

109年專門職業及技術人員高等考試建築師、32類科技師
(含第二次食品技師)、大地工程技師考試分階段考試
(第二階段考試)暨普通考試不動產經紀人、記帳士考試、
109年第二次專門職業及技術人員特種考試驗光人員考試試題

等 別：高等考試
類 科：航空工程技師
科 目：飛行力學（包括自動控制與飛機性能）
考試時間：2小時

座號：_____

※注意：(一)可以使用電子計算器。

(二)不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

(三)本科目除專門名詞或數理公式外，應使用本國文字作答。

一、一架噴射機質量 $m=20,000$ kg 以攻角 $\alpha=4^\circ$ 穩定飛行於海平面（參考圖 1）。若引擎推力是 $T=50,000$ (Newton)，求該機在此飛行情況下的升力 (lift) L 與阻力 (drag) D 為若干？假設引擎裝置角 (setting angle) $i_t=3^\circ$ 。(10 分)

註：1. 必須提供計算過程，2. 答案必須標示單位，精確度為小數點以下 4 位，第 5 位四捨五入，3. 如需大氣特性，附表在第 4 頁。

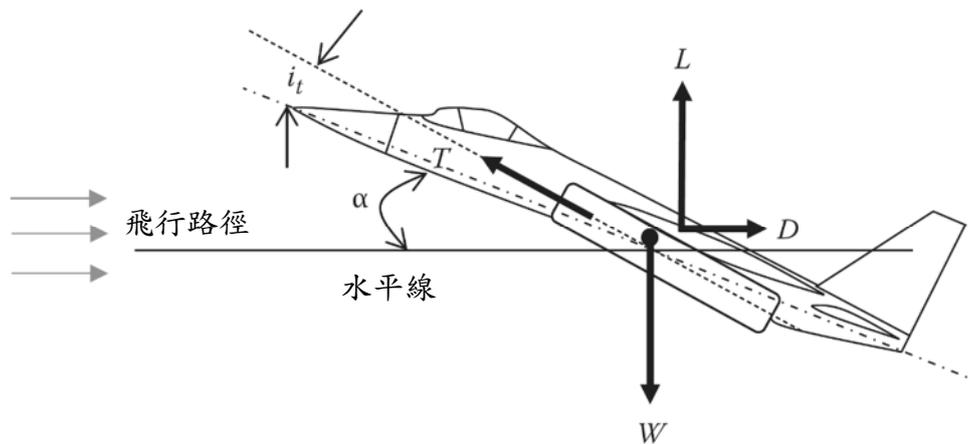


圖 1 直線水平飛行力平衡圖

二、某型飛機具有下列特徵：(10 分)

— 最大升力係數 $C_{L_{max}}=1.9$

— 零升力攻角 $\alpha_{L=0}=-2 \text{ deg}$

— 升力係數對攻角斜率 $a = \frac{d}{d\alpha} C_L = 0.075 / \text{deg}$

— 在高度 1000 m 時飛機失速速率 (stall speed) $V_s = 27 \text{ m/sec}$

(一) 求該機在高度 1000 m 以失速速率飛行時機翼負載 (wing loading) 為何？

(二) 如欲在海平面以攻角 $\alpha=1 \text{ deg}$ 飛行，該機飛行速率應為若干？

註：1. 必須提供計算過程，2. 答案必須標示單位，精確度為小數點以下 4 位，第 5 位四捨五入，3. 如需大氣特性，附表在第 4 頁。

三、一架飛機具有下列參數：(30 分)

— 質量 $m=5670 \text{ kg}$

— 機翼面積 $S = 23.7 \text{ m}^2$ ，其升阻係數曲線 (drag polar) 為 $C_D = C_{D_0} + kC_L^2$, $C_{D_0} = 0.0245$, $k = 0.0765$

其中 C_D 為阻力係數， C_L 為升力係數

— 展弦比 (aspect ratio) $AR = 5.07$

— 裝配兩具噴射發動機，每具可提供推力

$$T = T_0 \sigma^m (\text{Newton}), T_0 = 11,600, m = \begin{cases} 0.72, & h \leq 11,000 \text{ m} \\ 1, & h > 11,000 \text{ m} \end{cases}$$

$$\text{其中密度比 } \sigma = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\text{高度為 } h \text{ 時空氣密度}}{\text{海平面時空氣密度}}$$

(一) 求該機最大升阻比 (lift to drag ratio) $(\frac{L}{D})_{\max}$ 。

(二) 又於海平面穩定水平飛行 (steady level flight) 時，求該機最小阻力速率 $V_{D_{\min}}$ ，以及所需最小推力 T_{\min} 。

(三) 求穩定水平飛行於高度 8000 m 時最大速率。

(四) 該飛機升限 (ceiling) 約為幾公尺？為簡單起見，假設重力加速度為定值 $g = 9.776 \text{ m/sec}^2$ 。

註：1. 必須提供計算過程，2. 答案必須標示單位，精確度為小數點以下 4 位，第 5 位四捨五入，3. 如需大氣特性，附表在第 4 頁。

四、圖 2 中兩架飛機遭遇側滑擾動 (side slip perturbation)。請以圖文分別討論其對橫向靜穩定性 (lateral static stability) 的影響。(10 分)

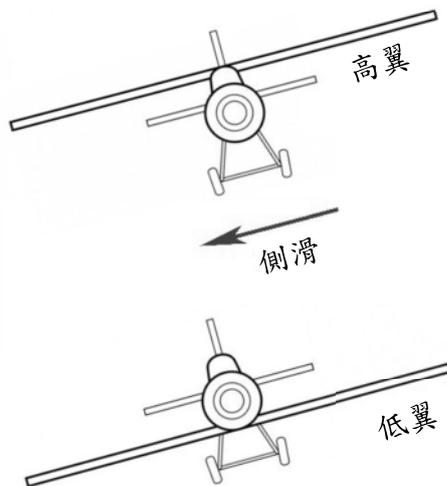


圖 2 高翼與低翼飛機遭遇側滑擾動

五、由於飛機總會攜帶可消耗的負載（例如燃油、武器），且所承載的人員與貨物也不會總是一樣，因此飛機重心（c.g.）位置是會變化的。請分別條列決定飛機重心位置的前極限（forward limit）與後極限（aft limit）的因素並說明其原因。（10分）

六、下列方程式由水平飛行平衡狀態線性化後得到，用來近似飛機縱向長週期反應：

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} u/u_0 \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u & -g_0/u_0 \\ -Z_u & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u/u_0 \\ \theta \end{bmatrix}$$

透過加入一項 $\begin{bmatrix} X_{\delta_T}/u_0 \\ M_{\delta_T} \end{bmatrix} \delta_T$ ，給上述方程式右邊，吾人可加入油門輸入的

效應，其中：（20分）

— u_0 表平衡狀態下縱向速率， u 表速率擾動

— g_0 表重力加速度

— θ 表俯仰角擾動（perturbation）

— X_u, Z_u 為關於 x 軸與 z 軸方向作用力的穩定性導數（stability derivative）

— δ_T 表示在平衡狀態設定下油門（推力）擾動

— $X_{\delta_T}, M_{\delta_T}$ 為控制導數（control derivative）

(一) 當 $M_{\delta_T} = 0$ 時系統穩定嗎？解釋原因。

(二) 一 Boeing 747 修改版本在其高速配置下以馬赫數 $M = 0.90$ 飛行於高度 12,000 m、標準大氣中，其相關於本題的參數與穩定性導數如下：

$$u_0 = 265.572 \text{ m/sec}, \quad g_0 = 9.8066 \text{ m/sec}^2$$

$$X_u = -0.0219 \text{ sec}^{-1}, \quad X_{\delta_T} = 0.3048 \text{ m/sec}^2$$

$$Z_u = -0.0836 \text{ sec}^{-1}, \quad Z_{\delta_T} = 0.0$$

$$M_{\delta_T} = 0.0$$

當輸入為一步階（step input） $\delta_T = 0.1$ 時，求系統穩定狀態反應（steady-state response）。

(三) 解釋第(二)小題的結果，為什麼只有俯仰角改變了（而不是速率 u ）？

註：1. 必須提供計算過程，2. 答案精確度為小數點以下 4 位，第 5 位四捨五入。

七、針對飛機縱向運動，對參考軌跡 (u_0, Θ_0) 線性化下列微分方程式

$$m \left[\frac{d(u_0 + u)}{dt} + qw - rv \right] = X_0 + \Delta X - mg_0 \sin(\Theta_0 + \theta)$$

假設參考軌跡 (u_0, Θ_0) 滿足下式

$$m \frac{du_0}{dt} = X_0 - mg_0 \sin \Theta_0$$

其中：(10分)

- m 為飛機質量， g_0 為重力加速度
- u_0 為縱向參考速率軌跡， u 為縱向速率擾動 (perturbation)
- X_0 為縱向力， ΔX 為縱向擾動力
- Θ_0 為參考俯仰角軌跡， θ 表俯仰角擾動， $|\theta| \ll 1$
- q 、 w 、 r 、 v 為其他微擾量，亦即 $|q| \ll 1, |w| \ll 1, |r| \ll 1, |v| \ll 1$

※第一題至第三題附表 美國標準大氣空氣性質表—SI 單位

海平面以上高度 $h(\text{m})$	溫度 $t(^{\circ}\text{C})$	重力加速度 $g(\text{m}/\text{sec}^2)$	絕對壓力 $p(10^4\text{N}/\text{m}^2)$	密度 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$
-1000	21.50	9.810	11.39	1.347
0	15.00	9.807	10.13	1.225
1000	8.50	9.804	8.988	1.112
2000	2.00	9.801	7.950	1.007
3000	-4.49	9.797	7.012	0.9093
4000	-10.98	9.794	6.166	0.8194
5000	-17.47	9.791	5.405	0.7364
6000	-23.96	9.788	4.722	0.6601
7000	-30.45	9.785	4.111	0.5900
8000	-36.94	9.782	3.565	0.5258
9000	-43.42	9.779	3.080	0.4671
10000	-49.90	9.776	2.650	0.4135
11000	-56.50	9.773	2.263	0.3639
12000	-56.50	9.770	1.933	0.3108
13000	-56.50	9.767	1.658	0.2666
14000	-56.50	9.764	1.417	0.2279
15000	-56.50	9.761	1.211	0.1948
20000	-56.50	9.745	0.5529	0.08891
25000	-51.60	9.730	0.2549	0.04008
30000	-46.64	9.715	0.1197	0.01841
40000	-22.80	9.684	0.0287	0.003996
50000	-2.5	9.654	0.007978	0.001027
60000	-26.13	9.624	0.002196	0.0003097
70000	-53.57	9.594	0.00052	0.00008283
80000	-74.51	9.564	0.00011	0.00001846