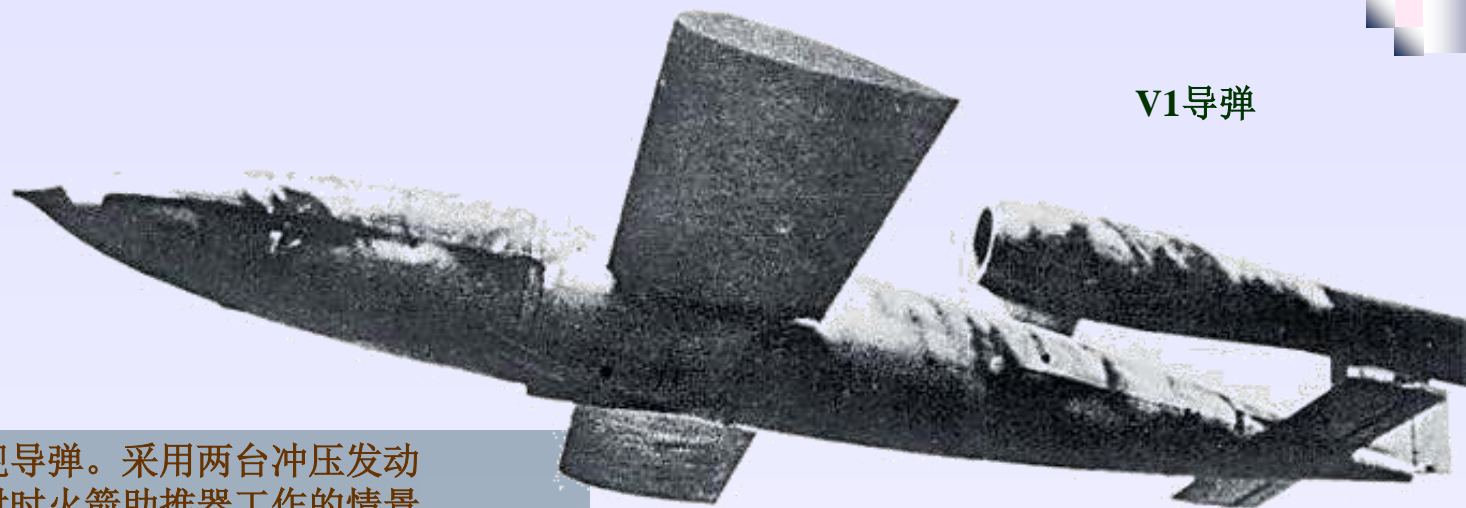


**特点：**构造简单，质量轻，推重比大，成本低，高速状态( $Ma > 2$ )下，经济性好，耗油率低；低速时推力小、耗油率高，静止时不能产生推力，工作范围窄，对飞行状况的变化敏感

空气喷气发动机



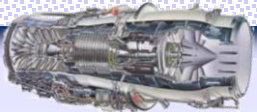
V1导弹



中国C-101超音速反舰导弹。采用两台冲压发动机。图中显示了C-101发射时火箭助推器工作的情景



X43A



### 3.3.4 涡轮喷气发动机的工作状态

**起飞状态：**推力最大，发动机的转速和涡轮前温度都最高，  
允许工作5~10min

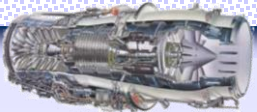
**最大状态：**起飞推力的85%~90%，工作时间不超过30

**额定状态：**推力等稍低于最大状态，连续工作

**巡航状态：**起飞推力的65%~75%

耗油率低，经济性好，连续工作

**慢车状态：**起飞推力的3%~5%，稳定工作的最小转速状态，  
效率很低，允许工作5~10min



## 3.4 火箭发动机

不仅自带燃烧剂，而且自带氧化剂

### 3.4.1 火箭发动机的主要性能参数

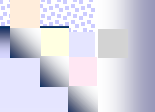
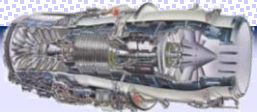
推力 (N)

冲量和总冲 推力对工作时间的积分

反映了发动机工作能力的大小 (N s)

比冲 发动机燃烧1kg推进剂所产生的能量 (m/s)

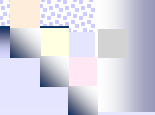
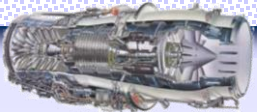




## 3.4.2 液体火箭发动机

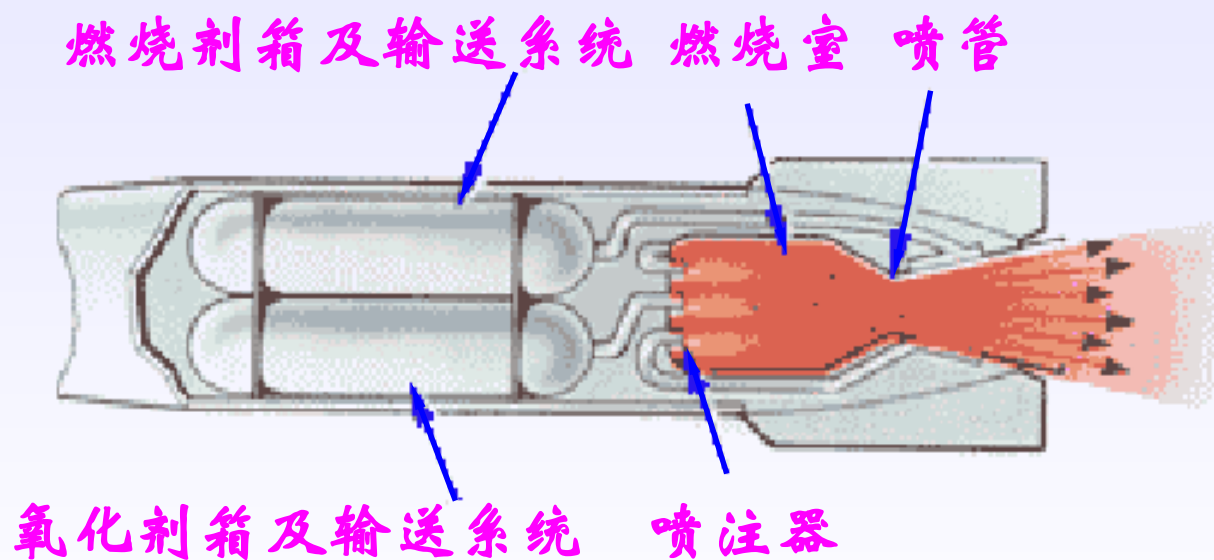
### 1、单组元液体火箭发动机

结构简单，能量低，比冲低



## 2、双组元液体火箭发动机

### (1) 液体火箭发动机的组成及工作原理



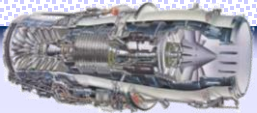
推进剂输送系统

流量调节控制活门

推力室(喷注器、燃烧室、喷管)

冷却系统.....

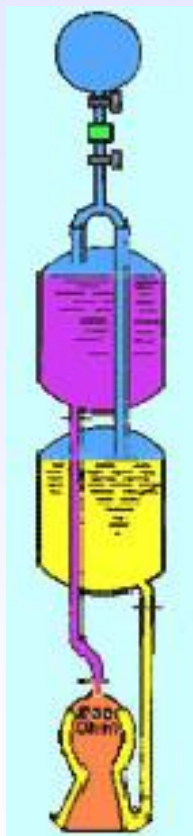
火箭发动机



# 推进剂输送系统

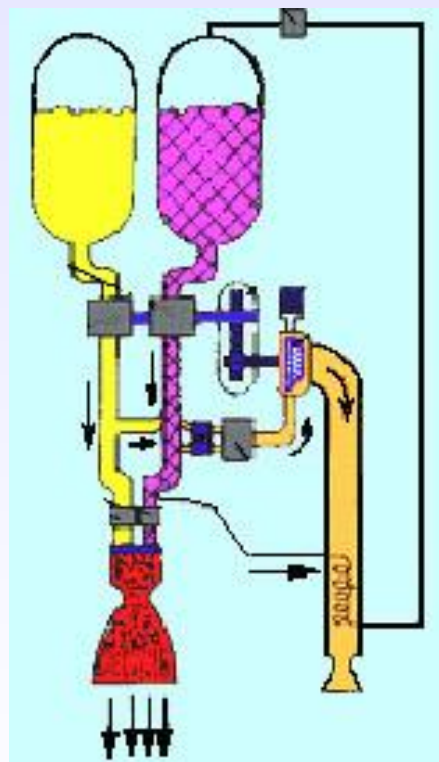
功用：按要求的流量和压力向燃烧室输送推进剂

挤压式输送系统



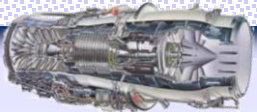
结构简单可靠，易实现多次起动，结构质量较大

泵式输送系统



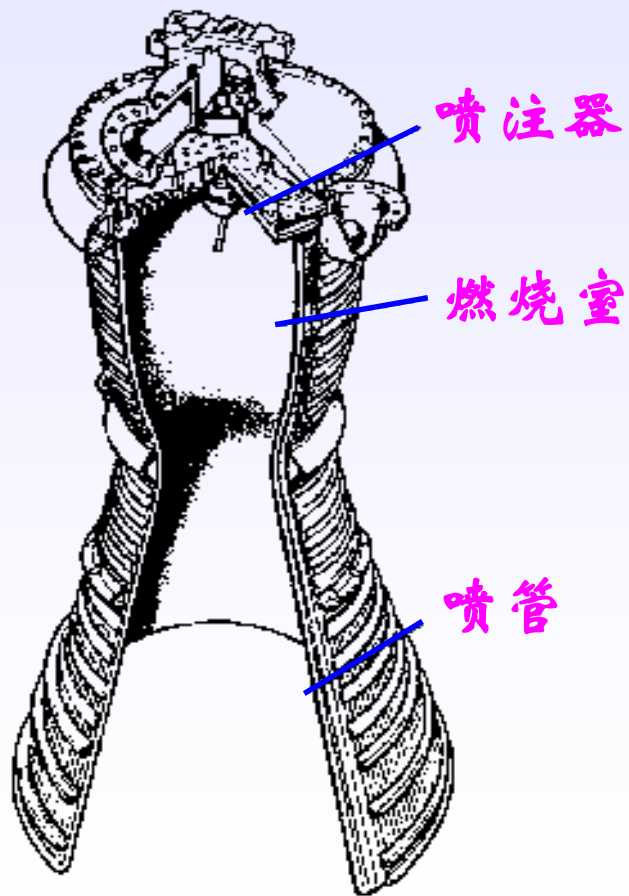
系统结构复杂，但质量轻

火箭发动机

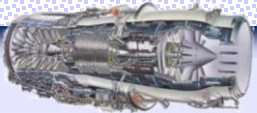


# 推力室

功用：将液体推进剂混合、燃烧，化学能转变成推力



火箭发动机



## (2) 液体推进剂

### ① 对推进剂的要求

能量高

良好的物理和化学安定性

无毒性，对金属无腐蚀作用

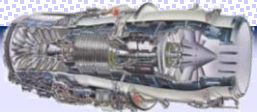
推进剂中有一组元传热性好，可用来冷却推力室壁

粘度小

燃烧性能好

经济性好、成本低





## ② 主要的液体推进剂

### 氧化剂 ——

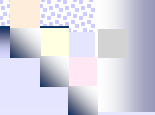
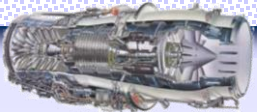
液氧 $\text{O}_2$  液氟 $\text{F}_2$  硝酸 $\text{HNO}_3$

过氧化氢 $\text{H}_2\text{O}_2$  四氧化二氮 $\text{N}_2\text{O}_4$

### 燃烧剂 ——

液氢 $\text{H}_2$  航空煤油 肼及其衍生物 $\text{N}_2\text{H}_4$

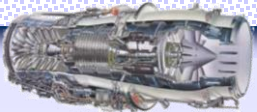
$(\text{CH}_3)_2\text{N}_2\text{H}_2$  混胺



### 3、液体火箭发动机的优缺点

**优点** —— 比冲高，推力范围大，能反复启动  
推力大小较易控制，工作时间长  
固体推进剂性能稳定，可长期贮存

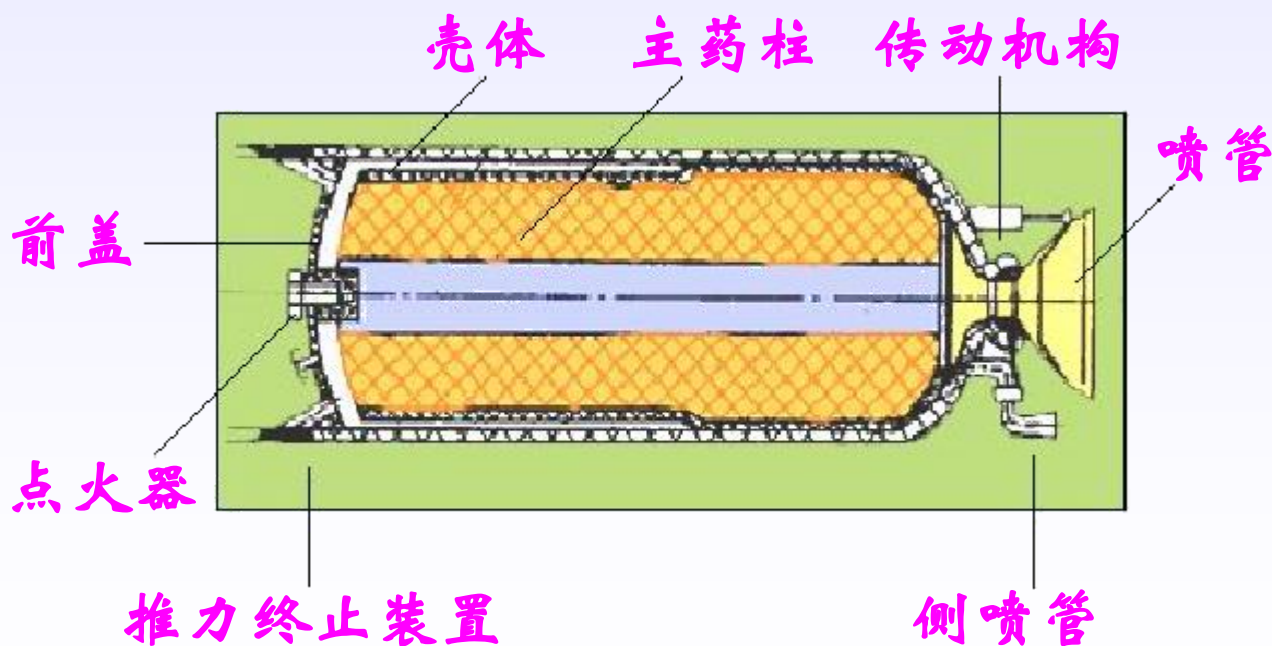
**缺点** —— 推进剂不宜长期贮存，作战使用性能差



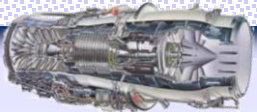
### 3.4.3 固体火箭发动机

#### 1、固体火箭发动机的组成及工作原理

组成——药柱、燃烧室、喷管组件、点火装置

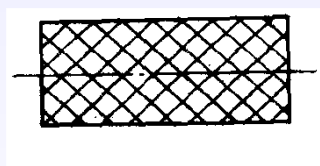


火箭发动机

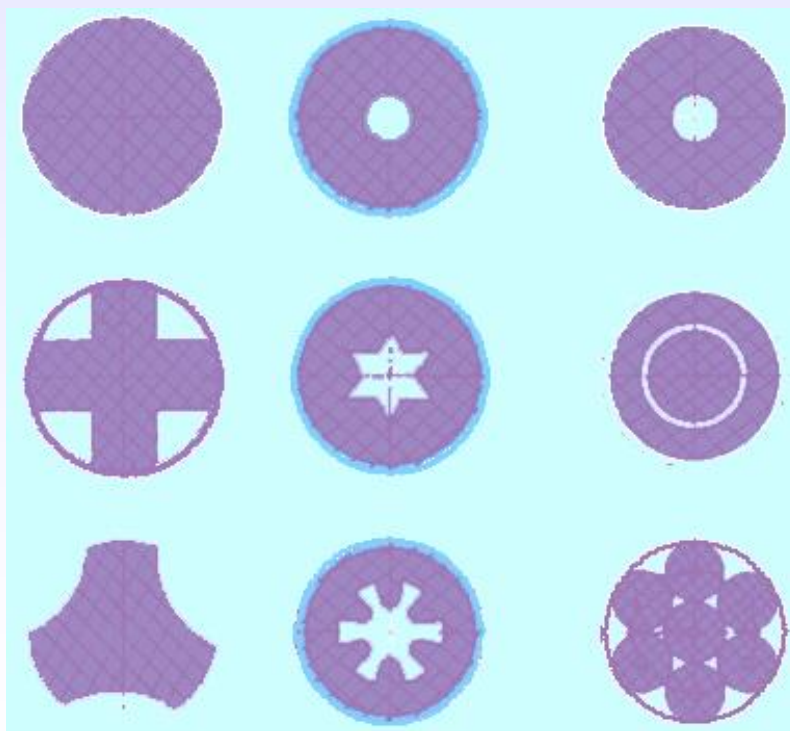


## 2、 固体火箭发动机的推进剂

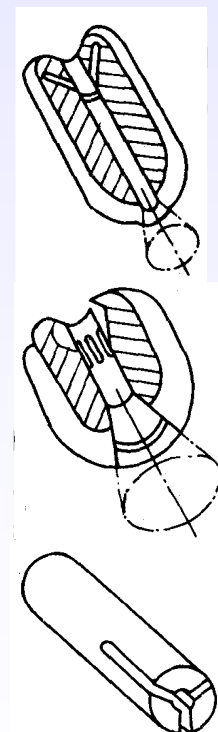
- (1) 固体推进剂的种类
- (2) 药柱形状和特点



一维药柱

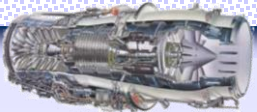


二维药柱



三维药柱

火箭发动机



### (3) 固体火箭发动机的优缺点

**优点** —— 结构简单，可靠性高  
操作简便

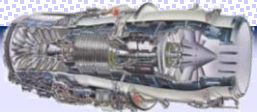
固体推进剂性能稳定，可长期贮存

**缺点** —— 推进剂能量比液体推进剂低，比冲较小  
工作时间短，燃烧室压力和工作时间对  
装药初始温度较敏感

推力大小、方向调节困难

重复起动困难，一般只能一次性工作

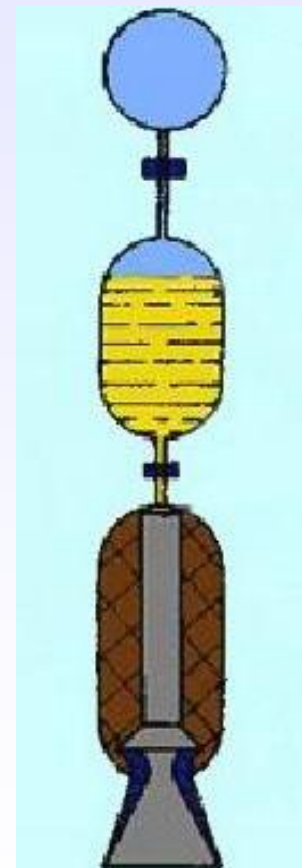




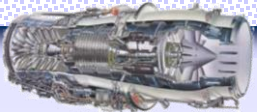
## 3.4.4 固-液混合火箭发动机

- 1、固-液混合发动机的组成和工作原理
- 2、固-液混合发动机的特点

- ★ 混合推进剂性能较好；
- ★ 结构较简单
- ★ 推力调节、重复起动方便

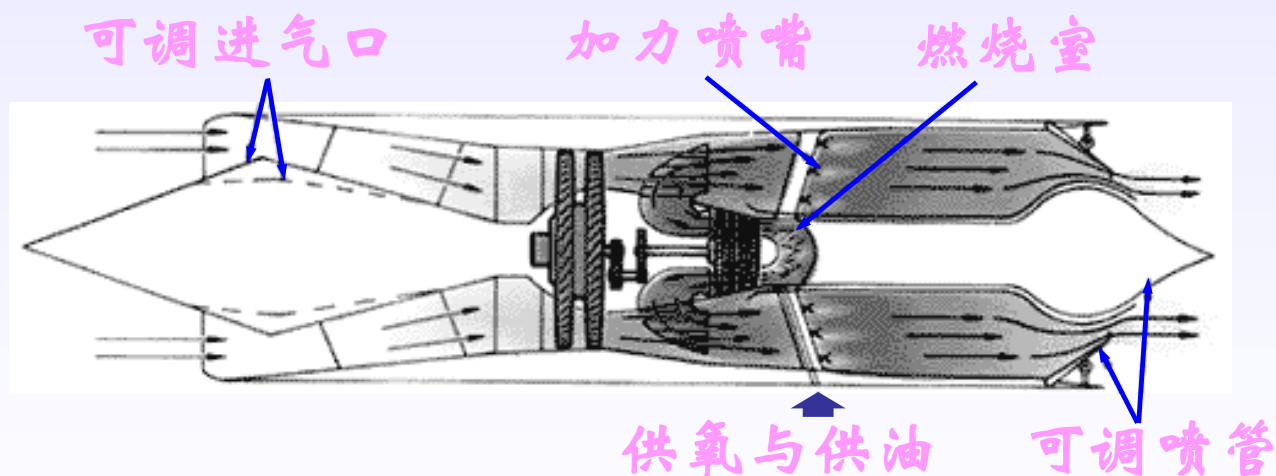


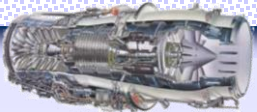
火箭发动机



## 3.5 组合发动机

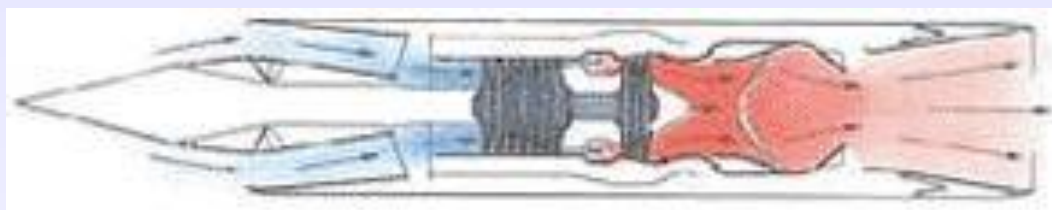
### 3.5.1 火箭发动机与冲压发动机组合



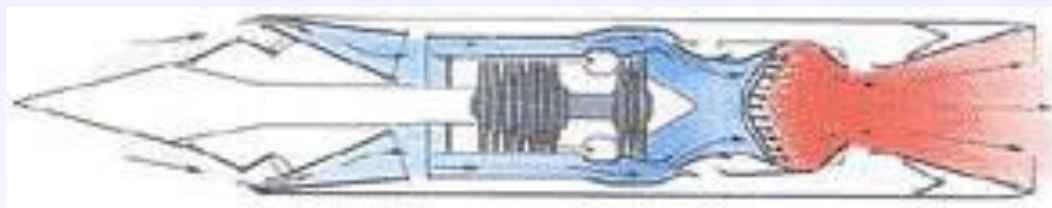


## 3.5.2 涡轮喷气发动机与冲压发动机组合

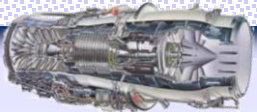
低马赫数



高马赫数



## 3.5.3 火箭发动机与涡轮喷气发动机组合

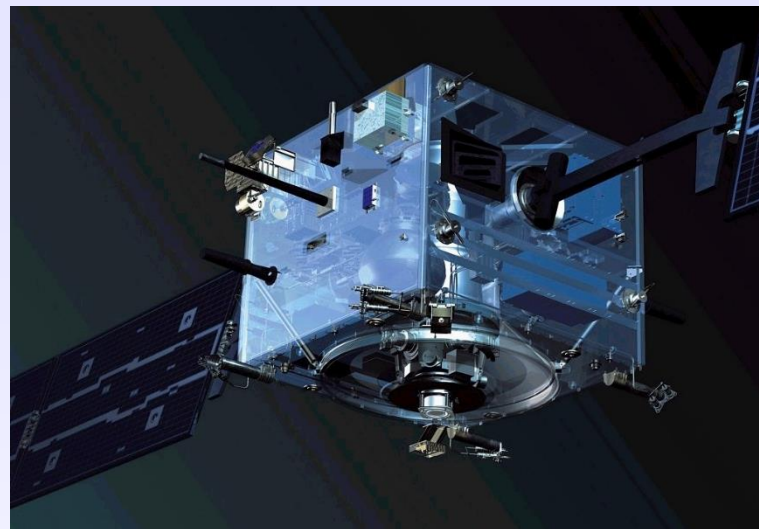
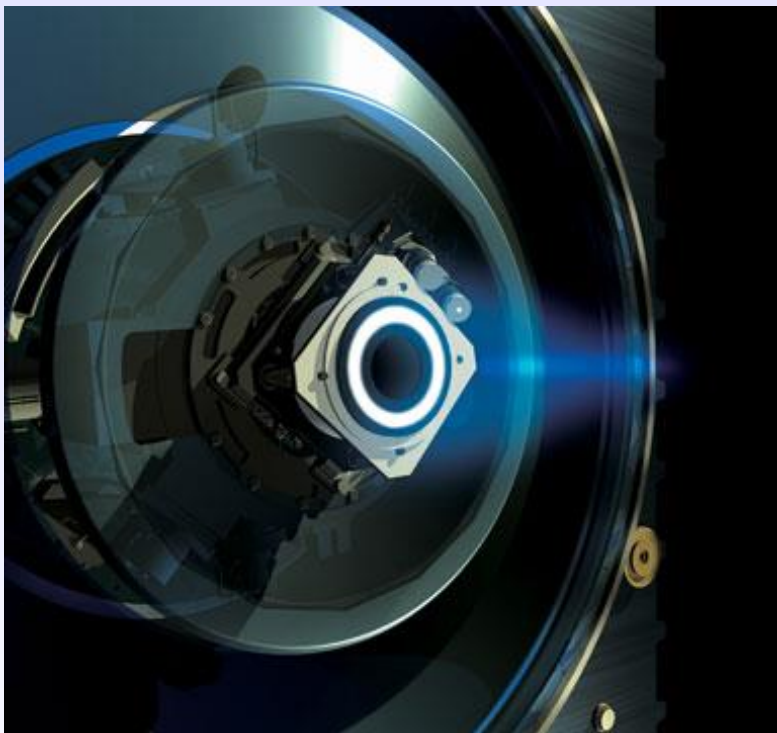
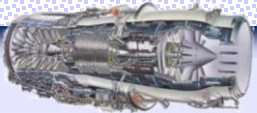


## 3.6 非常规推进系统

电推进系统

核推进系统

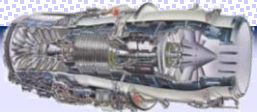
太阳能推进系统



## SMART-1探测器及其太阳能离子发动机

将太阳能转化为电能，再通过电能电离惰性气体原子，喷射出高速氙离子流，为探测器提供主要动力





日本国家空间发展局的MUSES-C航天器，使用4台Y-2发动机。Y-2微波离子发动机是针对小行星交会采样飞行任务的需要而研制的一种微波电离式离子发动机。