



第一章

航空燃气涡轮发动机 工作原理

第一章

航空燃气涡轮发动机工作原理

- 第一节 涡轮喷气发动机热力循环
- 第二节 推力公式
- 第三节 性能指标和基本要求
- 第四节 能量转换与效率
- 第五节 发展方向

第二节 推力公式

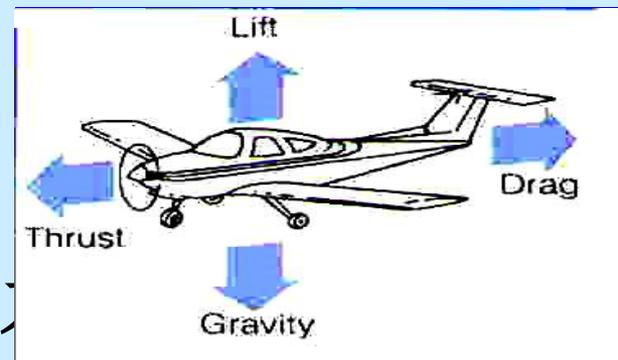
一、有效推力及推力分布

发动机提供的推进飞机向前运动的力，其大小等于流经发动机内、外的气流对发动机各部件表面反作用力的轴向合力，用“ F_{eff} ”表示。

提供推动力的作用：

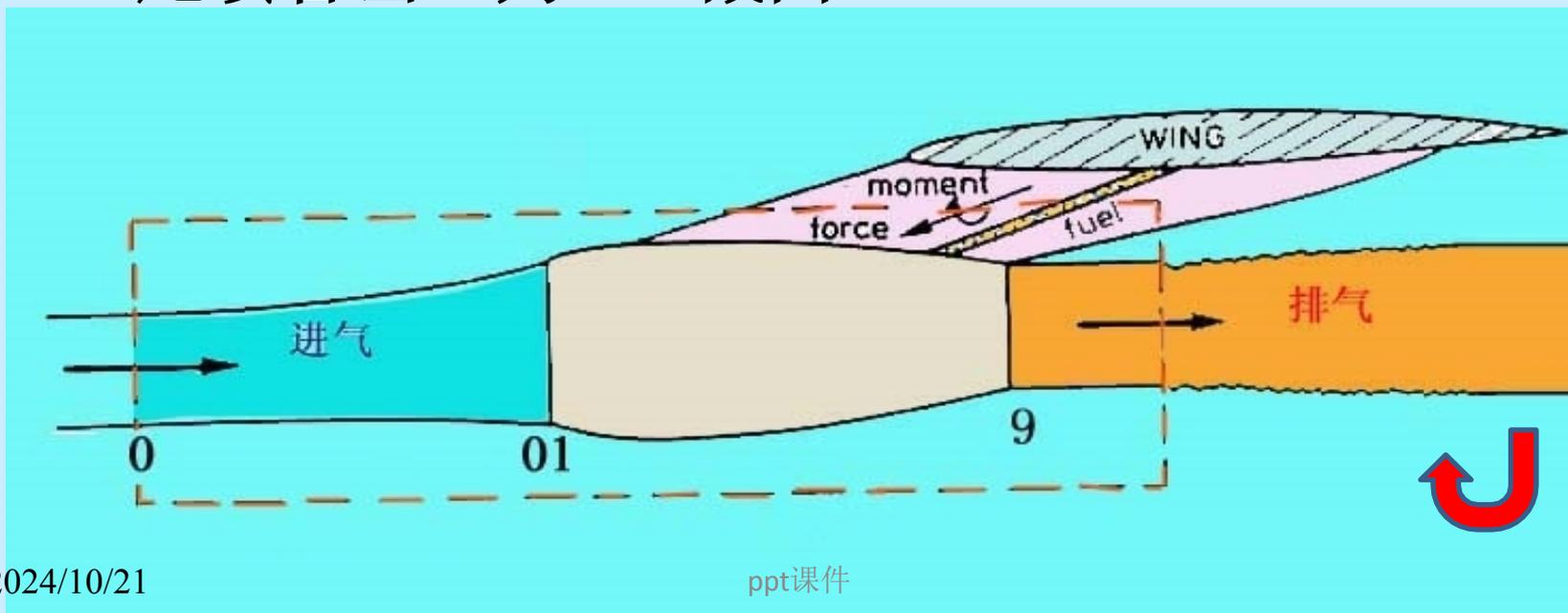
- (1) 克服飞行阻力
- (2) 飞机达到一定速度机翼产生升力
- (3) 矢量推力 → 俯仰（偏航）力矩

推力分布



二、推力公式推导

- 取发动机单独安装于短舱的安装形式
 - 远前方为“0”截面
 - 短舱进口为“01”截面
 - 尾喷管出口为“9”截面

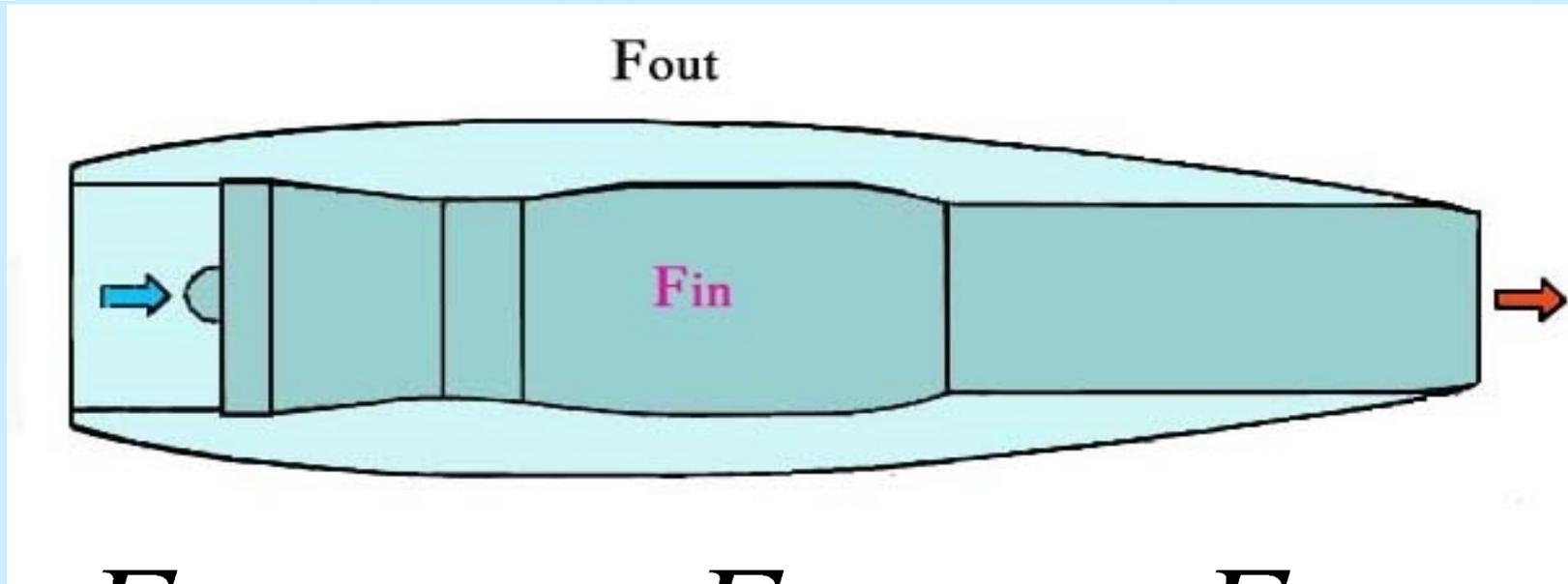


二、推力公式推导

- 气流流经发动机内、外所产生的反作用力：

F_{out} : 气流作用于短舱外表面的轴向合力

F_{in} : 发动机内各部件所受气流反作用力的轴向合力



$$F_{eff} = F_{in} + F_{out}$$

二、推力公式推导

• F_{out}

$$F_{out} = - \int_{01}^9 p dA - X_f$$

- dA — 短舱外表面微元面积在垂直于轴向方向上的投影;
- X_f — 摩擦阻力
- 因与飞行方向相反, 故均为负。

二、推力公式推导

- F_{in}

$$q_{mg}V_9 - q_{ma}V_0 = p_0A_0 + \int_0^{01} pdA + F_{in} - p_9A_9$$

- 动量定理：

控制体进、出口气流动量变化 = 全部轴向力的合力

- 控制体包括：短舱包含的气流和进气道前方一段扩张管流。

二、推力公式推导

- **F_{eff}**

$$F_{eff} = F_{in} + F_{out}$$

$$= q_{mg}V_9 - q_{ma}V_0 - p_0A_0 - \int_0^{01} pdA + p_9A_9 - \int_{01}^9 pdA - X_f$$

$$\int_0^9 p_0 dA = p_0A_9 - p_0A_0 \quad -p_0A_0 = \int_0^9 p_0 dA - p_0A_9$$

二、推力公式推导

- F_{eff}

$$F_{eff} = F_{in} + F_{out}$$

$$= q_{mg}V_9 - q_{ma}V_0 - p_0A_0 - \int_0^{01} pdA + p_9A_9 - \int_{01}^9 pdA - X_f$$

$$= \underline{q_{mg}V_9 - q_{ma}V_0 + (p_9 - p_0)A_9} \quad \text{推力}$$

$$- \underline{\int_0^{01} (p - p_0)dA} - \underline{\int_{01}^9 (p - p_0)dA} - X_f \quad \text{阻力}$$

附加阻力 压差阻力 摩擦阻力

二、推力公式推导

- 推力 $F = q_{mg}V_9 - q_{ma}V_0 + (p_9 - p_0)A_9$

- 附加阻力 $X_a = \int_0^{01} (p - p_0)dA$

- 压差阻力 $X_p = \int_{01}^9 (p - p_0)dA$

- 摩擦阻力 X_f

二、推力公式推导

- F_{eff} 与 F

$$F_{eff} = F - X_a - X_p - X_f$$

- 对于亚音速飞机，由于发动机对气流扰动较小,可以近似认为: $F_{eff} \approx F$
- 对于超音速飞机在超音速飞行时激波的出现, $F_{eff} \neq F$
- 三项损失不容忽视!

二、推力公式推导

- F_{eff} 与 F ↗ 非安装推力

$$\underbrace{F_{eff}}_{\text{安装推力}} = F - \underbrace{X_a - X_p - X_f}_{\text{安装损失}}$$

- 安装位置
- 飞机机体设计必须与发动机工作相匹配，以减小安装损失。

二、推力公式推导

• 推力 $F = q_{mg} V_9 - q_{ma} V_0 + (p_9 - p_0) A_9$

$$p_9 = p_0$$

$$F = q_{mg} V_9 - q_{ma} V_0$$

$$q_{mg} \approx q_{ma}$$

$$F = q_{ma} (V_9 - V_0)$$

发动机推力 = 空气流量 × 进排气速度差

第一章

航空燃气涡轮发动机工作原理

- 第一节 涡轮喷气发动机热力循环
- 第二节 推力公式
- 第三节 性能指标和基本要求
- 第四节 能量转换与效率
- 第五节 发展方向

第三节 性能指标和基本要求

一、性能指标

1、推力

- 单位：N、daN、kgf

$$F = \underbrace{q_{mg}V_9}_{F_m} - \underbrace{q_{ma}V_0}_{F_p} + (p_9 - p_0)A_9$$

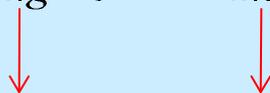
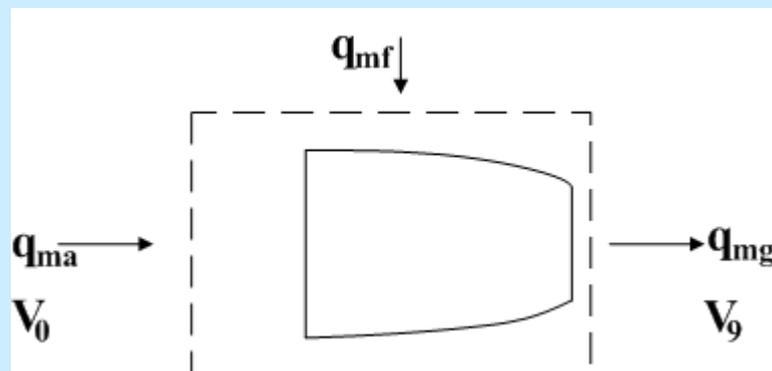
一、性能指标

1、推力（动量变化）

- 空气: $F_a = q_{ma}(V_9 - V_0)$

- 燃油: $F_f = q_{mf}(V_9 - 0)$

$$F_m = F_a + F_f = q_{mg}V_9 - q_{ma}V_0$$



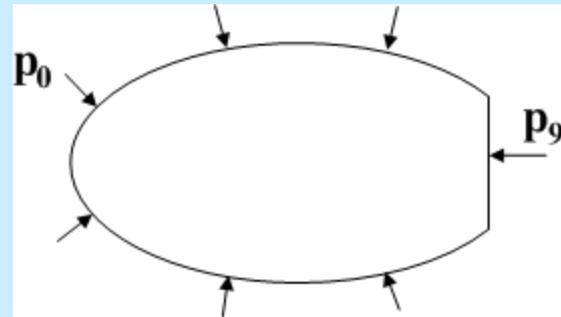
$q_{ma} + q_{mf}$ 排出燃气流量 排出进口空气流量

- 大涵道比（民用）涡扇 燃油/空气 几/ %
- 小涵道比（军用）涡扇 燃油/空气 几/ %

一、性能指标

1、推力（压力变化）

$$F_p = p_9 A_9 - p_0 A_9$$



一、性能指标

1、推力

推力：
$$F = q_{mg}V_9 - q_{ma}V_0 + (p_9 - p_0)A_9$$

尾喷管完全膨胀： $p_9 = p_0$

忽略进出口流量差异 $q_{mg} = q_{ma}$

$$F = q_{ma}(v_9 - v_0)$$

一、性能指标

1、推力

如果 $v_0=0$ ，则为地面台架试验 $F = q_{ma} v_9$



F119

$q_{ma}=125\text{kg/s}$

$v_9=1200\text{m/s}$

$F=150000\text{N}$

一、性能指标

- 示例：
- 进行发动机地面台架试车，其中发动机进口流量 100kg/s ，进口速度 120m/s ，排气速度 800m/s ，尾喷管完全膨胀，则发动机产生的推力是多少？

•  68000N

•  **B** 80000N

一、性能指标

1、推力

发动机推力大小仅仅反映飞机的推力需求，不能反映不同推力级发动机之间的性能优劣

例如：

GE90(BY777) $F=392000\text{N}$, $q_{\text{ma}}=1420\text{kg/s}$

$D=3.524\text{m}$

wp-11(无人机) $F=8500\text{N}$, $q_{\text{ma}}=13\text{kg/s}$

$D=0.3\text{m}$

一、性能指标

2、单位推力

单位： $\text{N} \cdot \text{s}/\text{kg}$

$$F_s = \frac{F}{q_{ma}}$$

每秒钟流过发动机的每公斤空气产生的推力。

忽略进出口流量变化，完全膨胀： $F_s = V_9 - V_0$

又进行地面台架试验： $F_s = V_9$



一、性能指标

2、单位推力

大涵道比民用涡扇：300

高性能小涵道比军用涡扇：700-1200

单位推力越大，迎头面积越小。

一、性能指标

3、推重比

$$F_w = F / W$$

- 无量纲量
- 综合性指标：

反映气动热力循环的设计水平（如高单位推力），反映结构设计水平。

- 统计： W 增加1kg导致飞机重量增加2.5kg。

一、性能指标

3、推重比

- **J47** **3**
- **F100** **8**
- **F119** **10**
- 飞机推重比将直接影响飞机性能（最大平飞速度、升限、有效载荷和机动性、作战半径等）
- 先进战斗机推重比→**1.1~1.15**

一、性能指标

4、单位迎面推力

$$F_A = F / A$$

- 单位：N/m²
- 发动机短舱安装，其迎面面积的大小，决定了发动机外部阻力大小。
- 涡喷发动机 F_A 约为80-100kN/m²

一、性能指标

5、耗油率

$$sfc = \frac{3600 q_{mf}}{F} = \frac{3600 f}{F_s}$$

油气比

$$f = \frac{q_{mf}}{q_{ma}}$$

- 单位：**kg/h · N或kg/h · daN**
- 产生1牛顿推力每1小时消耗的燃油量
- 经济性指标

一、性能指标

- 示例：
- F119发动机
- $q_{mf} = 7.2\text{kg/s}$ （每小时耗油25920kg）
- 推力 $\approx 150000\text{N}$
- 耗油率： $0.173\text{ kg/h} \cdot \text{N}$

一、性能指标

- 小结

- 1、推力 F

- 2、单位推力 F_s

- 3、推重比 F_w

- 4、单位迎面推力 F_A

- 5、耗油率 sfc

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/206224151052010110>