

## 009 飛機是怎麼控制方向的？

機師透過調整升降舵、方向舵和副翼分別控制飛機俯仰、偏航和滾動的方向。

汽車在地面運動時，只需要用方向盤控制方向就可以了。飛機在飛行時則靠空氣流的升力托舉，沒有地面的支撐，因而飛機方向的控制要比汽車更加複雜。

具體說來，飛機飛行時的方向控制有3種方式：(1) 飛機的低頭和抬頭，叫作**俯仰**；(2) 飛機機頭向左偏轉或向右偏轉，叫作**偏航**；(3) 飛機繞機身縱軸向左傾斜或向右傾斜，叫作**滾轉**。機師是通過駕駛杆和腳蹬來控制飛機的這些運動的。

首先，我們來了解一下飛機俯仰方向的控制。一般我們常見的飛機，尾部有一對小的水平方向的翼面，叫作**水平尾翼**(簡稱平尾)。在水平尾翼的後緣，各有一個可上下活動的舵面，叫作**升降舵**。升降舵有控制飛機俯仰的作用。在飛行時，機師向後拉駕駛桿，升降舵會向上偏轉，使氣流對水平尾翼產生向下的力，將飛機尾部下壓，於是飛機就會抬頭向上飛行。同理，機師向前推駕駛桿，升降舵會向下偏轉，氣流對水平尾翼產生向上的力，使機頭下沉，飛機就會低頭向下俯衝飛行。

再看飛機偏航方向的控制。常見飛機尾部的尾翼中間，有一個垂直方向的翼面，叫作**垂直尾翼**(簡稱垂尾)。它對飛機向左或向右的偏轉起着穩定性作用。垂直尾翼的後緣也有一個可活動的舵面，叫作**方向舵**。它控制着飛機偏航的方向。飛機在飛行時，機師向右蹬腳蹬，方向舵會向右偏轉，使氣流對垂直尾翼產生向左的力，從而使得機頭向右偏轉，飛機就會向右產生偏航。同理，機師向左蹬腳蹬，方向舵向左偏轉，飛機就會向左產生偏航。

微博士

飛機的機頭總是朝着前進方向嗎

一般情況下，飛機的機頭都和前進的方向一致，但有時也會偏離前進的方向，這種情況就叫側滑。側滑能力和改出側滑的能力是飛機操縱品質優劣與否的重要指標。先進的軍用飛機幾乎可以像螃蟹一樣「橫」着身子向前飛行，利用這種高機動性，它可以輕鬆地鎖定目標。而飛機在降落時如果發現沒有對準跑道，或者發現受到風的影響發生偏航，也可以利用側滑的方法回到正確的航線上。控制側滑是一個比較複雜的操縱過程，需要方向舵、副翼和升降舵的共同作用才能完成。

微博士

開汽車時，控制方向盤的力基本不變，駕駛飛機也是一樣嗎

我們駕駛汽車時，控制方向盤的力基本不會隨着速度變化而變化。但駕駛飛機可不是這樣的，機師用於駕駛杆的力會隨着速度的變化而變化。飛機的速度越快，氣流的衝擊力也就越大。此時要操縱飛機，控制飛機的翼面擺動，就需要更大的力。這一點在低速飛機上還不明顯，但到了高速的噴氣式飛機上，機師的力量已不足以控制飛機，人們不得不設計助力系統，放大機師的控制力才能控制住高速飛行的飛機。



YAK-52 教練機的升降舵向上偏轉

最後了解一下飛機滾轉方向的控制。飛機左右機翼後緣外側各有一個活動的舵面，叫作**副翼**。副翼控制着飛機向左或向右傾斜，傾斜的角度即坡度。在飛行時，機師向左壓駕駛桿，飛機右側的副翼就會向下偏轉，使得右側機翼彎度增大，升力增大。同時，左側的副翼向上偏轉，使得左側機翼彎度變小，升力減小。這樣，左右的升力差使得飛機向左滾轉。同理，機師向右壓駕駛桿，左側的副翼向下偏轉，右側的副翼向上偏轉，飛機向右滾轉。(張首智)

副翼：通過改變翼型彎度來改變左右機翼升力，從而控制飛機的滾轉

方向舵：控制飛機的偏航。方向舵右偏，飛機向右偏航；方向舵左偏，飛機向左偏航

升降舵：控制飛機的俯仰。升降舵上偏，飛機抬頭；升降舵下偏，飛機低頭

左副翼上偏、右副翼下偏，右側機翼升力大於左側機翼升力，飛機向左滾轉



現代化的飛機駕駛艙

## 031 靠旋翼上天的都是直升機嗎？

不是，旋翼由發動機帶動的是直升機，而旋翼由迎面而來的氣流吹動的則是旋翼機。

旋翼飛行器是靠旋翼產生升力飛行的航空器的總稱。**直升機**就是我們最熟悉的旋翼飛行器。但還有一些有着**旋翼**的航空器，它們也靠旋翼飛上天空，但並不屬於直升機。它們與直升機有甚麼不一樣呢？

原來，直升機的旋翼是由發動機帶動的，發動機直接驅動旋翼旋轉。而**旋翼機**的旋翼則是由迎面而來的氣流吹動，旋翼主軸不連接發動機，是自由旋轉的。

旋翼機的發動機只用於推動機身前進。發動機往往帶動的是一個螺旋槳，以產生前進的推力。這個推力讓旋翼機向前運動，由此產生的氣流吹動機身頂部的自由旋翼，使其旋轉。當旋翼的旋轉達到一定速度後，產生足夠的升力使旋翼機升空飛行。旋翼機比直升機結構簡單、成本低廉，也比較安全，但只能前飛而不能懸停、後飛，飛行的靈活性不如直升機。（張首智）



旋翼機

## 032 為甚麼說直升機的旋翼和電風扇葉片不一樣？

因為直升機的旋翼的迎角是可變的。

直升機旋翼和電風扇葉片，都是由幾片葉片組成的，旋轉的時候會推動空氣產生氣流。當我們感覺電風扇的風小了，可以把風扇的轉速開得快一點，吹來的風就會變大。那麼，如果發現直升機往下掉了，是不是也只要加快旋翼的轉速，就可以讓它升起來呢？

其實並非如此。直升機不論上升還是下降，主要不是靠調節旋翼的轉速，而是靠調節旋翼的**迎角**。在一定的角度範圍內，旋翼的迎角增大，所產生的升力也隨之增大。這個力就是直升機升力的來源。

那麼，如何來控制直升機旋翼的迎角呢？人們發明了一個裝置，叫作「**傾斜器**」。它是由兩個緊密貼合的圓環組成。上面的

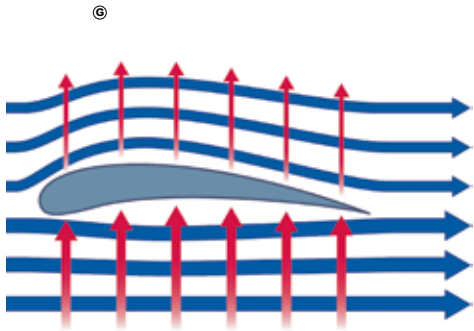
### 香港放大鏡

#### 政府飛行服務隊的直升機

香港政府飛行服務隊在 2001 年引入兩款歐洲製的 EC155 B1 海豚直升機和 AS332 L2 超級美洲豹直升機。兩者一直服役至今。

## 006 為甚麼飛機能飛上天？

因為機翼上表面的空氣流速較下表面的快，因此上表面的氣體對機翼的壓強會小於下表面的氣體對機翼的壓強，使機翼受到了一個向上的合力，使飛機凌空而起。



機翼受到的升力示意圖

### 科學探究場

#### 吹口氣，驗證伯努利定理

用雙手各拿一張紙，並以較近的距離平行垂下。從上方向兩張紙中間吹氣，兩張紙就會向中間靠攏。這就是由於紙中間的空氣流動速度大，壓強低；紙外側空氣相對靜止，壓強大，從而產生向內的壓力使它們靠近。

與氣球、飛艇等利用空氣浮力升空的飛行器不同，飛機是密度大於空氣的飛行器，其主要的升力來源是機翼在空氣中運動所產生的動力。在了解飛機升力的產生之前，我們需要認識空氣流動的特性，即空氣流動遵循的兩個定理：連續性定理和伯努利定理。

人們假設空氣的流動是在一個個看不見的管道中進行的，這些管道被稱為「流管」。所謂連續性定理，即當空氣在流管流動時，同一時間內，流經各個截面的空氣質量是相同的。伯努利定理則說的是：空氣在流管中流動時，流速大的地方壓強小，流速小的地方壓強大。

切出機翼的橫截面，我們可以發現其上表面的彎曲程度要比下表面的大。氣流流過機翼時，空氣在前緣被分為兩部分，分別從機翼上下表面流過。根據連續性定理，在某一瞬間分離的空氣，又會同時到達機翼的後緣，匯合後繼續向後方流去。由於機翼上表面向上彎曲，空氣流動的空間縮小，速度就加快。而機翼下表面空氣流動的空間擴展，速度變慢。再根據伯努利定理，上表面相對較快的氣體對機翼的壓強會小於下表面較慢的氣體對機翼的壓強，綜合的效果就使機翼受到了一個向上的合力（升力），使飛機凌空而起。（顏思銘）

## 007 為甚麼有些「飛機」能貼着水面飛行？

根據「地面效應」，它們貼近地面或水面飛行時，機翼的上下壓力差顯著增大，使升力大幅增加。

在各種類型的飛行器中，有一種飛行器可以貼着水面飛行，這就是「地效飛行器」。地效飛行器的機身與船相似，但其運行速度遠高於船，而且可以離開水面上升到一定高度，這是一般的船無法做到的。

裏海怪物



## 063 固體和液體火箭發動機，哪一種更好？

兩者各有優點和不同的用途。

**液體火箭發動機**的優點是：比衝高，最高能達到 500 秒；推力範圍大；能多次起動；能控制推力大小；工作時間較長等。液體火箭發動機主要用於太空船發射、姿態控制、軌道控制等。

**固體火箭發動機**與液體火箭發動機相比較，具有結構簡單、推進劑密度大、混合好的推進劑可貯存在燃燒室、機動性能強以及操作方便等優點，缺點是比衝小。固體火箭發動機比衝在 250 ~ 300 秒，工作時間短，加速度大，推力不易控制，也難以重複起動，一般用作火箭彈、導彈和探空火箭的發動機，以及火箭發射和穿梭機起飛的助推發動機。（周武）

### 跨學科連線

太空船的主要燃料：液氫

物理

氫極易在空氣中燃燒，而除核燃料之外，氫是所有燃料中發熱值最高的。另外，氫燃燒後的產物是水，不會產生任何污染。因此自「哥倫比亞號」穿梭機試飛成功後，液氫就成為太空船發射的主要燃料。



▶ 增潤知識

見  
《能源與環境 I》

④



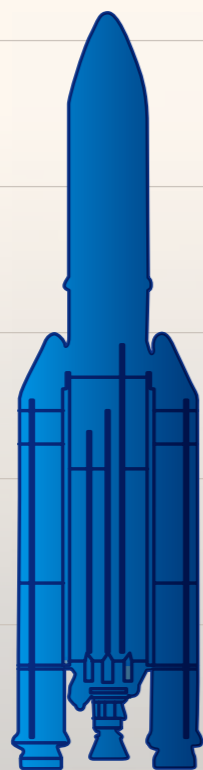
這是美國正在研製的 DM-2 發動機，它是當前推力最大的固體燃料火箭發動機

# 世界論「箭」——各國現役火箭大比拼



歐盟

阿里安 5 號系列  
(Ariane 5)



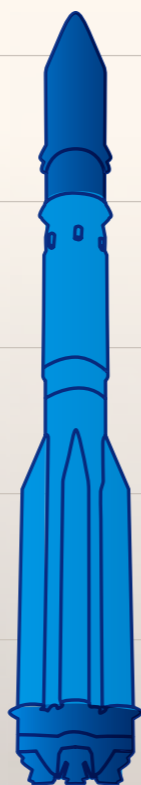
阿里安 5 號 ECA 型

「阿里安 5 號」系列是世界上首次採用「少級數、大直徑」箭體結構的火箭。它擁有大直徑整流罩和多種靈活的多星發射支架。  
「阿里安 5 號」系列的近地軌道運載能力最大為 25 噸，地球同步轉移軌道運載能力為 7.5 ~ 15 噸。



俄羅斯

質子號系列  
(Proton)



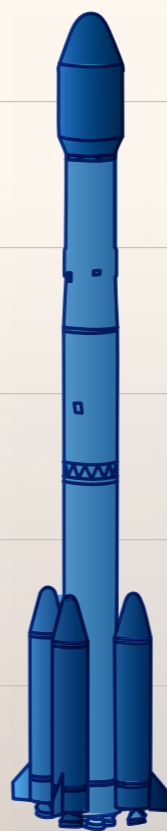
質子號 M 型

「質子號」系列火箭曾發射過「禮砲號」太空站、「和平號」太空站各艙段和其他大型低地軌道有效載荷。  
「質子號 M 型」火箭的近地軌道運載能力為 24 噸，地球同步轉移軌道運載能力為 6.2 噸。



中國

長征三號系列



長征三號乙

「長征三號乙」火箭是中國目前運載能力最大的運載火箭，也是發射高軌道衛星的主力火箭。  
「長征三號乙」火箭的近地軌道運載能力為 12 噸，地球同步轉移軌道運載能力為 5.5 噸。



日本

H-2 系列



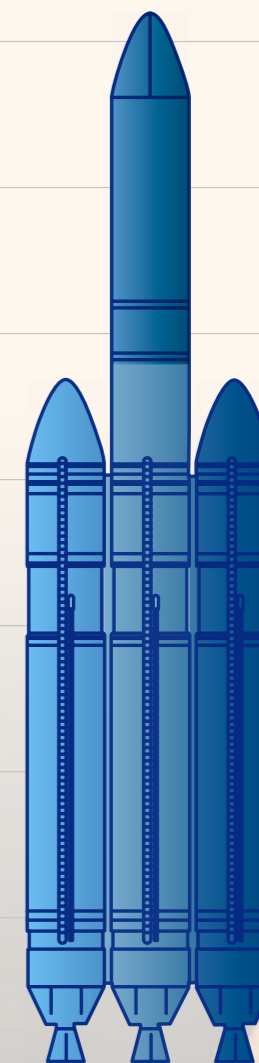
H-2B 型

「H-2B 型」火箭於 2009 年將日本首架「無人太空補給機太空站轉運太空船」發射升空，標誌着日本運載火箭技術的最新成就。  
「H-2B 型」火箭的近地軌道運載能力為 19 噸，地球同步轉移軌道運載能力為 8 噸。



美國

德爾塔 4 號系列  
(Delta IV)



德爾塔 4 號 (重型)

「德爾塔 4 號」系列火箭可以發射太空船到近地軌道、地球同步軌道和地球同步轉移軌道。  
「德爾塔 4 號」重型火箭是美國現役最高的火箭，其近地軌道運載能力為 25 噸，地球同步轉移軌道運載能力為 11 噸。

70 m

60 m

50 m

40 m

30 m

20 m

10 m