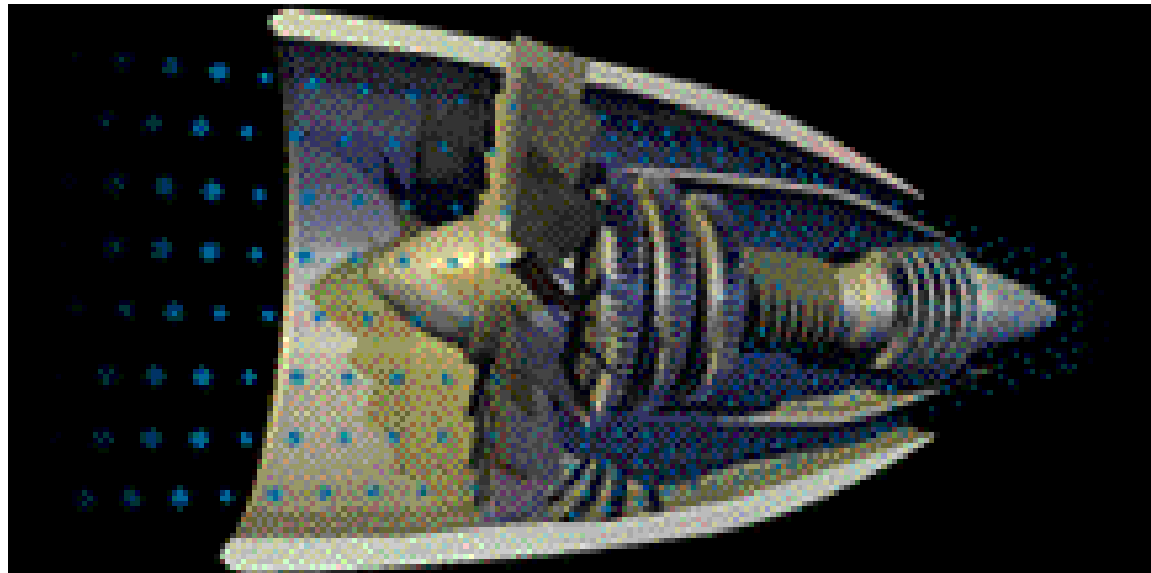


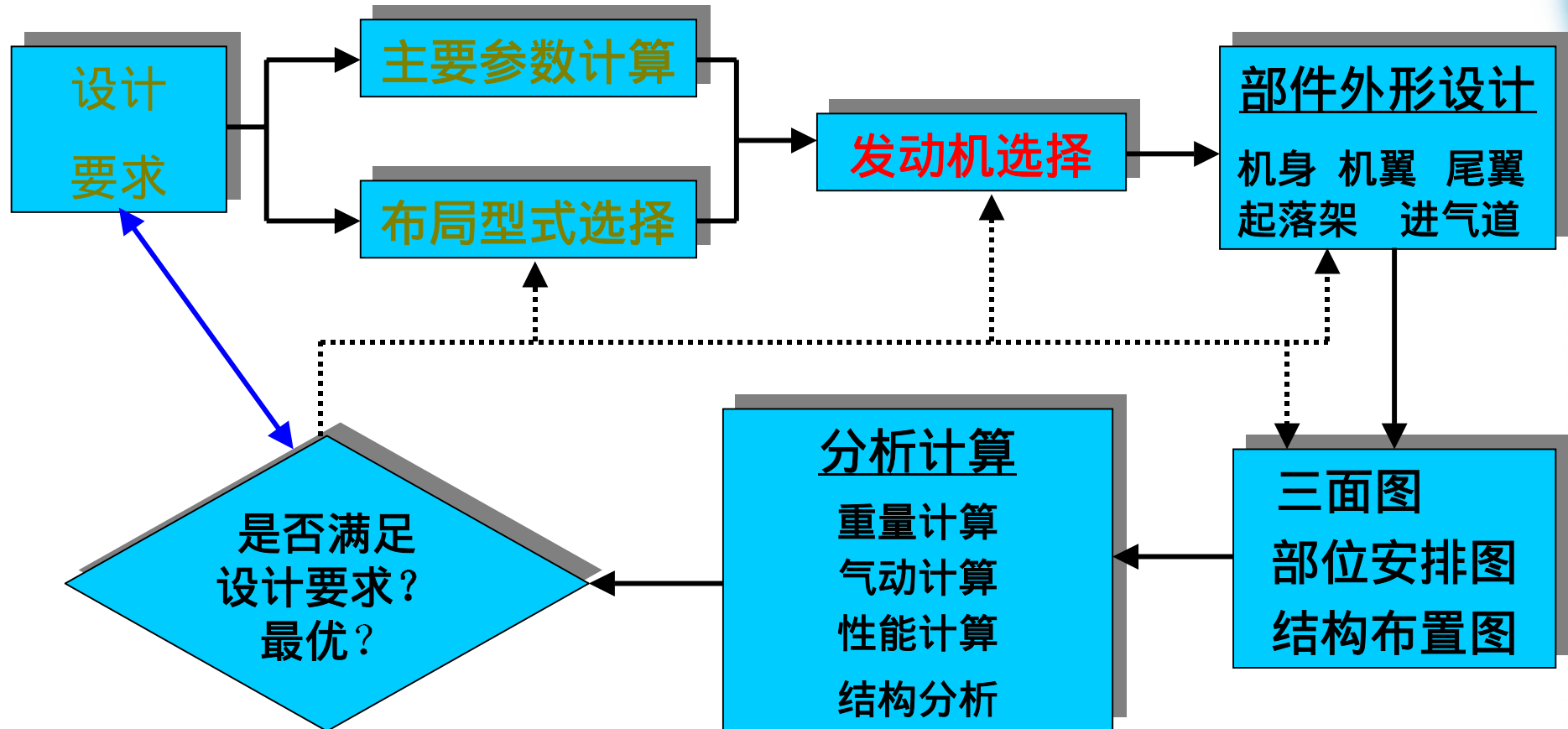


发动机的选择





飞机总体设计框架





内容提要

- 对发动机的要求
 - 航空发动机的种类
 - 发动机外部特性
 - 发动机类型的选择
 - 发动机选择的步骤
 - 举例
- } 复习



对发动机的要求

- 良好的推力（或功率）速度特性和高度特性
- 耗油率低
- 重量轻
- 发动机外廓几何尺寸小
- 安全可靠，故障率低
- 工作寿命长
- 使用维护方便
- 其他要求（价格、环境保护要求）



发动机的主要相对参数

- 推重比（或功率重量比）

发动机的推力与其自身重量的比值，即表示发动机单位自重所能产生推力的大小。

对于活塞式发动机，则是其单位自重所能提供的功率。

- 单位迎面推力

发动机的推力与其最大迎风面积之比，代表发动机每单位迎风面积所产生推力的大小。



航空发动机的种类

- 活塞式螺旋桨 **Piston / Propeller**
- 涡轮喷气 **Turbo Jet**
- 涡轮螺旋桨 **Turbo / Propeller**
- 涡轮风扇 **Turbofan**
- 冲压 **Ramjet**
- 火箭 **Rocket**



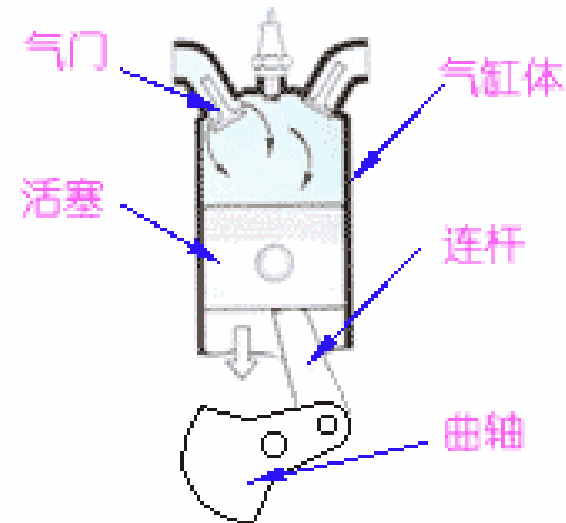
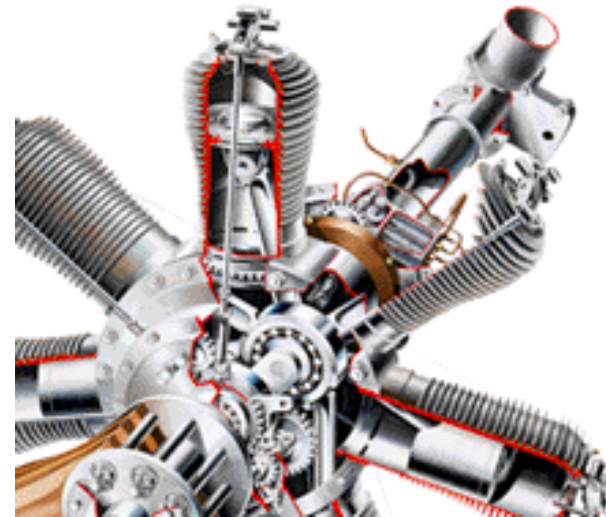
活塞式螺旋桨

特点:

- 优点是价格比较便宜, 耗油率低。
- 缺点是使用寿命较低
- 只能用于亚声速飞机

应用:

- 轻型飞机 AC-5
- 超轻型飞机 AD-100



活塞发动机结构

涡轮喷气

特点:

- 优点

- 结构紧凑
- 推力大

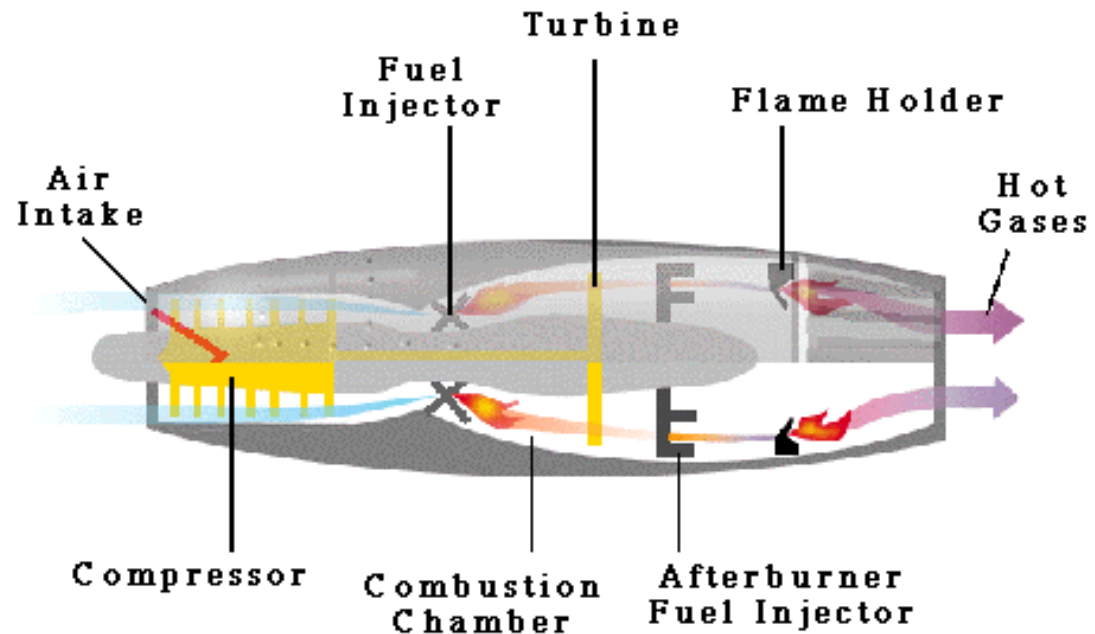
- 缺点

- 耗油率高

应用:

- 战斗机
- 教练机

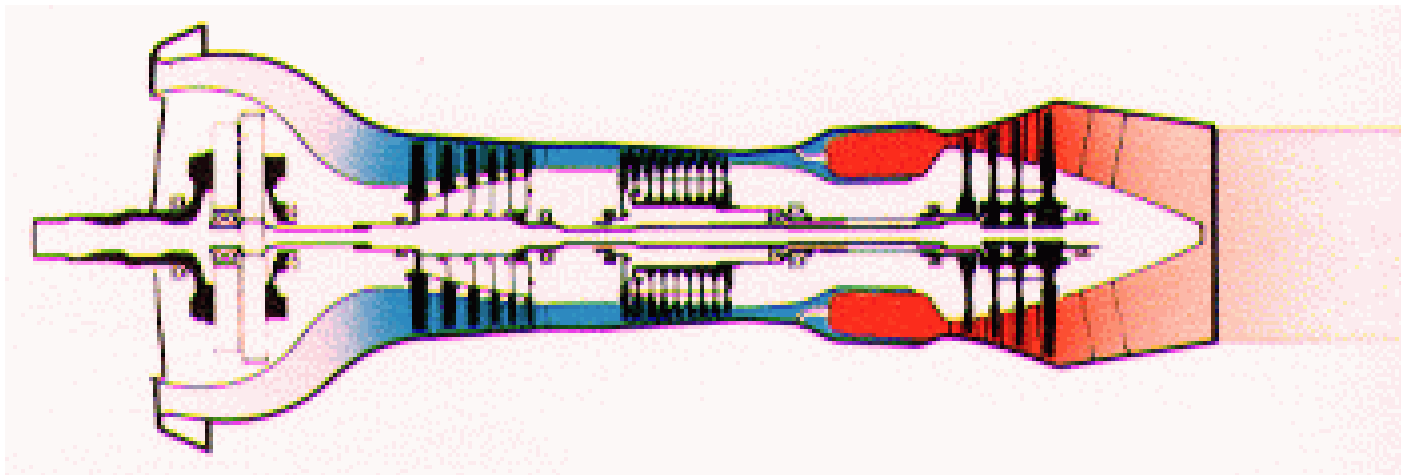
产生推力原理: $T = m_{\text{空气}}(v_{\text{喷}} - v)$





涡轮螺旋桨

产生推力原理：燃气涡轮发动机喷气产生的推力很小，主要是靠螺旋桨产生拉力。





优点:

- 耗油率与活塞式发动机相近，功率、耗油率的速度特性和高度特性优于活塞式发动机；
- 功率重量比较大；
- 单位迎风面积的功率值较大；
- 故障率低，使用寿命长。

缺点:

- 受到螺旋桨效率的限制，只适用于亚声速飞机

应用:

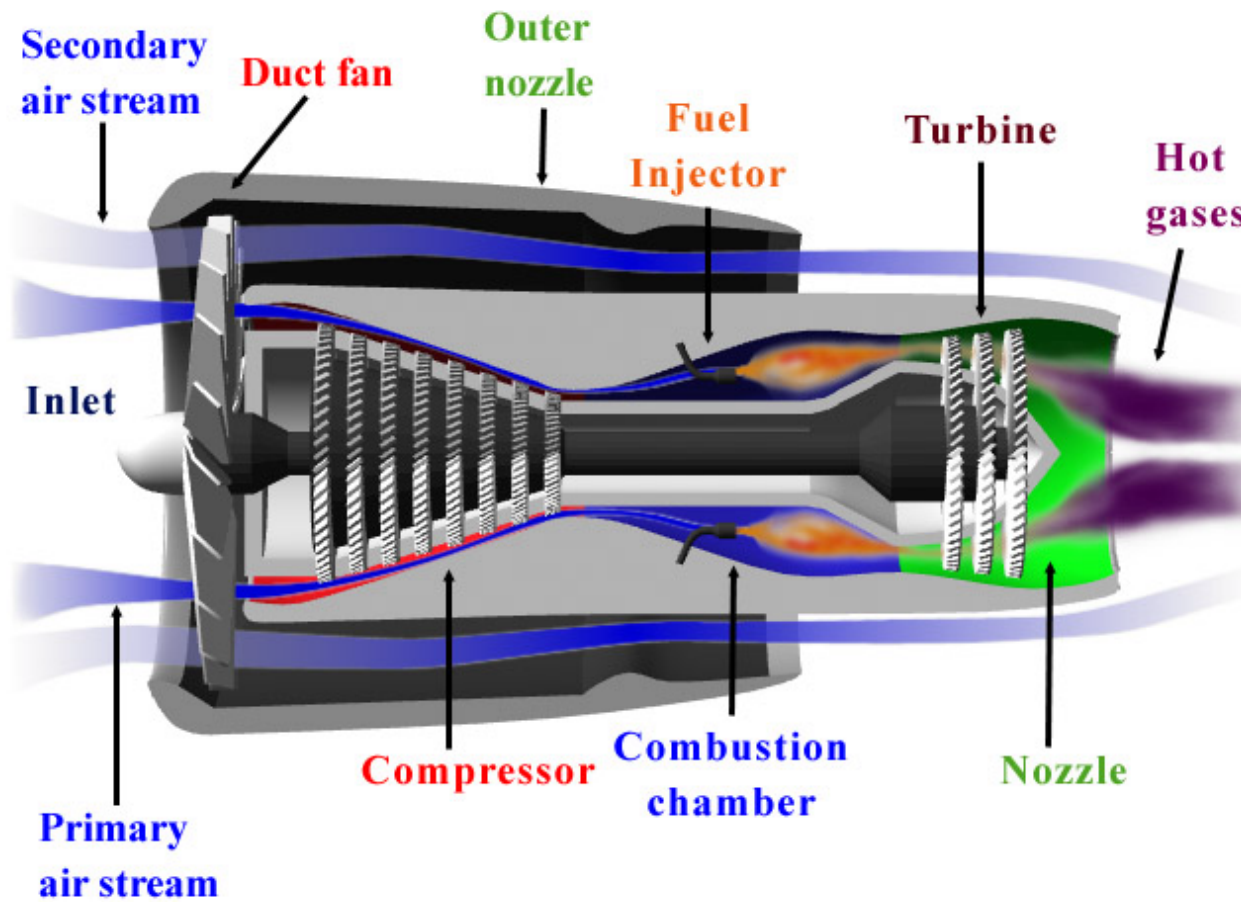
民用飞机 Y-7

军用运输机 Y-8



涡轮风扇

产生推力原理: $P = m_{\text{空气}}(v_{\text{喷}} - v)$



涡轮风扇

优点:

- 亚音速时不加力的耗油率较低;
- 加力比较大。

缺点:

- 迎风面积较大;
- 结构较复杂。

应用:

- 各种不同类型飞机





冲压发动机

工作原理:

优点:

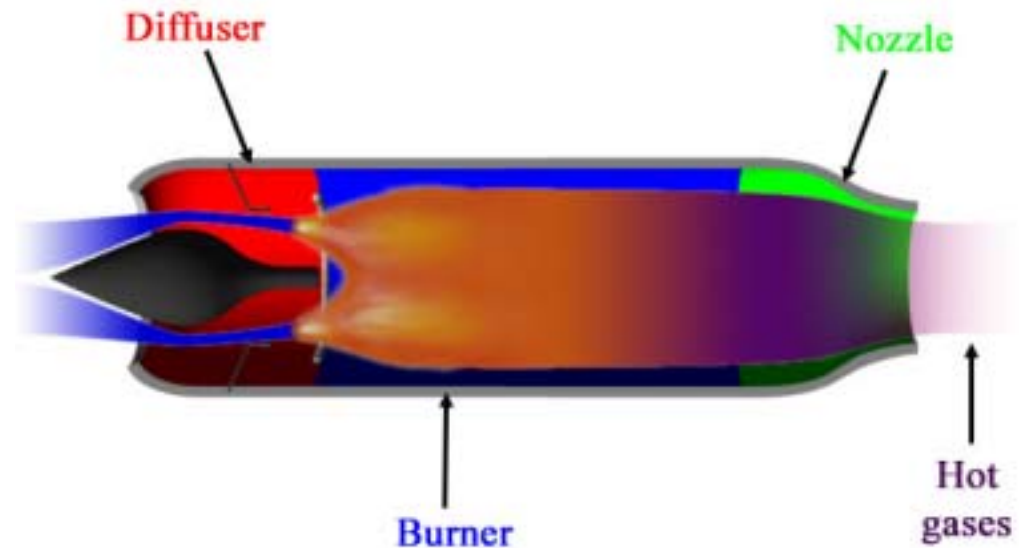
- 结构简单、重量轻;

缺点:

- 低速时不能启动,故不能单独使用

应用:

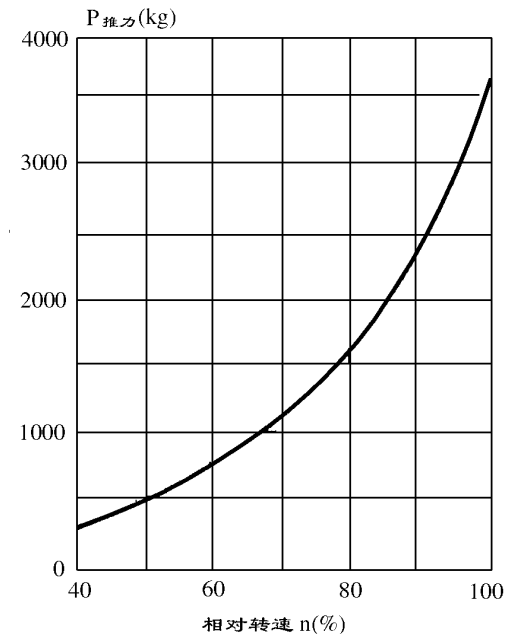
- 无人飞机





发动机外部特性

- 推力（功率）特性
 - 转速特性：
 - 1) 加力工作状态
 - 2) 最大工作状态
 - 3) 额定工作状态
 - 4) 巡航工作状态
 - 5) 慢车工作状态



- 推力的速度特性: $T(P) - V$
- 推力的高度特性: $T(P) - H$



发动机外部特性（续）

- 耗油率特性
 - 速度特性: C_p (C_J) - V
 - 高度特性: C_p (C_J) - H
 - 转速特性: C_p (C_J) - n



1. 活塞式螺旋桨发动机外部特性

- 功率特性:

- 速度特性 $P_V = P_{V=0}$

- 高度特性: $P_H = P_{H=0} \quad (H < H^*)$

$$P_H = P_{H=0} \left(\frac{\Delta}{\Delta^*} \right)^{1.25} \quad (H > H^*)$$

- 耗油率特性

- 速度特性: $C_{e,V} = C_{e,V=0} (1 + 8M^2)$

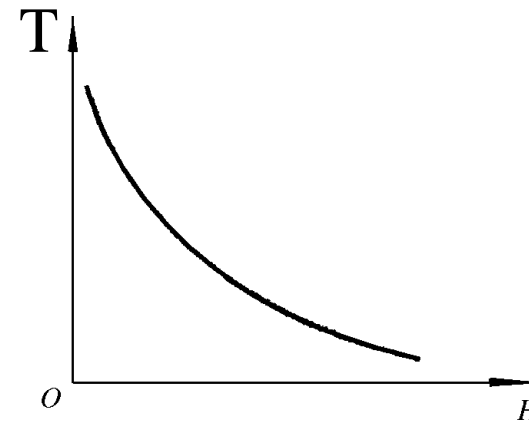
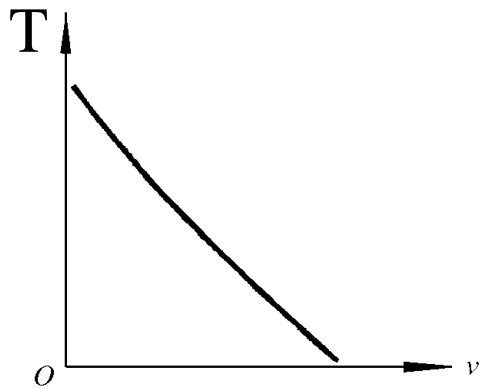
- 高度特性: $C_{e,H} = C_{e,H=0}$



- 螺旋桨拉力

- 速度特性: $T_V = T_{V=0} (1-M)$

- 高度特性: $T_H = T_{H=0} \cdot \Delta$





2. 涡轮喷气发动机外部特性

- 速度特性:

$$\begin{aligned}T_V &= T_{V=0} (1 - 0.32M + 0.40M^2 - 0.01M^3) \\ &= T_{V=0} \xi\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_{e,V} &= C_{e,V=0} (1 + 0.38M - 0.05M^2) \\ &= C_{e,V=0} \psi\end{aligned}$$



- 高度特性:

$$T_H = T_{H=0} \cdot \Delta^{0.85} \quad (H < 11000 \text{ m})$$

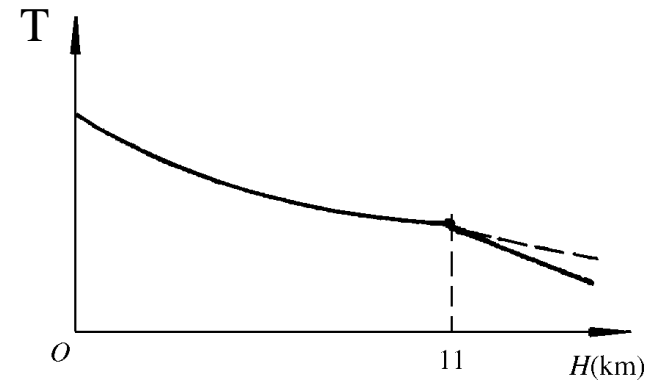
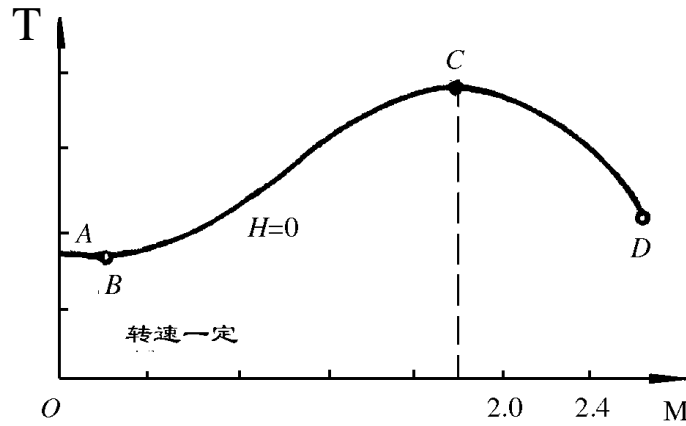
$$T_H = T_{H=0} \cdot 1.2\Delta \quad (H > 11000 \text{ m})$$

$$C_{e,H} = C_{e,H=0} \cdot \Delta^{0.12} \quad (H < 11000 \text{ m})$$

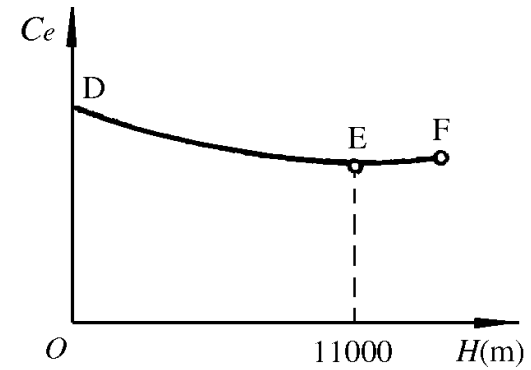
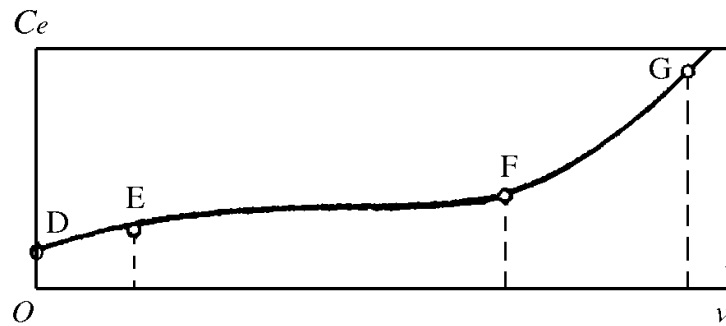
$$C_{e,H} = C_{e,H=0} \cdot 0.863 \quad (H > 11000 \text{ m})$$



推力特性



耗油率特性





3. 涡轮螺旋桨喷气发动机外部特性

- 速度特性:

$$T_V = T_{V=0} \cdot \xi \cdot \eta_v$$

$$C_{e,v} = C_{e,v=0}(1 + 0.38M - 0.05M^2)$$

- 高度特性:

$$T_H = T_{H=0} \cdot \Delta^{0.85} \cdot \eta_H \quad (H < 11000 \text{ m})$$

$$T_H = T_{H=0} \cdot 1.2\Delta \cdot \eta_H \quad (H > 11000 \text{ m})$$

$$C_{e,H} = C_{e,H=0} \cdot \Delta^{0.12} \quad (H < 11000 \text{ m})$$

$$C_{e,H} = C_{e,H=0} \cdot 0.863 \quad (H > 11000 \text{ m})$$

其中: $\eta_v = 3.2M(1-M) \quad (M < 1)$

$$\eta_v = 0 \quad (M > 1)$$

$$\eta_H = \Delta^{0.47}$$



4. 涡轮风扇发动机外部特性

- 速度特性:

$$T_V = T_{V=0} \cdot \xi \cdot (1-0.16M)^\gamma$$

$$C_{e,V} = C_{e,V=0} \cdot \psi \cdot (1+0.072M)^\gamma$$

- 高度特性:

$$T_H = T_{H=0} \cdot \Delta^{0.85} \quad (H < 11000 \text{ m})$$

$$T_H = T_{H=0} \cdot 1.2 \Delta \quad (H > 11000 \text{ m})$$

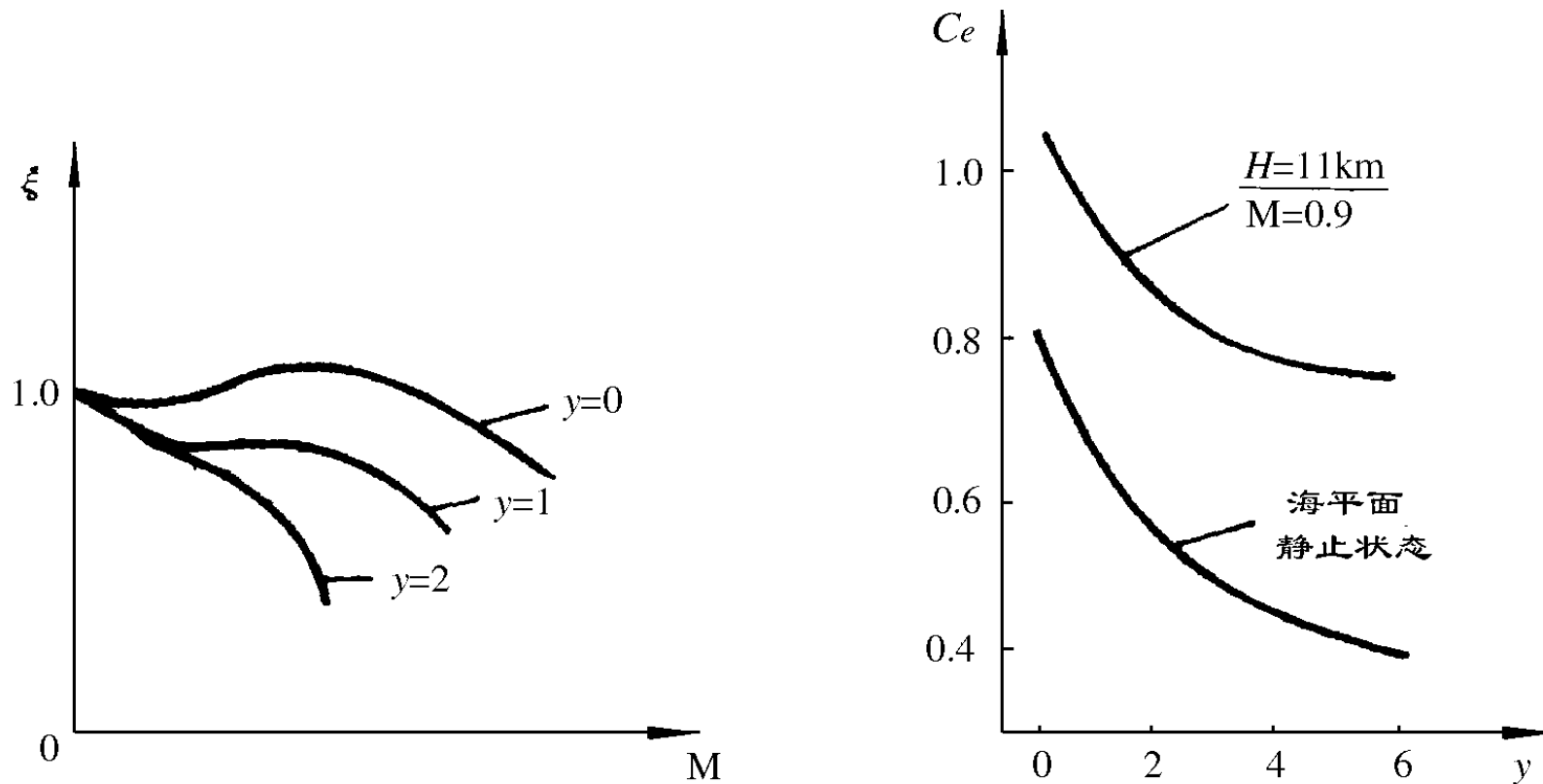
$$C_{e,H} = C_{e,H=0} \cdot \Delta^{0.12} \quad (H < 11000 \text{ m})$$

$$C_{e,H} = C_{e,h=0} \cdot 0.863 \quad (H > 11000 \text{ m})$$

其中: γ 为函道比



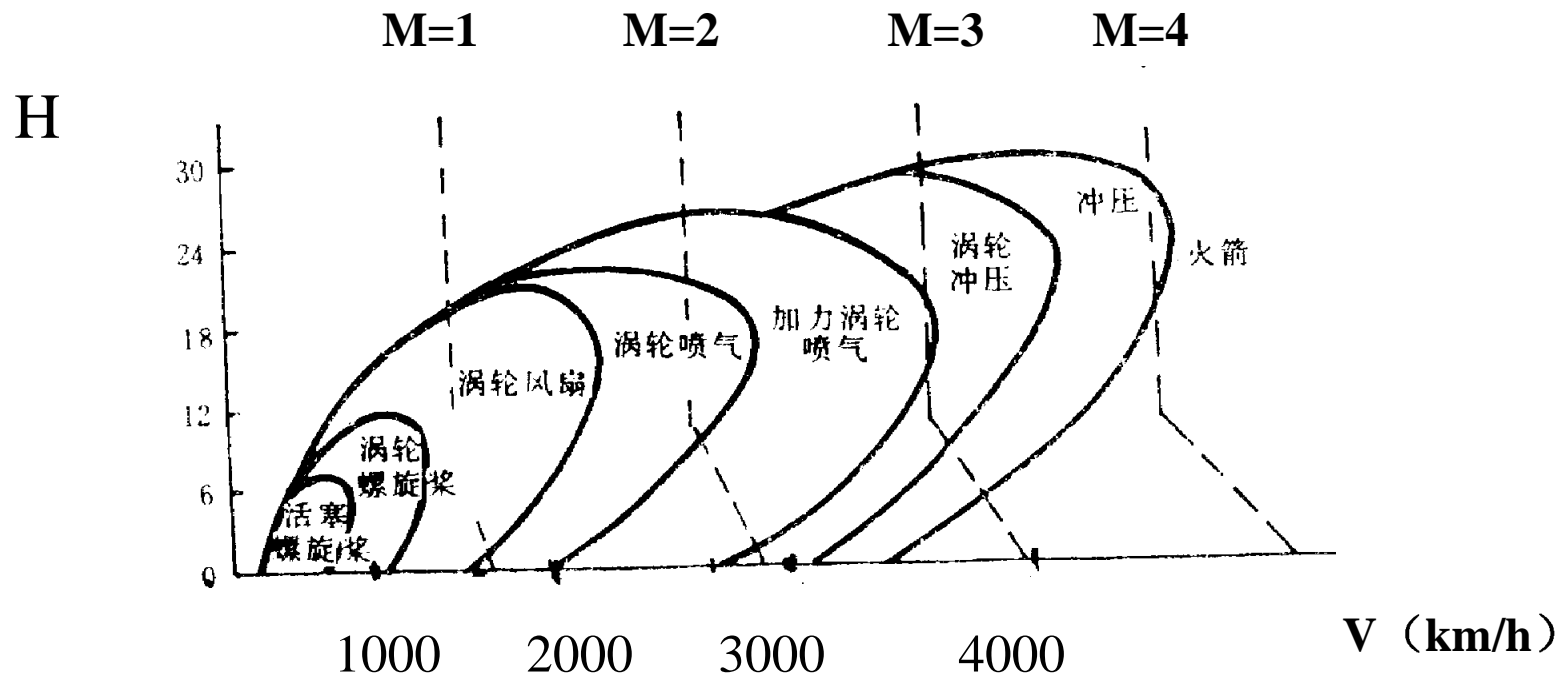
涡轮风扇发动机推力及耗油率与涵道比的关系曲线





发动机类型的选择

根据飞行高度和速度





发动机类型的选择（续）

- 活塞式发动机与涡轮螺旋桨发动机
 - 共同点：低速特性良好和耗油率低
 - 何时选用活塞式发动机：
 - * 轻小型飞机（农业飞机、体育运动飞机）；
 - * 对飞行速度和飞行高度要求不高的飞机；
 - * 强调轻便灵活、操纵使用方便。
 - 何时选用涡轮螺旋桨发动机
 - * 需用功率较大、速度高度要求稍高的民用飞机；
 - * 飞行M数大于0.5。



发动机类型的选择（续）

- 涡轮螺旋桨与高涵道比涡轮风扇发动机
 - 共同点：
 - * 耗油率较低
 - * 可用于强调使用经济性的中、大型旅客机和运输机
 - 何时选用涡轮螺旋桨发动机
 - * 当飞行速度较小时：M数小于0.75
 - 何时选用高涵道比涡轮风扇发动机
 - * 当飞行速度较大时：M数0.7~0.85



发动机类型的选择（续）

- 涡轮喷气与涡轮风扇发动机
 - 共同点：
 - * 适用于超音速飞机
 - 涡轮风扇发动机的特点：
 - * 涡轮风扇发动机在巡航状态下耗油率较低
 - * 加力状态时耗油率较高，但加力比也比涡轮喷气发动机大得多
 - * 迎风面积较大
 - * 许多亚音速巡航的超音速军用飞机（歼击机和轰炸机）多选用小涵道比的加力式涡轮风扇发动机



发动机选择的步骤

1. 回顾设计要求，确定最大飞行高度 H_{\max} 和速度 V_{\max}
2. 将 H_{\max} 和 V_{\max} 与发动机类型的适用范围作比较，确定发动机类型。
3. 确定所需推力 T 或功率 P （基本参数）
4. 选定发动机型号：
 - ◆ 单台发动机推力： $T = T_{TO} / N$
 - ◆ 查发动机手册或Jane's年鉴



5. 如果采用螺旋桨，需确定：

- ◆ 是推进式（重心之前），还是拉力式（重心之后）
- ◆ 螺旋桨浆叶数目 n_p （参考统计数据）
- ◆ 选择浆叶的功率系数 P_{bl} （参考统计数据）
- ◆ 确定浆叶的直径：

$$D_p = \{ 4 P_{\max} / n_p P_{bl} \}^{1/2} \quad (\text{ft})$$

机型	n_p	$P_{bl}(\text{hp}/\text{ft}^2)$	$D_p(\text{ft})$
单发	2 - 3	2.3 - 3.9	6 - 8.
双发	2 - 3	2.8 - 4.8	6.2 - 7.8

6. 确定安装位置：机身上？ 机翼上？ 尾部？

7. 获取发动机有关外形尺寸和重量数据： D_{\max} ， L ， $W_{\text{发动机}}$

8. 画出安装在飞机的发动机外形轮廓草图



举例一：AD600

- 确定 $H_{\max}=10,000$ (ft) , $V_{\max}=463$ (km/h)
- 确定发动机类型: 活塞式螺旋桨
- 所需功率 $P = 898$ hp
- 选定发动机型号:
 - * 单台发动机功率: $P = 898 / 2 = 449$ (hp)
 - * 查发动机手册或Jane's年鉴, 候选者为:
 - A. AVCO-Lycoming TIGO-541-E1A**
 $P_{\max} = 425$ hp (0-15000 ft); 重量700磅
 - B. Teledyne-Continental GtSIO-520-F**
 $P_{\max} = 435$ hp (0 -11000 ft); 重量502磅

选择B



- 采用推进式，螺旋桨浆叶数目 $n_p=3$ ，浆叶的功率系数选择为 $P_{bl}=3.0$ ，确定浆叶的直径：

$$D_P = \{ 4 P_{\max} / n_P P_{bl} \}^{1/2} = 7.8(\text{ft})$$

- 确定安装位置：机翼上
- 获取发动机有关外形尺寸： D_{\max} ， L
- 发动机外形轮廓草图



举例二： A-6

- 确定 $H_{\max}=40,000$ (ft) , $V_{\max}=883$ (km/h)
- 确定发动机类型: 涡轮风扇
- 所需推力 $T = 29,260$ (lbs)
- 选定发动机型号:
单台发动机功率: $T = 29260 / 2 = 4835$ (lbs)
查发动机手册或Jane's年鉴, 候选者为:
 - A. Pratt and Whitney JT3D(TF33)
 $T_{\max} = 18,000$ (lbs); 重量4340磅
 - B. Pratt and Whitney JTF22(F100)
 $T_{\max} = 14,670$ (lbs); 重量3033磅
 - C. General Electric F404
 $T_{\max} = 16,000$ (lbs)--加力; 重量2000磅



选择**C**， 因为重量轻

- 确定安装位置：机身上
- 外形尺寸： D_{\max} ， L， 外形轮廓草图



一些小型涡轮喷气发动机数据

Engine	Thrust [lb]	SFC	D	Length	Weight, lb	Application
Allied Signal						//www.alliedsignal.com/
F109-GA-100	1330	0.39	31"	44"	439	Squalus, Phoenix FanJet
TFE731	3500-5000	0.51-.40	40"	50"	734-988	Cessna/Falcon/Lear/Astra
ATF3	5400	0.50	34"	103"	1120	Falcon, HU25
CFE 738	6000	0.37	48"	99"	1325	With GE. Falcon 2000
F124	6300	0.81	36"	70"	1100	Aero Vodochody L-139
ALF502/507	6700-7800	0.43-0.41	50"	65"	1350	Ch 600, Bae-146, AvroRJ



一些小型涡轮喷气发动机数据

Allison						http://www.allison.com/
AE3007	7200	0.39	43"	106"	1580	Citation-X, Global-Hawk
General Electric						
CF700	4500	0.65	37"	54"	767	Falcon, Sabreliner
CF/TF-34	9200	0.35	49"	103"	1670	Challenger 601/RJ,A-10
IHI (Japan)						
F-3	3700	0.70	22"	79"	458	Kawasaki T-4
TF-40	7300	0.74	30"	114"	1690	Mitsubishi T-2, F-1



一些小型涡轮喷气发动机数据

P&W/P&Wc/MTU						http://www.pwc.ca/
JT15D	3000	0.55	28"	61"	630	Citation 5, Beechjet 400
PW500/530/545	3000-4500	0.44	27"	70"	765	Citation Bravo, Excel
PW305/306	4500-6500	0.39	38"	81"	1040	Learjet 60
Williams/Rolls-Royce						//www.rolls-royce.com/
F107/F112	700	N/A	12"	40"	146	ALCM, Tomahawk
FJX-2	700	N/A	14"	41"	100	V-Jet 2
FJ44-1,2	1900-2300	0.456	21"	40"	445	Premier, Darkstar, SJ30