

# 飛行原理

(下 册)



中國人民解放軍空軍訓練部印

# 飛行原理

高 敏 茲 顧 著

夫 聶 列 斯 維

編 譯 坤 乾 常

一九四九年十二月

## 說 明

這冊飛行原理乃是上一冊的後半本，內容是繼續上一冊的，目錄也是接着上一冊的次序排列的，但因需要教材甚急，沒有充分時間來作精細的整理工作，詞句冗長之處頗多，故此書僅供參考用。

編 譯 者

常 乾 坤

一九四七年四月十日

## 目 錄

## 第七章 各種因素對飛行之影響

123	各種因素對飛行性能之影響	1
124	飛機重量的變化	2
125	阻力的影響	5
126	不穩定運動及飛機的特種飛行	7
127	力，質量，加速度三者中間所存在的相互關係	7
128	曲線運動發生的原因	10
129	力波及運動量	13
130	因螺旋槳拉力發生變化而引起的不穩定運動	15
131	因迎角發生變化而引起的不穩定運動	19
132	因迎角發生變化所引起的最後結果	21
133	在沒有初速和停止發動機工作的條件下使飛機轉向下滑	31

## 第八章 盤 旋

134	怎樣使飛機在一定高度上作圓周運動	36
135	水平盤旋	37
136	各力在水平盤旋時的互相作用	40
137	因盤旋而產生的慣性重力	42
138	傾斜角，速度及半徑中間的相互關係	43
139	每盤旋一週所需要的時間	44
140	盤旋速度	45
141	盤旋的需要拉力及功率	46
142	盤旋拉力性能曲線（賓腦曲線）	47
143	怎樣用最少時間作盤旋，怎樣 可以得出半徑最小的盤旋	53
144	高度變化對於盤旋的影響	70

145	由盤旋而引起的現象	71
146	盤旋下降	72

### 第九章 起 飛

147	起 飛	75
148	起飛滑走長度	78
149	風對飛機起飛之影響	81
150	如何從短小飛機場起飛	84

### 第十章 着 陸

151	着 陸	101
152	風對飛機着陸之影響	109

### 第十一章 特技飛行

153	筋 斗	110
154	翻筋斗所產生的慣性重力	114
155	螺 旋	117
156	各力在作螺旋時之互相作用	119
157	螺旋速度及半徑	122
158	重心及其他各因素對於螺旋的影響	124
159	如何使飛機轉入螺旋，如何改正過來	129
160	上昇倒轉	131
161	橫 滾	131
162	上昇反轉（殷麥曼）	137
163	馬力失速（尾衝）	139
164	落葉下降	141
165	倒 飛	142
166	慣性重力產生的原因	147
167	飛機的堅固性及其能否適合飛行的要求	151

## 第七章 各種因素對飛行之影響

### 123 各種因素對飛行性能之影響

#### A、發動機功率之變化。

駕駛員應當充分了解自己飛機的飛行性能，若單靠說明書中所講的飛行性能，那是很不夠的，因為由於各種原因所產生的影響，可能使飛機的飛行性能發生很大的變化。

主要的因素是發動機功率，飛機重量，阻力等等之變化。關於估計氣候的一層，如空氣密度影響等等較為困難。發動機功率的變化大概是由於調整的不正確，發動機各部的磨損以及故障的發生等所致。

功率減低後所產生的影響，完全同減少油量而產生的是一樣的，作拉力及有效功率圖時，應當除去因各種原因而降低的一部份拉力和功率。實際上，我們多半是以轉數減低來判斷功率減低的。（較新式飛機多裝置定速螺旋槳，如此則依進氣壓力來判斷發動機功率的減低）。旋轉螺旋槳所消耗的功率同轉數的三次方成比例。

設使沒有任何故障的發動機 $n$ 轉數能發出 $N$ 功率，而有故障的發動機的轉數和功率則為 $n_1$ 及 $N_1$ 。

$$\text{則 } \frac{N_1}{N} = \left( \frac{n_1}{n} \right)^3, \quad N_1 = N \left( \frac{n_1}{n} \right)^3$$

即功率的減少，同轉數的三次方成正比。

但是按百分比講起來，如果轉數減低的程度不十分大（小於10%）的話則可以說功率減低的百分比，比轉數的減少約大三倍（30%），即轉數若降低10%，功率要減少30%。

B、現在我們且看一看，轉數變化時，飛行性能是怎樣發生變化的。最大飛行速度的變化，好像是發動機沒有得到充分轉數時而發生的現象一樣，在平直飛行的轉數圖解上很容易找到速度的變化。

現在一般飛機速度同轉數中間的關係，常為轉數每降低百分之一（1%），速度要減低百分之1.3（1.3%）。

C、功率之變化對於飛機上昇限度的影響。

減低有效功率後便可用普通方法求出上昇限度之變化，但用轉數計算法為最簡單。

當飛行高度發生變化時，功率之變化可按下列公式求得之：

$$\text{即 } \frac{N}{N_0} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

$n_1$ ——容許在低空作飛行的最小轉數。

$n_2$ ——發動機的最大轉數。

$n_2$  減低到一定程度時，可以求出上昇限度減少的程度。平均看來，轉數減低1%，上昇限度降低120—150公尺。

D、求垂直速度和上昇時間時，須先求出剩餘功率之變化。

假設發動機的功率減少了 $\Delta N$ 馬力，螺旋槳的有效功率係數為0.65（上昇時），由此可以求出地面垂直速度降低的程度：

$$\Delta W = 0.65 \times 75 \frac{\Delta N}{G} = 49 \frac{\Delta N}{G} \dots\dots\dots (1)$$

大致估計起來可以說垂直速度的變化約與上昇限度之變化相同，這時上昇某一段高度所需用的時間並不發生變化。

譬如上昇限度等於5000公尺。上昇3000公尺需要時間為15分鐘，在發動機功率減低後，上昇限度僅等於4000公尺。這時在15分鐘時間所能上昇的高度，要比功率不變化以前少。其減少的程度與上昇限度減少的程度相同

$$\text{即 } \frac{4000}{5000} = \frac{X}{3000} ; X = \frac{4000}{5000} 3000 = 2400 \text{ 公尺。}$$

## 124 飛機重量的變化

因裝載量的變更，飛機重量也不斷發生變化。有時由於燃料的消耗，裝載物的投擲等，使飛機重量在飛行時期能發生巨大的變化。在各種不同情況下，飛機重量差別甚大，並且遇特別情況

時，這種差別甚至可以達到 2 倍，因而會引起飛行性能發生激烈的變化。

對另一種不同的重量又要重新計算一次飛行性能，重新計算飛行性能是一個極其廣泛的問題。所以輕的飛機或短距離的航行經常也沒有計算這種問題的必要。

譬如有一飛機，它在一定重量下曾經經過了實際試驗，而且也得出了飛行性能。在變更重量後性能應當如何發生變化，在沒有翼型性能曲線（李林達曲線）及拉力曲線的情況下，固然也可以很準確的求出，但必須要有試驗的結果。譬如要有在低空飛行因速度發生變化而引起的轉數曲線圖，上昇曲線圖等……。

講平直飛行理論時，我們已經知道，需用速度公式為

$$V = \sqrt{\frac{G}{\rho S C_y}} \text{ 若重量變為 } G_1, \text{ 則 } V_1 = \sqrt{\frac{G_1}{\rho S C_y}}$$

$$\text{或 } V_1 = V \sqrt{\frac{G_1}{G}} \dots \dots \dots (2)$$

保持原來迎角作飛行時，速度的變化恰與重量變化的平方根成正比，重量增大時，需用速度亦增大。

下表是用百分比表示在迎角不發生變化的條件下，速度是如何因重量而發生變化的。

插 表 1

$+\Delta G$	$+\Delta V$	$-\Delta G$	$-\Delta V$
10	5	10	5
20	9.5	20	11.5
30	14	30	16.5
40	18	40	22.5
50	22.5	50	29.3
60	26.5	60	37
70	30	70	45
80	34	80	55
90	38	90	78



$\Delta G$ ——增加的重量

$\Delta V$ ——增加的速度

利用速度變化表，可以對增加後的重量求出其應有的轉數。譬如當速度發生變化時，轉數一定也要發生相當的變化。假設使飛機的重量增加了40%，則轉數就要提高18%。

A、拉力與重量的增長 $\left(\frac{G_1}{G}\right)$ 成比例。

B、由於拉力和速度的增長，飛行需用功率應當與

$\sqrt{\left(\frac{G_1}{G}\right)^3}$  成比例。

C、發動機的轉數是怎樣依重量而變化的。

如果把轉數與速度增高到同樣程度，

$n_1 = n \sqrt{\frac{G_1}{G}}$ ，而拉力則增長 $\frac{G_1}{G}$ 倍。

因此，當飛機重量發生變化時，同時也應當使速度和轉數共同提高至 $\sqrt{\frac{G_1}{G}}$ 倍。利用以轉數為函數的速度曲線圖，用上述方法（或由試驗得來的）可以計算出重量發生變化以後的轉數曲線圖（看下圖）。

在飛行高度發生變化時，速度和轉數也發生變化，其變化情況為 $\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_h}}$ 。

由此看來，空氣密度減少同飛行重量增大，對於速度和轉數所起的影響完全相同，而最主要的，就是當飛行重量增大時，勢必引起飛機上昇限度減少。

用轉數計算上昇限度法，可按照功率和轉數依高度而減少的公式求得之。

$\frac{N_h}{N_0} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$  即飛行重量增大所引起的影響同空氣密度減少所引起的影響相同。因此當重量增大時，就可利用上述公式求

出上昇限度因重量變化而減少的程度。

重量的影響：在於使平直飛行最小轉數增大，即是由 $n$ 變爲 $n_1 = n \sqrt{\frac{G_1}{G}}$ ，大約可以說，當飛行重量增長百分之十時（10%），上昇限度減少700—800公尺。

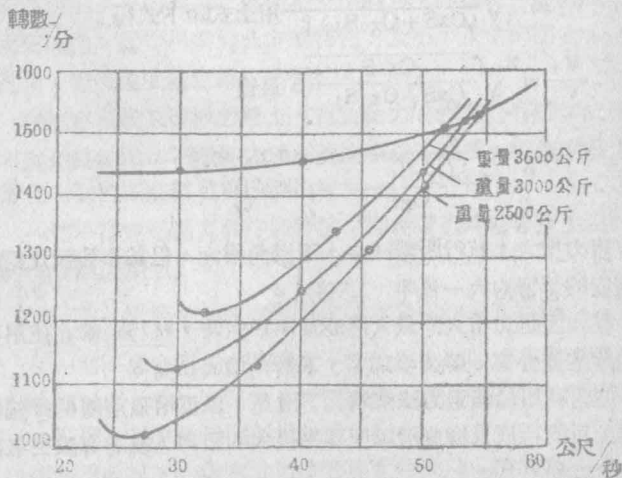
至於對於上昇時間的影響，從上昇曲線上可以看出，上昇曲線和上昇限度降低的程度大致相同。重量對於最大速度的影響不大，可從轉數圖上求得之。

### 125 阻力的影響

飛機形狀之不同，裝置整流罩與否，以及在飛機外部裝載重量等所引起的阻力的變化很難估計。因爲很不容易估計出它們中間的相互關係，關於後者直到目前都還不能得出正確的估計。

不同重量的轉數曲線圖如下：

(圖 1)



在試驗室內，試驗模型所得結果很不精確，飛機阻力之變化對於最大飛行速度及下滑角等等有莫大的關係。

為估計阻力變化的影響，須在翼型性能曲線及需用拉力或功率圖上加以適當的修正。如果只須求出最大飛行速度，航行距離，下滑角，那問題就會變得很簡單。

譬如，當發動機發出 $N$ 馬力時，最大飛行速度為 $V$ 。阻力增大後，飛機的有害阻力面積為 $S_1$ ，阻力係數為 $C_{x1}$ ，飛行速度減小，昇力係數( $C_y$ )增長。但在使用最大速度飛行時，最小的 $C_y$ 的變化，幾乎不能引起 $C_x$ 發生什麼變化。關於這點，在翼型性能曲線上很容易看出。

在阻力未起變化以前，速度與功率的關係為

$$V = \sqrt[3]{\frac{N \eta}{C_x \rho S}} \text{ 或 } C_x \rho S = \frac{N \eta}{V^3} \text{。}$$

當阻力發生變化以後，應當在 $C_x S$ 上再增添 $C_{x1} S_1$ 由下列公式便可求出新的最大速度。

$$V_1 = \sqrt[3]{\frac{N \eta}{(C_x S + C_{x1} S_1) \rho}} \text{ 用上式除下式得：}$$

$$\frac{V_1}{V} = \sqrt[3]{\frac{C_x S}{C_x S + C_{x1} S_1}} \text{，最後}$$

$$V_1 = \frac{V}{\sqrt[3]{1 + \frac{C_{x1} S_1}{C_x S}}} \text{，} \eta = 0.75 \text{--} 0.8 \text{..... (3)}$$

阻力增大，航行距離減少，下滑角增大，但其影響較比對最大速度的影響約大一倍半(1.5倍)。

譬如因阻力增大而最大速度減小10%時，航行距離在使用巡航速度的條件下，要減少15%，下滑角增大15%。

經常利用加強阻力法來增大下滑角，以為增強着陸的準確性。為此目的特使飛機側滑以便產生很大的阻力，或者專設空氣阻力裝置以利用之。

## 126 不穩定運動及飛機的特種飛行

不穩定運動。除以上所講的有關等速及定向的飛行規律以外，在實際飛行中，往往會產生不穩定運動。這種運動的特點，在於不僅速度忽大忽小，且其方向有時亦發生變化，甚至經常是速度同方向同時發生變化的。

屬於不穩定運動的可舉下列幾種。

- (1) 飛行速度在飛行期間的變化，
- (2) 由某一種飛行轉到另一種飛行，
- (3) 飛機所作的一切曲線運動，連水平盤旋及各種特技飛行包括在內，
- (4) 飛機起飛，
- (5) 飛機着陸。

凡一切不穩定運動均有其不同的特點：

作用於飛機的各力，互相不平衡，各力的合力亦不等於零，因此便產生不平衡的力。這種不平衡的力，即為使速度發生變化的主要原因。其作用要看此力的特性，大小，及方向而定，一般的說來，能使速度發生相當的變化。

在航空理論及機械力學上，對於此力的作用已有確切的結論。根據這些結論，不平衡力所引起的不穩定運動，使速度發生什麼變化，我們預先都可以推測出來。

一切不穩定運動具有一個特點，即在運動時期要產生出一種慣力（或謂之惰力）。

## 127 力，質量，加速度三者中間所存在的相互關係

凡一切不穩定運動，其速度不時發生變化則為不等速運動；速度時刻增大，為加速運動，時刻減少，為減速運動。所謂加速度  $j$ ，即指在每單位時間所增加之速度。

例如自由落下的物體其加速等於  $9.81 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2}$ ，這就是說，在物

體落下時經過第一秒其速度等於  $9.81 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2}$ ，經過兩秒， $V = 2 \times 9.81 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2}$ ，經過三秒  $V = 3 \times 9.81$ ，經過  $t$  秒， $V = t \times 9.81$ ，如以  $j$  表示加速，則  $V = j t \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2}$ 。

若物體的初速在運動開始時為  $V_0 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}}$  則物體經過一秒增加  $j \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2}$ ，經過兩秒增加  $2 \cdot j$ ，經過三秒增加  $3 \cdot j \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2}$ ，經過  $t$  秒，增加  $t \cdot j \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2}$  故具有初速的公式為  $V_t = V_0 + t j$

當作減速運動時，則公式中的正號變為負，故上公式在作減速運動時，為

$$V_t = V_0 - t j \dots \dots \dots (4)$$

牛頓第二定律。由力而引起的加速與力之大小成正比，與力所作用的物體質量成反比。我們對於上述定律，應當這樣了解：如無任何力作用於物體，則物體便不會有加速度（慣性定律）產生。如用力作用於物體，則物體便具有加速度，順運動方向加力於物體，則得加速運動。反運動方向加力於物體時，則得減速運動。

物體都具有慣性，慣性往往要引起反作用力，稱此種反作用力為慣力。

譬如當飛機在地面起飛滑走時，拉力不僅僅要克服阻力及機輪同地面中間的摩擦力，並且，連飛機的慣力也要加以克服。相反的著陸時期，一方面阻力阻碍飛機的運動，而另一方面慣力却代替拉力推動着飛機前進。

力，加速，質量，三者中間的相互關係，在機械力學上常用下列公式表示之。

$$j = \frac{F}{m} \dots \dots \dots (5)$$

$j$  —— 加速

F —— 力

m —— 質量

從此公式中我們可以看出，欲使加速等於 1，須在一個單位質量上，作用着一個單位力。

在物理學上，加速度單位為  $1 \frac{\text{公分}}{(\text{秒})^2}$ ，質量單位為克，力的單位為 1 達因 =  $\frac{1}{981}$  克。

$$\text{因此 } 1 \frac{\text{公分}}{\text{秒}^2} = \frac{1 \text{ 達因}}{1 \text{ 克}}$$

假使不用一個達因的力，而是用五個達因的力作用於一克的質量，則所產生的加速度當比一個達因的加速度大五倍。

因為在物理學上所採用的單位太小，不適合應用，故在機械力學上將加速度單位改為  $\frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2}$ ，力的單位改為公斤，質量單位改為機械質量單位，若以這些單位來表示上述關係時則得  $1 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2} = \frac{1 \text{ 公斤}}{1 \text{ 機械質量單位}}$ ，

$$\text{或者 } j \left( \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2} \right) = \frac{F \text{ 公斤}}{m \text{ 機械質量單位}}$$

我們已經知道，一個機械質量單位等於 9.81 公斤。所以如果用機械質量單位表示時，必須用 9.81 除 1 公斤。若重量為 G 公斤，則 G 公斤的機械質量當為  $m = \frac{G}{9.81}$ 。將質量之值代入上公式後

$$\text{則得 } j = 9.81 \frac{F}{G} \dots \dots \dots (6)$$

例題 (1) 飛機重量  $G = 2980$  公斤，螺旋槳的拉力比其阻力大 300 公斤，問此飛機的加速度多大？

$$j = 9.81 \frac{F}{G} = 9.81 \frac{300}{2980} \cong 1 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2}$$

例題 (2) 飛機重量  $G = 1200$  公斤，阻力  $Q = 400$  公斤，拉力  $\alpha = 50$  公斤。問加速度多大？

阻碍飛機飛行力為 $400 - 50 = 350$ 公斤。

$$j = 9.81 \frac{350}{1200} \approx 2.45 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}^2}$$

### 128 曲線運動發生的原因

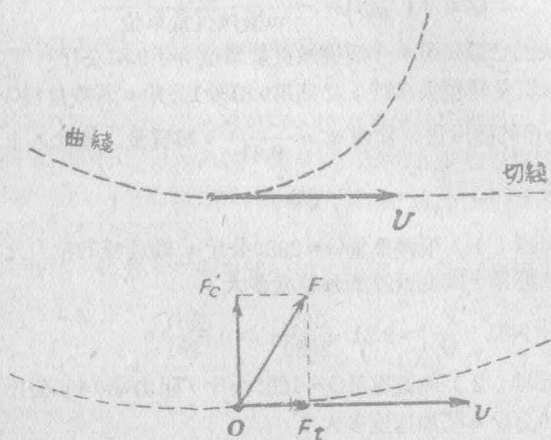
作曲線運動時，速度的方向經常發生變化，故速度方向在曲線的每一點上均不相同。速度在曲線任何一點上的方向，均與此點之切線符合。

假若對飛機質量作用的力，其方向與運動方向不符合，則除變更飛機的運動速度而外，還要變更運動方向。

譬如以O點表示飛機的重力點（看下圖），以箭頭表示速度在該點上的方向及數值。F力對飛機的質量作用，其方向與運動方向不同，問其功效如何？

為解決這個問題，首先須將F力分成兩個分力，第一分力順速度方向作用，第二分力作用的方向與運動軌跡成直角。第一分力 $F_t$ 所起作用，是使切線方向的速度增大，此加速度稱為

(圖 2)



正切加速。將  $F_t$  代入公式後，利用牛頓第二定律，很容易求出正切加速。正切加速僅僅對增加速度的絕對值有關，而對速度的方向絲毫不起作用，因為在曲線任何一點上正切加速的方向與速度的方向相同。

第二分力  $F_c$  與曲線垂直，同樣也要引起加速度產生，並逐漸使飛機運動的軌跡由直線而傾斜而曲線，因為  $F_c$  作用方向向着飛機旋轉的曲線中心，故由此力而引起的加速度，稱為向心加速。向心加速僅變換速度的方向，而對速度之絕對值，絲毫不發生作用。

向心加速，曲線運動速度及曲線半徑三者中間相互的關係，在機械力學上早有現成公式可用以表示之。

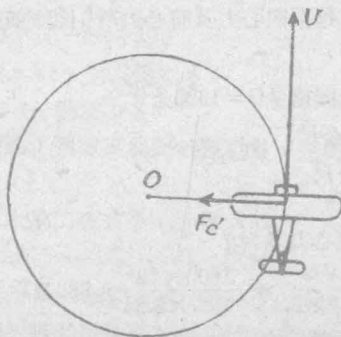
$$j_c = \frac{V^2}{r} \dots\dots\dots (7)$$

飛機作曲線運動，僅在一定的條件下始有可能。即當有向心加速，及有可以引起向心加速產生的向心力時方可。

假設只有一個向心力  $F$ ，而飛機由於此力的作用，僅能圍繞圓周而作等速運動。

在機械力學上，關於向心力 ( $F_c$ )，速度 ( $V$ )，圓周半徑 ( $r$  及飛機質量 ( $m$ ) 等之中間的相互關係常用下列公式表示之。

(圖 3)





$$F_C = \frac{mV^2}{r} \dots\dots\dots (8)$$

由此公式中可以看出時時作用於飛機使飛機作圓周運動的向心力同飛機的質量及速度的平方成正比，同圓周的半徑成反比。

(a) 如向心力減少則圓周半徑增大。

(b) 如向心力保持不變僅使飛機的速度增大，則圓周半徑亦增大。

(c) 如飛行速度保持不變僅使向心力增大，則圓周半徑減小，至於飛機的質量則算為不起變化的常數。

(d) 如果完全取消向心力，則飛機開始即由曲線運動而變為直線運動，並且在取消向心力後，飛機立即在圓周的一點上開始沿此點之切線方向前進，作直線運動。飛機質量受自己慣性作用總是使飛機沿圓周的切線保持直線運動而對向心力的作用表示出消極的反抗。這種消極的慣性反抗力，普通稱為離心力。依照作用力同反作用力相等的牛頓第三定律，離心力應當是與向心力相等的但其方向則相反。

如以  $F_C$  表示離心力，則用下列公式，求得其值：

$$F_C = \frac{G \cdot V^2}{r \times 9.81} \dots\dots\dots (9)$$

不應當忘記的是飛機作一切曲線運動時，必有離心力作用拉飛機，並其作用直延至向心力及向心力所引起的向心加速度完全消滅為止。

例題 (1) 飛機重量  $G = 1600$  公斤

圓周半徑  $r = 300$  公尺

運動速度  $V = 40 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}}$ ，

問作用於飛機的離心力多大？

$$F_C = \frac{GV^2}{r \times 9.81} = \frac{1600 \times 40^2}{300 \times 9.81} = 880 \text{ 公斤}$$

例題 (2) 飛機的重量  $G = 2100$  公斤，