

航空儀表學

(上 冊)

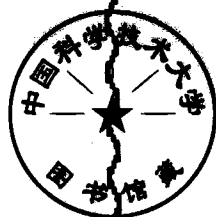


文傳源 余德星 著
務印書館出版

航空儀表學

上 冊

文傳源 余德星著



◆(382323)

航空儀表學(上册)

★版權所有★

著 作 者 文 傳 源 余 德 星

出 版 者 商 務 印 書 館
上海河南中路二一一號

發 行 者 三聯中華商務開明聯合組織
中國圖書發行公司
北京誠懇胡同六十六號

發 行 所 北京上海天津各地分公司
三聯書店 中華書局
商務印書館 開明書店
聯營書店 各地分店

印 刷 者 商 務 印 書 館 印 刷 廠

1951年7月初版 定價人民幣25,000元

(京)1—7000

序

航空儀表是保證飛機的效率與安全的有力工具。特別是對於作高速飛行與盲目飛行時，更顯出牠的高度重要性。但由於儀表構造的精微複雜，應用原理的高深廣泛，及其突飛猛進日新月異的進步，故目前較切合時需的航空儀器學實在太少，中文本更不用說了。本書就是爲了這個目的而編寫的，也算是一種拋磚引玉的試作吧。至於編著的方式是按下述原則進行的：

1. 本書注重學理與實際的結合，關於構造、使用及應用原理介紹較詳，但避免高深數學的論證，而着重物理現象及理論的解釋；務求適合一般航空儀器工作人員及對儀器有興趣的讀者的需要。

2. 文字力求通俗，內容力求簡明。

3. 本書分三部份討論：

- (1) 飛行儀表類，

- (2) 發動機儀表類，

- (3) 航行儀表類。

飛行儀表先行付印，其餘陸續出版，以饗讀者。

4. 本書飛行儀表部份關於最新式儀表的材料收集頗多，討論也較詳細。如馬赫表、高速空速表及真正空速表等。其他各部份也着重於介紹各種新式儀表。

航空儀表學

緒 言

一、航空儀器的功用 飛機上的機件非常複雜而且特別多。由於內部機件的運動，及外界環境的影響，故飛機上受物理作用而發生的變化，也非常複雜。那麼飛行人員只憑感覺的判別力來操縱飛機，當然不容易甚至還不可能，所以必須依賴精良儀器來測定各種物理變化量，飛行時才不至受天時或氣候的限制，並可獲得最高效率及安全。

二、航空儀表所用的動力源 因為航空儀表是用來指示飛機上的各種物理變化量的，故指示部份應有配合物理變化量的適當運動或動作，以便指出物理變化量的大小。而使指示部運動就需要動力源。一般作用於航空儀表的主要動力源主要可分為下列數類：

I. 飛機上所產生的或具備的動力源

1. 機械動力——用齒輪或傳動軸等傳動，如離心力轉速表等。
2. 電動力——如同步器及電表等。
3. 液體浮力——如傳動油量表在油面上的浮子隨油面移動而傳至油量表。
4. 流體壓力——如油壓或氣壓傳至感受器如包端管。

5. 離心力——如利用飛機轉彎時所產生的離心力作用於傾斜儀的小球。

II. 利用自然界的動力。

1. 大氣靜壓力或動壓力——如傳至空速表的動靜壓力。

2. 星光——如利用星光調整六分儀以求得方向。

III. 利用來自地球的動力源

1. 重力——如傾斜儀的小球。

2. 地磁場——如利用磁鐵與地磁場的關係以求得方向。

三、航空儀表的一般構造 由航空儀表的功用看來，我們可知牠的種類一定很多。但是從設計的眼光來看各種航空儀表總不外乎由下述幾個主要部份所組成：因為儀表的功用在於指示各機上的各種瞬時物理變化量，使飛行人員能隨時了解他所駕駛的飛機的情況；所以一定要用一種機構或一種具有特殊性質的材料，以便感應需指示變化情況的部門的動作，這種機構或特殊材料即稱為感應器。感應和機構等感受到某部動作後即經由傳輸機構傳至指示機構。這些機構的種類很多，常用的計有下述的幾種。

1. 感應器——按儀表的應用性能，感應器可分為下列數種：

(i) 金屬膜盒——為一種特殊的磷銅或其他富於彈性的材料做成。牠的形狀如第一圖所示。為由兩個帶波紋的極薄凸面圓盤焊合



第一圖 金屬膜盒

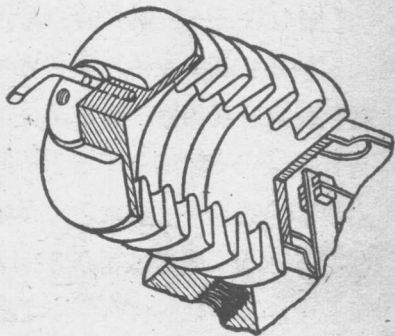
而成。有開口的及閉口的兩種，因其特別富於彈性，故當此膜盒內外的壓力發生差別時，膜盒即按所受壓力差的大小發生膨脹或收縮。

閉口的金屬膜盒或稱真空盒在

儀表中常用爲高度表，馬赫表等的感應器。此種膜盒是在標準海平面情況下密封起來的，所以膜盒的彈力與標準海平面的大氣壓力相等。但是大氣的壓力與高度成反比，所以當此膜盒到高於標準海平面的高度時，由於外界大氣壓力的降低，故膜盒內的壓力較膜盒外的壓力要大，因此使膜盒膨脹。其膨脹量隨壓力差成正比，也就是同高度成正比。故可用以測量高度。而在馬赫表中則用作高度調節的感應器。

開口的金屬膜盒在儀表中常用爲空速度，馬赫表等的感應器。此膜盒在應用於空速表時，盒的外面受着靜止的大氣壓力，盒的內面則受着與飛機作相對運動的大氣的動壓力（簡稱動壓力），而動壓力則包括當地大氣靜壓力及與飛機的速度平方成正比的空氣衝壓力。所以當飛機在空間飛行時，飛行速度愈大動壓力也愈大，即膜盒內的壓力增大，因此使膜盒膨脹，其膨脹量與壓力差成正比例，也就是同空速成比例。故可用以測量空速。

(ii) 金屬波紋室——由一種特殊的磷銅或其他富於彈性的材料做的，牠的形狀爲第二圖所示。爲一帶有波紋的圓筒。其種類也有開口及閉口的兩種。牠的動作原理與金屬膜盒相同，係利用其內外壓力差，使金屬波紋室發生膨脹與收縮。與金屬膜盒所不同者，乃其膨脹或收縮的限度較大，故用爲量壓力差較大的儀表的感應器，如進氣壓力表等的金屬波紋室。



第二圖 金屬波紋室

(iii) 包端管——用一種特殊的磷銅其他富於彈性的材料做成的。



第三圖 包端管

其構造如第三圖所示。為一帶圓角長方形斷面的橢圓管。此管的一端封閉，他端以管路接頭與需要計量壓力的油路或氣壓管路聯接，如用於量溫度的儀表，則與貯有容易揮發的液體的球莖管路相聯接。如壓力增高的滑油等或球莖因溫度加大而生的高蒸氣壓力，進入管中時，由於包端管係橢圓形且管內兩相對面的面積不等故兩相對面所受的總壓力不平衡，所以能迫使包端管作伸直運動。其運動的程度與壓力差成比例。同時在伸縮過程中，包端管內的外側面將壓縮，面積因之減小；內側面則伸長，即面積增加，使兩相對面的總壓力差減小而富於彈性的包端管本身也有反抗壓縮與伸長趨勢的應力產生，故包端管在某種壓力作用下，伸直至某種程度即到達一新的平衡狀態，並傳動指針，使指示相當的壓力。

這種感應器因其能承擔較大的壓力差，一般都用為汽油壓力表，滑油壓力表，液壓油壓力表等的感應器。

(iv) 陀螺——為一作高速運動的旋轉體。當其以高速旋轉時即具有徑動性及定軸性兩種特性。在儀表中便引用牠的一種特性或同時引用其兩種特性作為感應器(詳細理論見陀螺原理)。利用這種感應器的儀表有轉彎傾斜儀，地平儀，方向儀等。

(v) 磁棒——作成棒狀的永久磁鐵，根據磁的兩種特性(同性相排異性相吸)，若將其置於空間並能自由活動時，因地磁作用，常能永遠指北。所以磁棒多用於羅盤中作決定方向的感應器。

(vi) 線圈——根據電磁學的原理，通以電流於線圈時，在線圈的

周圍便顯出磁場，若於線圈中置以軟鐵心環，則被磁化。因此也用以作為一些較特殊的羅盤的感應器（參見磁力線門羅盤）。

(vii) 達爾遜運動——置線圈於磁場中，當通以電流時，此線圈便生出磁場，但綫圈導綫一側的磁場與所在磁場的方向相同，另一側則相反，故一側的總磁場強度較另一側為大，即按左手定則迫使線圈發生旋轉，其轉動的大小與加於綫圈的電壓也就是通過線圈的電流成比例，故可用為一般電表，與汽缸頭溫度表，電動油量表等的感應器（參看所用各表的敘述）。

(viii) 各式電氣同步器——在電動儀表中，所用的感應器大半都具有同步的性質。一般電氣同步器都由二機構所組成，一件置於傳輸器中，一件置於指示器中。常用者有直流同步器，交流同步器（包括電磁同步器及線圈同步器），詳細理論參看位置指示器，磁力線門羅盤及空間位置指示器等章的敘述。

2. 傳輸機構——為了要將距座艙較遠的機構的物理變化量傳至裝於駕駛艙的指示器，就須有感受較遠機構動作的傳輸器並利用電路傳至駕駛艙。如電動轉速表的小發動機，或遠距離羅盤及位置指示器的傳輸器就屬於這類傳輸器。

3. 傳動機構——儀表中的感應器於感受到所欲指示的動作後，即傳到指示機構。傳動機構計包括槓桿、聯桿、齒輪系等。可根據需要予以合理排列，便成所需的傳動機構。這些機構的形狀與排列方式等隨儀表的種類而改變。

4. 指示機構——這部份完全是隨我們的需要而改變，一般是由一指針（或刻度環）轉軸及小齒輪等所組成。感應器於感應到所需的物理變化量即經由傳動機構傳到小齒輪，帶動指針轉一適當的角度。即可

在刻度盤上指出物理變化量的大小。例如空速表，當指針轉到刻度盤上 200 的位置時，那即就表示現時的空速為每小時 200 公里。

四、航空儀表的分類 一般航空儀表多分為三大類：

1. 飛行類儀表——如空速表、高度表、加速度表、升降速度表、羅盤、轉灣傾斜儀、地平儀、方向儀及位置指示器等。

2. 發動機類儀表——如轉速表、壓力表、溫度表、油量表、汽油流量表等。

3. 航行類儀表——如領航用各種羅盤，偏航表、空間位置指示器、六分儀。

4. 其他儀表——如電表、氧氣設備等。

五、航空儀表之排列 在飛行員座艙中儀表板上，一般都把飛行類儀表裝於正中央，發動機儀表裝置於右端，其他儀表則裝置於左端，至於有領航員座艙時，則專裝有航行類儀表。

目 錄

緒 言

第一部 飛行類儀表

第一章	空氣理論淺釋	1
第二章	空速表(附馬赫表,真正空速表及馬赫開關)	10
第三章	高度表	54
第四章	加速度表	63
第五章	昇降速度表	70
第六章	飛行羅盤(附遠距指示羅盤)	79
第七章	陀螺原理及吸力系	111
第八章	轉彎傾斜儀	123
第九章	陀螺地平儀	138
第十章	陀螺方向儀	148
第十一章	直流位置指示器	157
第十二章	自動駕駛儀(液壓式)	180
第十三章	野外試驗車及實驗設備	217

第一章 空氣理論淺釋

飛機全靠相對氣流在有衝角的機翼上所生的昇力，才能夠在空中飛行。昇力及其他空氣動力的大小與空氣密度的大小等因素有密切的關係。一般發動機所需與燃料化合以產生熱能的氧氣也自大氣中取得。有好些儀表的動力源也是由空氣的靜壓力或動壓力供給的。而大氣圈各處的空氣壓力，密度及溫度又不一定。由於空氣及其性質與變化對航空儀表與航空器的決定性作用及影響，所以在未正式論及各種儀表以前，先對空氣理論作一簡略介紹：

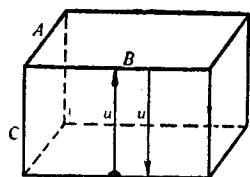
一 氣體分子運動 組成氣體的分子，常處於運動狀態中，其速度只跟氣體的溫度改變而改變，並且這種運動常沒有一定方向；不過當分子在運動過程中沒有碰到其他物體以前，常作直線運動，就是撞擊也都是完全彈性的，如一個球碰在壁上，在不考慮其他力量的情況下，球將仍以原速彈回，故能量不會有損失。上面所講的撞擊，一個是運動狀態，一個是靜止狀態，要是兩個撞擊的物體都在運動，情況稍有不同，但原理仍舊不變。如分子與分子碰撞後，能量及衝量常彼此互換，故分子每經撞碰，其速度及方向都因此有所改變。所以要是我們仔細觀察氣體中的個別分子，則此分子的運動狀態是在繼續不停地變化，如觀察一容積內的全部氣體分子，就並不見得有什麼變化，因為在極大多數的分子

中,任一個分子的向與量如有變化,整個氣體分子中必偶有一個的變化與上一個相反,如是兩個分子的向與量的變化,恰巧互相抵消,這就是所謂動力平衡。

平常我們所討論的氣體,都認為是理想氣體,即認為氣體分子間沒有相互作用的力。現在我們於靜止而定溫的情況下,可將理想氣體的幾種特性歸納如下:

1. 在動力平衡下,一般說來,分子運動的方向常均勻地分佈於空間內的一切方向。
2. 氣體常充滿其所佔的空間。若不計動力的作用,則分子常均勻分佈其所佔的空間,故空間內等容積部份的氣體的分子個數常相等。
3. 同類分子(質量相同)的平均速度及平均動能都相等。
4. 相同的溫度下,各種不同氣體分子的動能都相等,故質量小的速度大,質量大的速度小(因 $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$ 式中 m 為分子的質量, v 為分子的運動速度。)
5. 溫度相等時,分子速度不隨氣體的壓力而改變。
6. 在等溫等壓下,等容積內的各種不同理想氣體的分子個數也相等。

二 氣體壓力是怎樣產生的 假設有一封閉的容器(如圖四),其



第四圖 分子運動產生
壓力

容積等於 $A \times B \times C$ 。倘若此容器內有 v 個氣體分子,而每一個分子的平均速度為 u ,今設沿 A, B, C 三軸運動的分子數相等,即沿每一個軸運動的分子數都為 $\frac{1}{3} v$ 個。

我們再來研究沿 C 軸運行的分子,若分子的質量等於 m ,並以速度 u 向器壁碰去,因為分

子運動是完全彈性的，像球碰到壁上馬上就反射回來一樣，故分子也以速度 $-u$ 反射回來，這樣牠的動量的改變應為 $2mu$ ，同時在一秒鐘內一個分子間（於頂底兩面往返）共計 $\frac{u}{C}$ 次， C 為頂底兩面間的距離（例如，設分子速度為 484 公尺/秒， $C = 242$ 公尺，則一秒鐘內於頂底兩面間往返共二次（ $\frac{u}{C} = \frac{484}{242} = 2$ ）。故一分子在一秒鐘內碰撞任何一面的次數共計 $\frac{vu}{2C}$ 次，而容器的任何一面被諸分子撞擊的總次數為 $\frac{v}{3} \times \frac{u}{2C} = \frac{vu}{6C}$ 次，則一秒鐘內在容器內分子撞擊任一壁面後的總動能變更應為 $m[u - (-u)] \times \frac{vu}{6C} = \frac{vmu^2}{3C}$ 。由牛頓第二定律 $= Ftmv$ ，因此處 $t = 1$ ，故可求出作用於器壁上的壓力 $P = \frac{F}{A \cdot B} = \frac{vmu^2}{3A \cdot B \cdot C} = \frac{vmu^2}{3V}$ 。因此我們可以曉得氣體對於容器的壓力，完全是因為牠的分子運動對於器壁發生撞擊的原故。並且不同的理想氣體混合時，各種氣體的分子速度彼此不受影響，故混合後的氣體的總壓力應等於各不同理想氣體的壓力（即分壓力）的總和。

三、氣體壓力密度及溫度間的相互關係 由第二節所討論的，在同一容器內，因分子運動的撞擊就可產生壓力。那麼分子個數多也就是氣體密度大，則撞擊的次數也多，壓力自然也增大。並且由所得的式子 $P = \frac{vmu^2}{3V}$ ，即 $PV = \frac{1}{3}Mu^2$ （因令 $vm = M$ ），或 $PV = \frac{2}{3}(\frac{1}{2}Mu^2) = \frac{2}{3}(K.E.)$ ， $K.E.$ 為分子動能，但分子動能與溫度成比例，故 $K.E. = KT$ ，則可得：

$$PV = \frac{2}{3}KT = kT \quad (\text{令 } k = \frac{2}{3}K)$$

如溫度一定時，則壓力與體積的乘積為一常數。

而氣體狀態變化的一般過程為：

$$PV^n = \text{常數}$$

當 $n = 1$ 時，即 $PV = \text{常數}$ 為等溫過程。

$n = 0$ 時，即 $P = \text{常數}$ 為等壓過程。

$n = \infty$ 時, 即 $V = \text{常數}$ ($P^{\frac{1}{n}}V = \text{常數}$, $P^0V = \text{常數}$) 爲等容過程。

$n = \gamma$ 時, 即 $PV^\gamma = \text{常數}$ 爲絕熱過程 (狀態變化過程中與外界無熱的交往)。

四、大氣 大氣爲包圍地球表面的氣體, 具有與其他氣體同樣的物理性, 並與一般氣體定律相符合, 即體積與壓力成反比, 與溫度成正比。密度與溫度成反比, 與壓力成正比。

五、大氣厚度 大氣由地球表面擴展至 322 公里左右的高處, 地球赤道處的大氣厚度較兩極要厚一些 (因爲赤道處的重力加速度大), 但大氣約有一半質量係壓縮於由地面至 5.6 公里的高空之間, 在更高的高度上一般都假想爲只有較輕的氣體存在。

六、對流層 大氣圈內的對流層距地面的厚度, 因地球各處情況不同, 故也不一致, 平均約在 11000 公尺左右; 對流層內包含有平流氣流及上升氣流, 整個空氣質量的四分之三都在對流層內。對流層的高度因緯度而異, 赤道處約爲 16800 公尺 (5500 呎), 兩極處約爲 7330 公尺。

七、平流層 對流層上面的大氣層爲平流層, 在平流層內只有平流氣流存在, 溫度也很少變化, 空氣因地球的轉動僅產生沿水平方向的運動, 由於在平流層內無上升氣流, 氣體開始隔離, 高度愈高, 氣體差不多都由一層一層的疊起來。每層的高度與此層氣體的分子重量有關。此種現象存在於地球各部, 也可以說是輻射作用的自然結果。

八、大氣的組成 大氣中含有相當大百分比的水蒸氣, 即大氣中含有大氣重量的三百分之二 (或 0.66%) 的水蒸氣。而在某種溫度及壓力下, 地球表面的空氣可含有 7% 的水蒸氣, 此種水蒸氣含量的百分比將因高度增加及溫度降低而急劇減低。

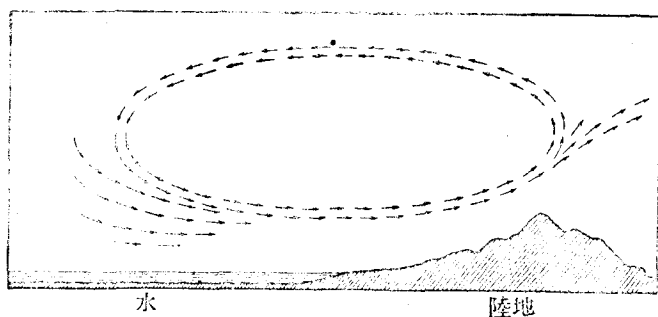
對流層內各種氣體 (包括水蒸氣) 體積的百分比大約如下:

氮——78.04%	二氧化碳——0.03%
氧——20.98%	氫——0.01%
氫——0.94%	

九、影響大氣的因素 任何時間及任一地點的大氣情況，通常都由下列六因素決定之：

1. 溫度 2. 壓力 3. 濕度 4. 風 5. 雲
6. 霜雪等

由以前所討論的我們可知任一地點壓力的變遷及氣流的產生，是由於空氣受太陽輻射熱的影響而膨脹；因之密度減輕而往上升，這是上昇氣流的起源，但當此種熱空氣昇入壓力較低的較高高空時，即再行膨脹，但由於接觸冷空氣而漸次收縮，並增加其重量，又開始下降。如是形成一循環的對流。



第五圖 垂直及水平氣流

十、大氣重量 於標準海平面處溫度為 60°F 時每一平方公尺面積上所承受的大氣柱的重量為 10.33 公噸，這說明了大氣是有重量的。

如將鋼製的密封箱內的空氣抽盡，由於外面大氣的壓力，鋼箱可能變形或被壓壞。由此可以證明大氣壓力的存在。而大氣壓力的產生是

由於大氣的重量關係，也可以說是大氣分子運動的結果。

十一、大氣密度，壓力與溫度 大氣密度係指單位體積內大氣的質量或重量而言，而大氣的密度、溫度及壓力都隨高度的增加而減小。其變化關係及單位可簡述之如下：

1. 高度與溫度的關係——由經驗得知，在大氣對流層內高度愈高，則溫度愈低，直到離地面約 11 公里以上的相當距離內溫度才很少變化。由實驗可得出下述關係式。

$$t = t_0 - 6h = t_0 - 0.0065 h$$

$$\text{或 } T = T_0 - 0.0065 h$$

式中 t 表溫度， T 表絕對溫度以攝氏度為單位， h 表高度以公尺為單位。

即每升高一公尺，大氣溫度即減低 0.0065°C 由上式以 $+15^\circ\text{C}$ (288° 絕對攝氏溫度) 的標準海平面溫度代替 t_0 時，即可求出任一海拔高度的溫度。

2. 高度與壓力的關係——由數學及經驗，我們可求得高度與壓力的變化關係如下：

$$h = \frac{R}{g} \left(\frac{T}{M} \right)_m \log \frac{P_0}{P}$$

在某種高度時的壓力、溫度及含有水蒸氣的空氣分子量 (P_0, T_0 及 M_0)，與另一高度時的壓力、溫度及含水氣的空氣分子量 (P, T, M) 知道以後。由於 R 為氣體常數， g 為重力加速度，亦可視作常數，上式求出兩者間的高度差，如從海平面算起，則可求得其海拔高度。

3. 高度與密度的關係——高度與密度的關係式可由 $\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{4.256}$ 的關係推出如下：