

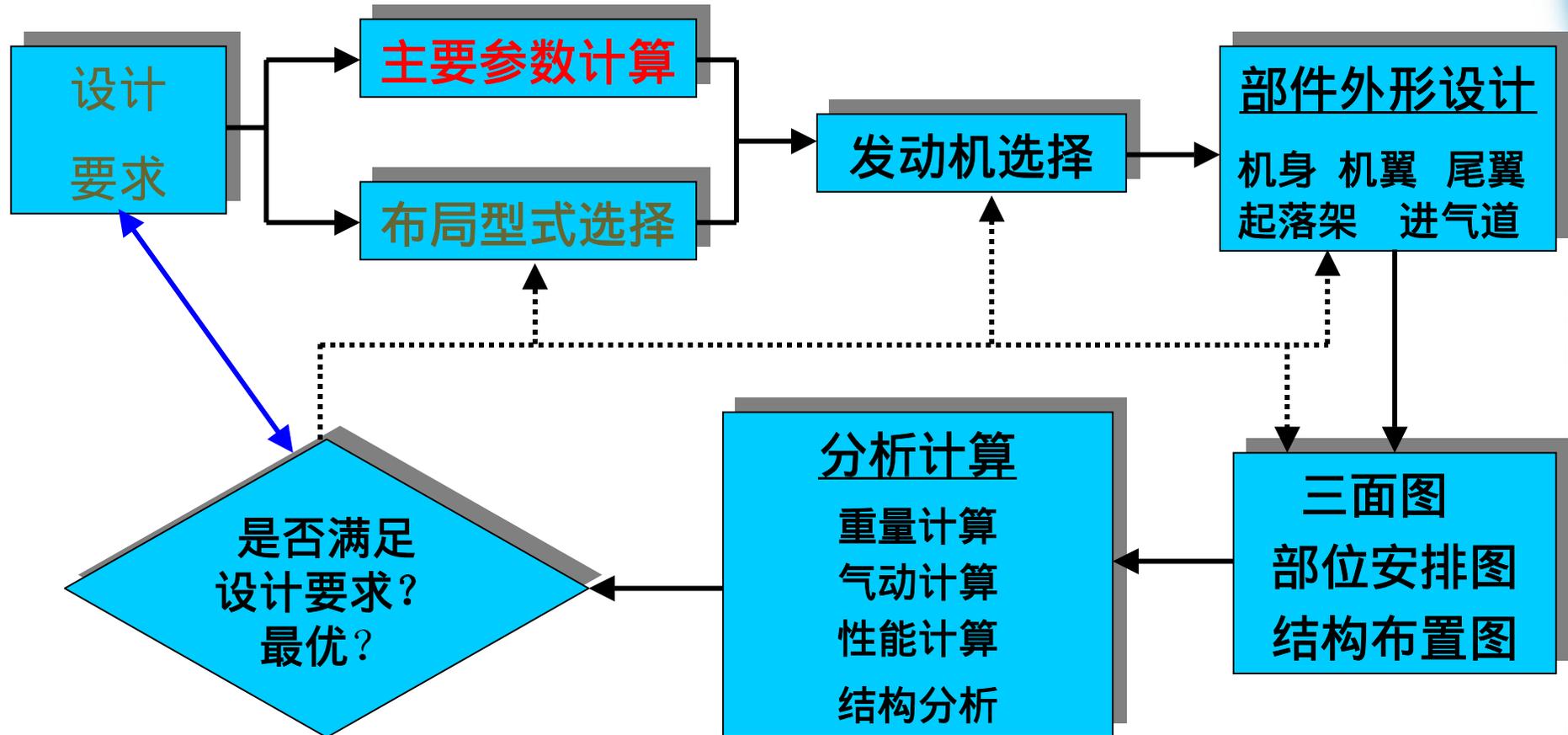


# 飞机主要参数的确定 (续)

## 飞机重量的估算



# 飞机总体设计框架





# 飞机重量的含义

## 1. 飞机起飞重量 $W_{TO}$

$$W_{TO} = W_{OE} + W_F + W_{PL}$$

- ◆ **正常起飞重量：**根据飞机的设计要求，能够达到最大技术航程的飞机重量，通常不计外挂的副油箱。
- ◆ **最大起飞重量：**由飞机设计部门根据飞机的结构强度和起飞安全条件所规定的最大飞机重量，通常包括副油箱等外挂物的重量。



其中:

1)  $W_{OE}$ : 飞机使用空重 (Operating Weight Empty)

$$W_{OE} = W_E + W_{tfo} + W_{crew}$$

$W_E$  空机重量 (Empty Weight)

$$W_E = W_{ME} + W_{Fix}$$

$W_{ME}$ : 制造商空重 (Manufacturers Empty Weight)

$W_{fix}$ : 固定设备重量 (航空设备、雷达等)

$W_{tfo}$  不能用的燃油重量 (trapped fuel and oil)

$W_{crew}$  机组人员重量

2)  $W_F$ : 完成飞行任务所需的燃油重量

3)  $W_{PL}$ : 有效载荷



## 2. 正常飞行重量

指飞机有50%余油的重量，在计算飞行性能时常用此重量。

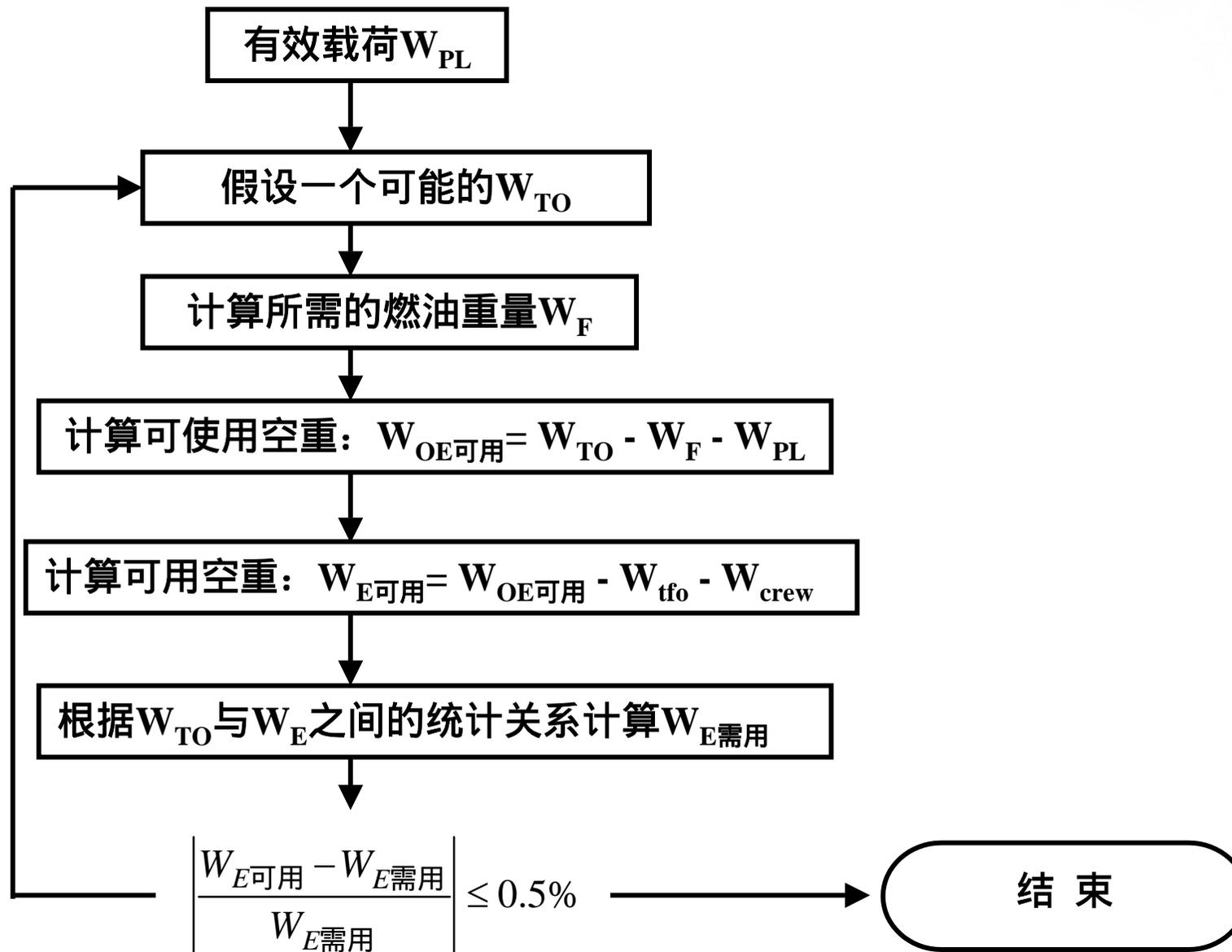
## 3. 着陆重量

**正常着陆重量：** 通常是指飞机在有20%的余油、50%的弹药时的重量。

**最大着陆重量：** 受结构强度限制，能保证安全着陆的最大飞机重量。

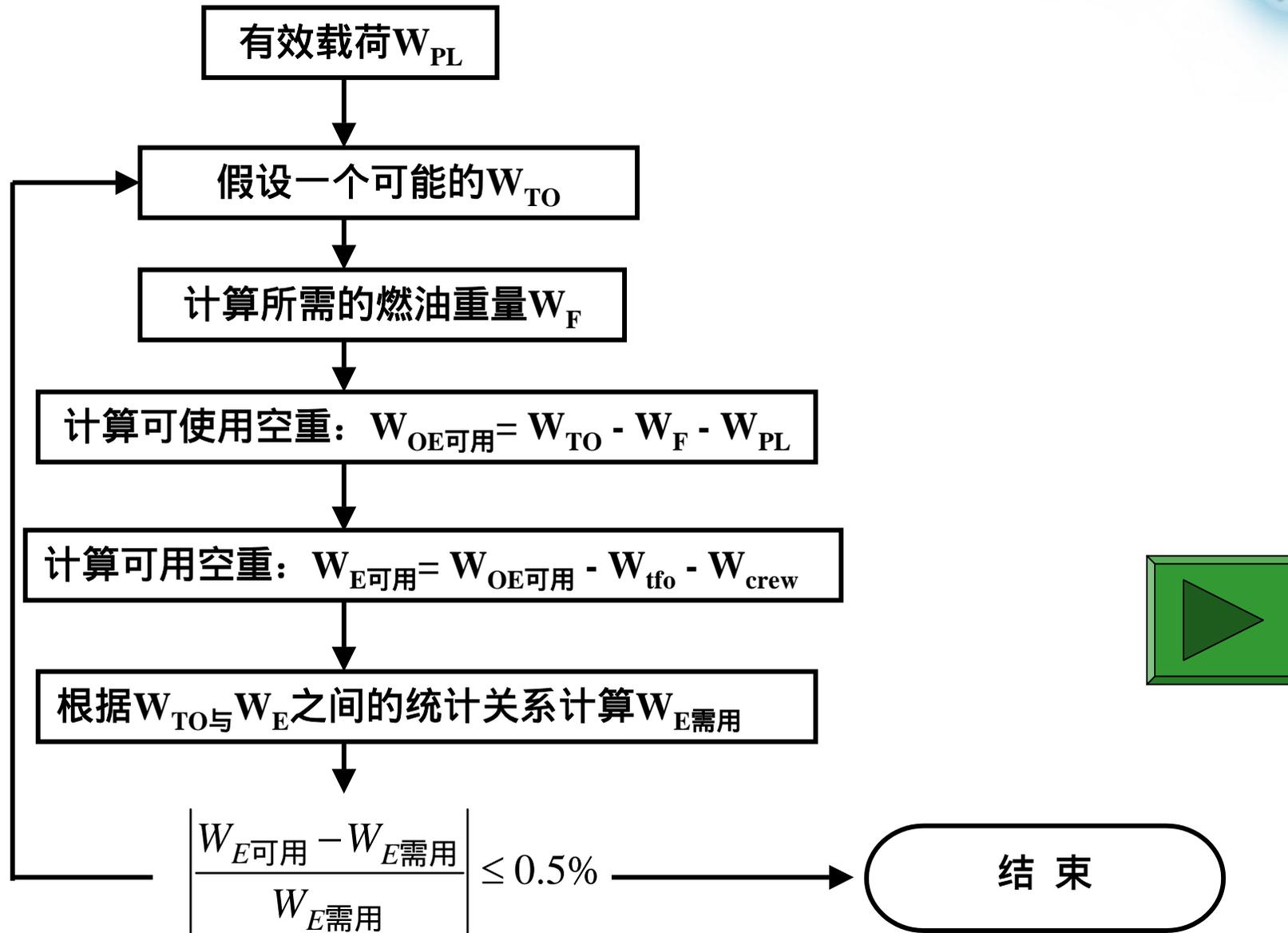


# 估算起飞重量 $W_{TO}$ 的步骤





# 估算起飞重量 $W_{TO}$ 的步骤





## 第一步：确定有效载荷 $W_{PL}$

民用机：旅客（75 kg）

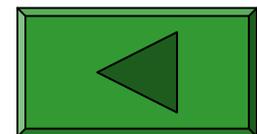
行李（近程20 kg，远程25 -35kg）

货机：

军用机：武器装备（机炮、火箭、导弹、炸弹）

## 第二步：假设一个起飞重量 $W_{TO}$

参考飞行任务类似同类飞机





### 第三步：计算所需的燃油重量 $W_F$

$$W_F = W_{F\text{使用}} + W_{F\text{保留}}$$

$W_{F\text{使用}}$ ：任务剖面图所需的燃油

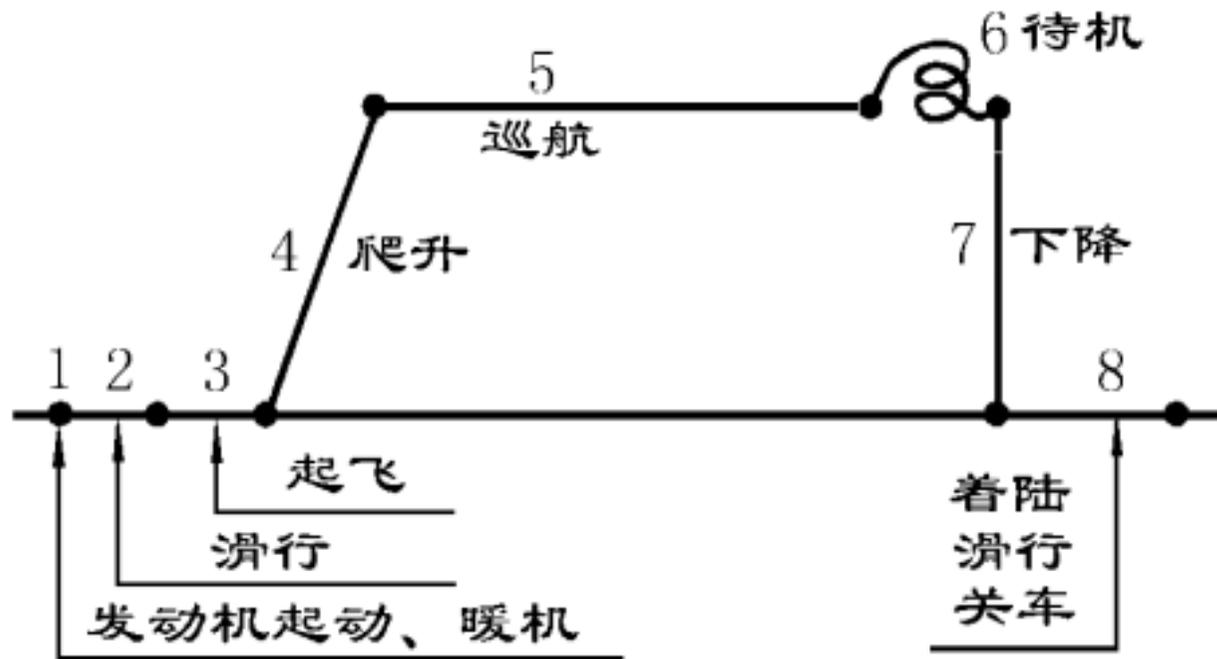
$W_{F\text{保留}}$ ：保留燃油（用于换机场、附加盘旋时间等，通常用 $W_{F\text{使用}}$ 的百分比表示，一般为25%左右）

计算方法：燃油系数法  
(fuel-fraction method)



# 燃油系数法

- 典型飞行任务剖面图





**1) 阶段1: 发动机启动和预热**

**(Engine Start and Warm up)**

开始 $W_{TO}$ , 结束 $W_1$ , 比值 $W_1/W_{TO} \rightarrow$  统计值

**2) 阶段2: 滑行 (Taxi)**

开始 $W_1$ , 结束 $W_2$ , 比值 $W_1/W_2 \rightarrow$  统计值

**3) 阶段3: 起飞 (Takeoff)**

开始 $W_2$ , 结束 $W_3$ , 比值 $W_2/W_3 \rightarrow$  统计值

**4) 阶段4: 爬升 (Climb)**

开始 $W_3$ , 结束 $W_4$ , 比值 $W_3/W_4 \rightarrow$  统计值



## 5) 阶段5: 巡航 (Cruise)

开始 $W_4$  结束 $W_5$

$W_5/W_4$ 可根据Breguet航程方程确定

对于螺旋桨发动机:

$$R_{cr} = 603.4 \cdot (\eta_P / c_P)_{cr} \cdot (L/D)_{cr} \cdot \ln(W_4 / W_5)$$

其中:  $R_{cr}$ 的单位是Km

$\eta_P$ 是螺旋桨效率

$C_P$ 是发动机耗油率(lbs/hp/hr)

$(L/D)_{cr}$ 是巡航时升阻比



对于喷气式发动机:

$$R_{cr} = (V / c_J)_{cr} \cdot (L / D)_{cr} \cdot \ln(W_4 / W_5)$$

其中:  $R_{cr}$ 的单位是km

$V_{cr}$ 是巡航速度 (单位: Km/ h)

$C_J$ 是发动机耗油率(1/1/h)

$(L/D)_{cr}$ 是巡航时升阻比

注:  $\eta_P$ ,  $C_P$ ,  $C_J$ 可从统计结果获得



## 6) 阶段6: 盘旋 (Loiter)

开始 $W_5$  结束 $W_6$

$W_6/W_5$ 可根据Breguet航时方程确定

对于螺旋桨发动机:

$$E_{ltr} = 603.4 \cdot (1/V_{ltr}) \cdot (\eta_p / c_P)_{ltr} (L/D)_{ltr} \cdot \ln(W_5 / W_6)$$

其中:  $E_{ltr}$ 的单位小时

$V_{ltr}$ 是盘旋速度 (km/h)

$(L/D)_{ltr}$ 是盘旋时升阻比



对于喷气式发动机:

$$E_{ltr} = (1/c_J)_{ltr} \cdot (L/D)_{ltr} \cdot \ln(W_5/W_6)$$

其中:  $C_J$ 是盘旋时发动机耗油率(lbs/lbs/hr)

$(L/D)_{ltr}$ 是盘旋时升阻比

注:  $\eta_P$ ,  $C_P$ ,  $C_J$ 可从统计结果获得



7) 阶段7: 下降 (Descent)

开始 $W_6$  结束 $W_7$  比值 $W_7/W_6 \rightarrow$  统计值

8) 阶段8: 着陆 (Landing)

开始 $W_7$  结束 $W_8$  比值 $W_8/W_7 \rightarrow$  统计值



## 计算燃油系数和燃油重量

- 燃油系数:

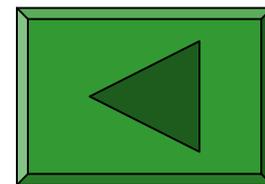
$$M_{ff} = (W_1 / W_{TO}) \cdot \prod_{i=1}^{i=7} (W_{i+1} / W_i)$$

- 所需燃油:

$$W_{F\text{使用}} = (1 - M_{ff}) \cdot W_{TO}$$

- 总的燃油:

$$W_F = (1 - M_{ff}) \cdot W_{TO} + W_{F\text{保留}}$$



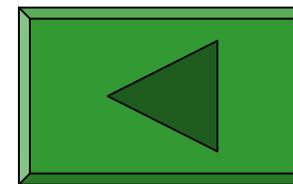


## 第四步：计算可使用空重

$$W_{\text{OE可用}} = W_{\text{TO}} - W_{\text{F}} - W_{\text{PL}}$$

## 第五步：计算可用空重

$$W_{\text{E可用}} = W_{\text{OE可用}} - W_{\text{tfo}} - W_{\text{crew}}$$



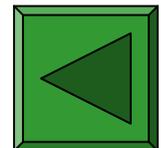


第六步：根据 $W_{TO}$ 与 $W_{E需用}$ 之间的统计关系计算 $W_{E需用}$

统计数据：见图

统计关系： $\log_{10} W_{TO} = A + B \log_{10}(W_{E需用})$ （磅）

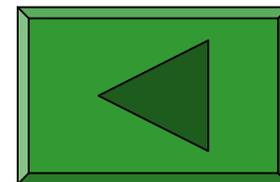
机型	A	B
单发螺旋桨	-0.1440	1.1162
双发螺旋桨（金属）	0.0966	1.0298
双发螺旋桨（复材）	0.1130	1.0403
喷气战斗机（无外挂）	0.1362	1.0116
喷气战斗机（有外挂）	0.5091	0.9565
喷气客机	0.0833	1.0383





第七步：比较 $W_{E可用}$ 和 $W_{E需用}$

$$\left| \frac{W_{E可用} - W_{E需用}}{W_{E需用}} \right| \leq 0.5\% \quad ?$$





# 几个飞行阶段燃油系数统计数据

机型	预热	滑行	起飞	爬升	下降	着陆
单发（活）	0.995	0.997	0.998	0.992	0.993	0.993
双发（活）	0.992	0.996	0.996	0.990	0.992	0.992
战斗机（喷）	0.990	0.990	0.990	0.96 - 0.90	0.990	0.995
客机（喷）	0.990	0.990	0.990	0.980	0.990	0.992



# $\eta_p$ , $C_p$ , $C_j$ 统计数据（巡航阶段）

机型	L/D	$C_j$	$C_p$	$\eta_p$
单发（活）	8 - 10	--	0.5 - 0.7	0.8
双发（活）	8 - 10	--	0.5 - 0.7	0.82
战斗机（喷）	4 - 7	0.6 - 1.4	--	--
客机（喷）	13 - 15	0.5 - 0.9	--	--

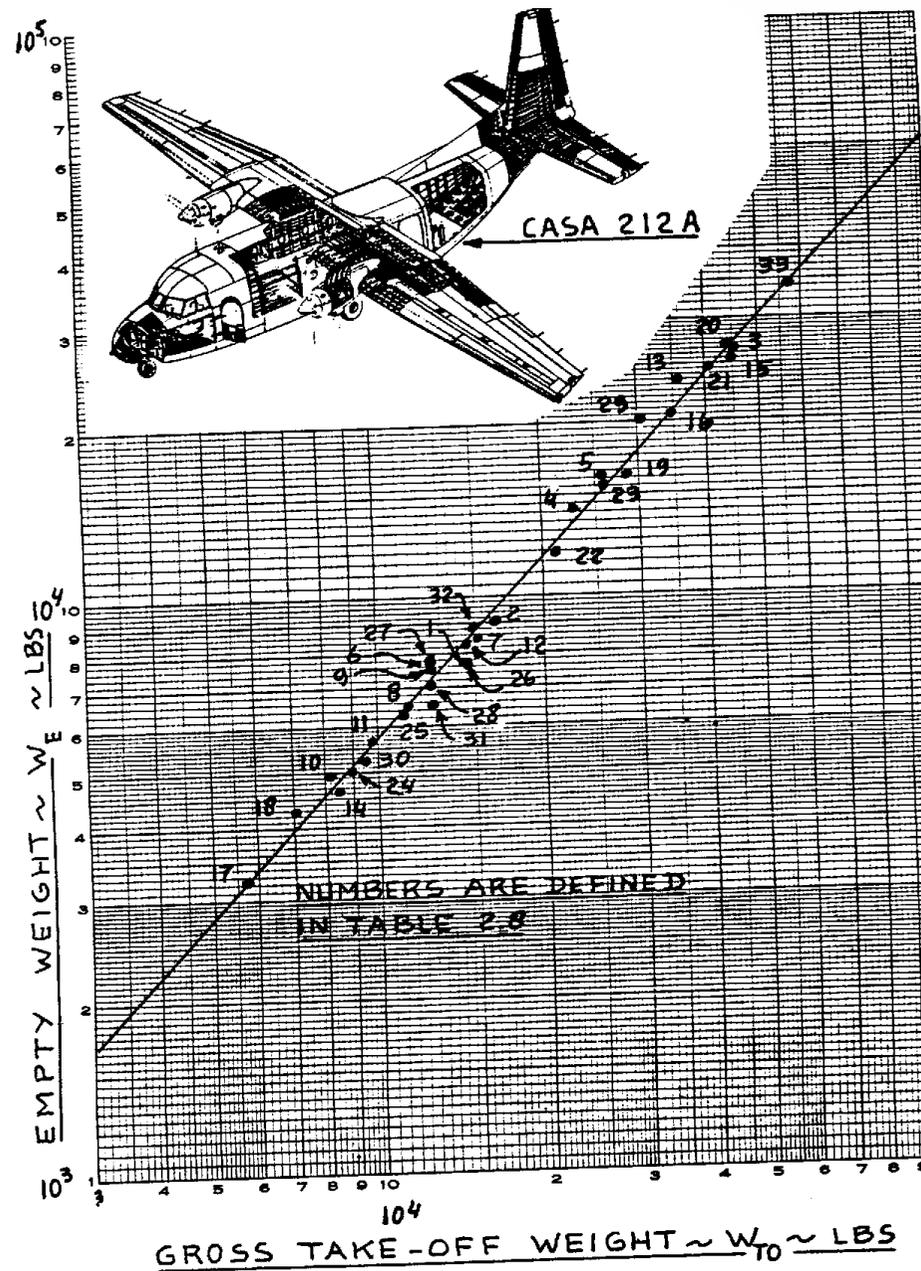


# $\eta_p$ , $C_p$ , $C_j$ 统计数据（盘旋阶段）

机型	L/D	$C_j$	$C_p$	$\eta_p$
单发（活）	10 - 12	--	0.5 - 0.7	0.7
双发（活）	9 - 11	--	0.5 - 0.7	0.72
战斗机（喷）	6 - 9	0.6 - 0.8	--	--
客机（喷）	14 - 18	0.4 - 0.6		



支线涡浆飞机  $W_{TO}$  与  $W_E$  之间的统计关系  
 计算  $W_{E\text{需用}}$





## Derived Characteristics of Current Transport Aircraft

Aircraft	TOGW (lb)	Empty Weight (lb)	Wing area, sq. ft.	Sweep (quarter chord)	Aspect Ratio	W/S	W/b	T/W
<b>Narrow Body</b>								
A320-200	169,800	92,000	1,320	25.0	9.47	129	1,519	0.312
B717-200	121,000	68,500	1,001	24.5	8.70	121	1,297	0.347
B737-600	143,500	81,000	1,341	25.0	9.45	107	1,274	0.287
B757-300	273,000	141,690	1,951	25.0	7.98	140	2,188	0.305
<b>Wide Body</b>								
A330-300	513,670	274,650	3,890	30.0	10.06	132	2,597	0.272
A340-500	811,300	376,800	4,707	30.0	9.21	172	3,897	0.261
A380-800	1,234,600	611,000	9,095	33.5	7.54	136	4,716	0.227
B747-400	875,000	398,800	5,650	37.5	7.91	155	4,139	0.265
B747-400ER	911,000	406,900	5,650	37.5	7.91	161	4,309	0.255
B767-300	345,000	196,000	3,050	31.5	7.99	113	2,210	0.337
B777-300	660,000	342,900	4,605	31.6	8.68	143	3,302	0.278
B777-300ER	750,000	372,800	4,694	31.6	9.63	160	3,528	0.307
<b>Regional Jets</b>								
CRJ200(ER)	51,000	30,500	520	26.0	9.34	98	732	0.36
CRJ700(ER)	75,000	43,500	739	26.8	7.88	102	983	0.37
ERJ135ER	41,888	25,069	551	20.3	7.86	76	637	0.43
ERJ145ER	54,415	26,270	551	20.3	7.86	82	690	0.39