

航空发动机概论

CH1. 飞行动力

· 飞机的发展历程：（军用）。

双翼机

活塞式发动机·螺旋桨飞机

第一代喷气式

第二代喷气式

第三代 jet

第四代喷气式

我国的飞机发展历程

歼轰战斗机

截击机

J7, J8.

电子干扰机

预警机

运载机

强击机

反潜机

歼5

加油机

高空侦察机

轰炸机

· 民用客机：波音、空客、商飞 支线客机、干线客机

活塞式商业运输机

双发

四发 A380 A340

喷气式

C919, 737

双发 波音777, GE90

小涵道比涡扇

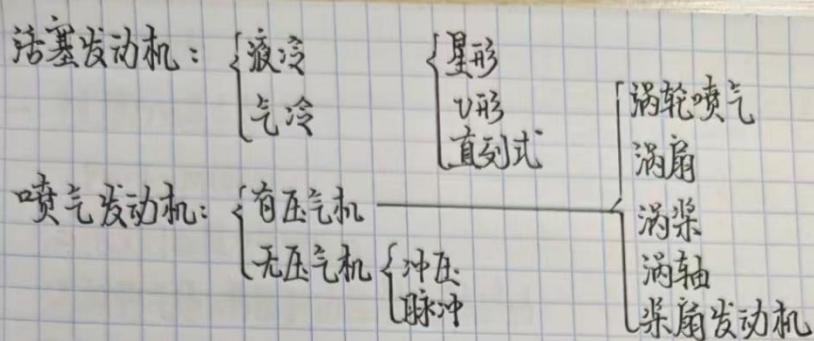
大涵道比涡扇

· 活塞发动机：奥托循环：吸气 \rightarrow 等熵压缩 \rightarrow 等容升温 \rightarrow 膨胀做功

涡扇发动机：布莱顿循环：吸气 \rightarrow 等熵压缩 \rightarrow 等压升温 \rightarrow 膨胀做功

活塞式：不连续，升力 $L = \frac{1}{2} \rho v^2 C_L S$ 中 v 对材料有上限

涡扇式：利用 $F = ma$ 提供升力



· 涡道比：流过外涵与内涵道的空气流量之比

CH₂. 涡喷发动机

一、粗推力的基本原理：

$$P = -F = M(v - v_0)$$

涡轮受到的推力是向后的。

涡轮将气体的动能和势能转化为轴功

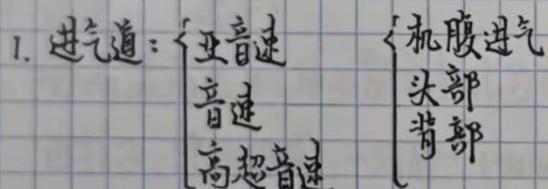
轴功推动压缩空气向前的推力

进气管和尾喷管也提供向前的推力

二、核心部件：

核心机：涡轮、燃烧室、压气机。

辅助资料:



3. 压气机

完成热力循环中的压缩环节

「軸流式：軸向流入軸向流出 →

离心式：~~~~~ 离心流出

· 参数：空气流量、增压比、效率、端振裕度

· 工作原理:

1. 叶片旋转→提高空气的产压力和速度

2. 进过静子整流叶片整流

静子：机匣casing 及其上的静子叶片

转子：多个转盘上的转动叶片

- 结构强度：10000 rpm：叶片承受巨大的离心力。
- 喷振：气流向后流动不顺畅，发生倒流，而又使向后流动顺畅。
使得气流堵塞，来回窜动，产生较大振动。
- 防喷措施：放气活门，可调叶片攻角
- 压气机的能量提取：由齿轮 \rightarrow 发电 \rightarrow 航电系统

3. 燃烧室：

由扩压器、喷油嘴、涡流器、火焰筒。

草管燃烧室

环形~~~~~

环管~~~~~

4. 涡轮：(透平)

将高温高压的气体的能量转化为机械功。

由转子、静子组成，一级静叶(vane)和一级动叶(blade)组成一级涡轮级

冲动式涡轮 偏转气流。

反动式涡轮 偏转气流 + 膨胀。

· 叶片：在高温条件下高速旋转。

冷却：由压气机引出的冷空气由叶片表面的孔流出进行冷却(动叶)

由冷空气抑制背面  (静叶)

材料：单晶叶片、定向结晶

5. 加力燃烧室：燃油二次注入，二次燃烧

· 火焰稳定器 · 喷油嘴

6. 尾喷管.

膨胀加速、排气以产生推力，可实现反推

收敛
收敛-扩散

锯齿
无尖端
无尖端

有反推力
无反推力

二元尖端
三元尖端
直起降
无转向喷管:

↑加力时扩张

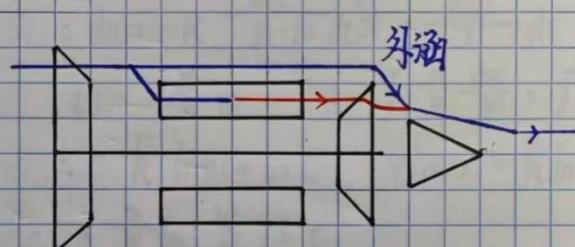
→ 马赫环：排气压力与大气压不匹配，形成多个激波

· 排气噪声：高速气流喷出时与大气碰撞，产生湍流

三、性能参数及涡喷的局限

1. 推力、推重比、油耗比、循环参数。

2. 燃油经济性差、油耗率高。 $\frac{\text{kg}}{\text{daN}\cdot\text{h}}$

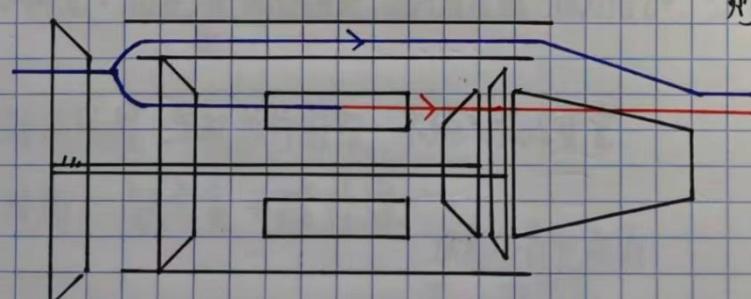


$$F = \Delta(mV)$$

$$\approx m(V_e - V_0)$$

提升质量流量以增大推力

大涵道比，若其他性能一致



$$F \propto m \uparrow, \Delta v \downarrow$$

推力↑. 飞行v↓

风扇。

→ 双转子：两套转子

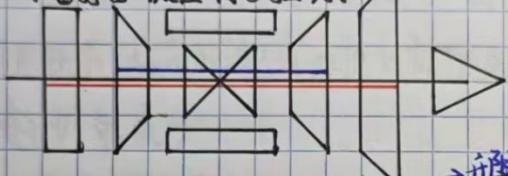
CH5. 涡轮风扇发动机

5.1. 工作原理：

在核心机前加入由轴功推动的风转扇，实现气体压缩，提升动能

三转子：中、高压压气机分别由中、高压涡轮推动。

风扇由低压转子驱动。 ↳ 进动力推源。



升阻比

ex.1. $W_{空} = 16.7 \text{ t}$, $W_0 = 23.9 \text{ t}$ 猛重比 $n = 6$, 速及 $V = 1000 \text{ km/h}$

分别用 0.9 kg/daN.h 和 0.35 kg/daN.h 的发动机，求航程

记总重为 W , 油重为 m : $W = 16.7 + m$, 所需推力: $F_{推} = \frac{Wg}{6}$

$$\therefore dw = -R \frac{\frac{Wg}{6}}{n \cdot 10} dt \xrightarrow{g=10} -\frac{RW}{n} dt$$

$$\dot{w} = -\frac{R}{n} w \quad \therefore \int -\frac{n}{R} \frac{dw}{w} = \int dt$$

$$\therefore -\frac{n}{R} \ln W = t + C, \quad t=0 : -\frac{n}{R} \ln W_0 = C$$

$$\therefore \frac{n}{R} \ln \left(\frac{W_0}{W} \right) = t$$

5.2. 特点：油耗高、高通道比、排气速度低、推力增加、耗气减小、
低

转场航程：单程航行极限，不纳入武器重量

风扇：钛合金 + 碳纤维

风扇由背壳驱动
双转子

5.3. GTTF:

大尺寸风扇：转速降低：高速背壳减速器

CH 6. 涡轮螺旋桨发动机

6.1. 工作原理及原理

· 涡轮带动螺旋桨旋转，由喷气由推力的70%，而主要推力由螺旋桨推动。

· 引擎与活塞式发动机推力源原理相同，但能量密度大

↳ 相同压比下，燃气涡轮发动机的极限压力小

· 优点：喷气少，能耗少。

· 减速器：传统：单轴式：

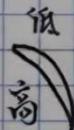
 涡桨：两套轴，双转子系统。

· 离心式压气机总压比大于轴流式，更复杂

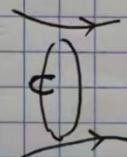
↳ 流道复杂

↳ 多级静子、动子。

· 螺旋桨产生推力：



或



气流被加速推出

· 减速器：传递功率大，传动比大，径向尺寸小

↳ 机内、机外、双桨式

· 工作特点：

飞行高度低，速度慢，结构简单。

T-95 安-22

↳ 一般不能超音速

共轴双桨 $\uparrow \nwarrow$ 空气
 $\downarrow \rightarrow$ 后桨获得的前效滑流

6.2. 发展及应用

1. 应用：运载飞机 伊尔18 运8(涡桨6)

米格5(涡桨5) A560M

2. 发展：A400M(桨扇)

桨扇发动机：A27 An70

油耗低，高亚音速飞行 \rightarrow 清洁能源

CH8. 燃气发生器及核心机

燃气发生器：压气机 + 燃烧室 + 带动压气机的涡轮

核心机：高压转子 + 燃烧室

型号核心机可以衍生出一系列发动机

技术～～为了实现更高目标，技术储备。

发展过程：部件-核心机-验证机-型号

CH9. 航发试验

- 吞水/吞冰：导致气体密度下降。 { 模型试验
- 高空模拟。 { 全尺寸试验
- 地面试验 { 零部件
· 飞行试验 { 燃烧室
 涡轮
 加力燃烧室
 尾喷

1. J9历程，为何没实现
2. 3种进气口的优缺点
3. 未来发动机
4. 可调涵道
5. $M_{ig} \geq 9 \sim 5u^2$ 尾锥 → 错位包封

CH10. 非航改器应用

· 航改燃机 → 改地面燃气轮机
 工业型
 航改型

CH11. 新一代发动机

· 变循环发动机

· 双涵道 · 自适应(三涵道)

· 超高速垂直起降.

· 多(全)电发动机

· 部件创新: 磁悬浮轴承、分布式控制系统、电动燃油泵、电力作动器、

· 大的推重比、功重比

· 绿色发动机 LEAP

· 齿轮传动 GT

· 开式转子

· 多核心机 → 高压部分由多个核心机构成

· 超燃冲压发动机