

動物飛行機理



人造飛行物構想肇始者



英國科學家
羅吉爾-培根
(Roger Bacon)
(1214-1292)

- 牛津大學及巴拿里大學畢業後回到牛津大學執教，後來當了方濟會的修道士。
- 在物理學方面，尤其光學的研究最具貢獻，通過實驗研究凸透鏡的放大效果以及光的反向和折射規律，證明虹是太陽光照射空氣中的水珠而形成的自然現象。
- 培根相信地球是球形，並因此被方濟會判罪入監兩年。

培根的預言



- 未來大船橫渡大洋不需要搖槳，能在一人指導下前進。
- 未來建構的車輛不需要馬或其他動物，卻能以驚異的速度前進。
- 未來製造的飛行機器，人坐在中間，以人工機翼與機制撲打空氣前進。

THEOSOPHY, Vol. 26, No. 2, December, 1937

達文西的飛行說



- 達文西觀察鳥類的飛行，於1505年完成了「論鳥的飛行」(Sul Volo degli Ucceli)一文，並繪製拍撲翼的草圖。

達文西「論鳥的飛行」

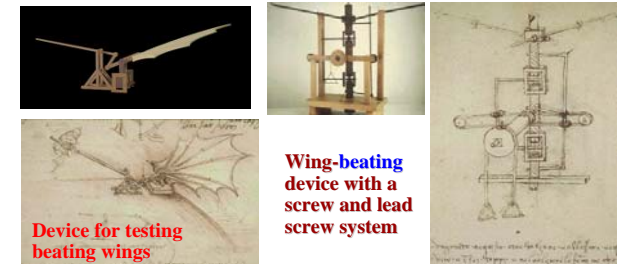
飛行的原理和理論

- 鳥的持續飛行原理-即空氣的升力原理
- 鳥類有效地利用氣流飛行的技巧
- 鳥類所採取的各種省力飛行措施

飛行的穩定與控制

- 風的影響
- 翅膀的不同拍撲方式
- 飛行慣性的控制
- 尾巴的利用
- 重心位置的控制
- 用腿作為減速器
- 利用翅瓣操縱

達文西的拍撲翼



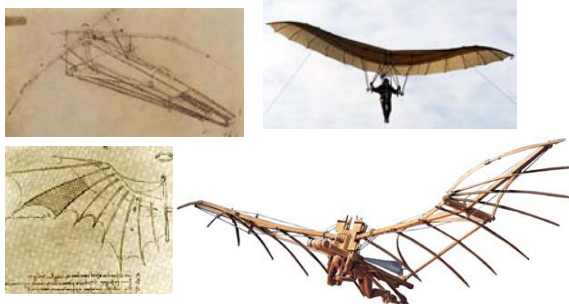
Device for testing beating wings

Wing-beating device with a screw and lead screw system

- 透過對鳥的觀察，達文西認為人可以製作機器，以人力拍撲的方式飛行
- 達文西瞭解到人的臂力不足，而寄望以雙腳達成

www.museoscienza.org/english/leonardo/battiali.htm

達文西三百年的誤導



Leonardo Da Vinci's flying machine from the 1500s
<http://sped2work.tripod.com/davinci.html>
<http://www.channel4.com/science/microsites/B/buildingthebest/leonardo6.html>

三百年的飛行成見

- 只有像鳥類的拍撲翼才能實現飛行。
- 重於空氣的飛行器是不可能實現的。



Edward Purkis Frost,
President of the Royal
Aeronautical Society (1908-11)

以動物為師?



飛行脊椎動物的翅翼

- 翼龍屬於「指翼」(finger wings)，擁有一張膜翼，由延伸加長的第4指來支撐。
- 蝙蝠屬於「手翼」(hand wings)，擁有一張皮膜，開展繃於相鄰手指之間。
- 鳥類的翅膀是為「臂翼」(arm wings)，主要由羽毛構成。



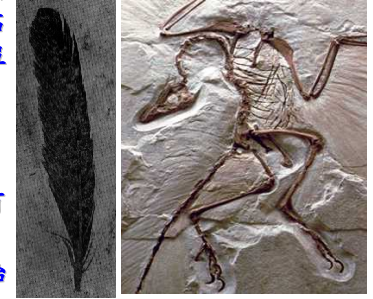
飛行脊椎動物的動力來源

- 翼龍與鳥類一樣，都有具突棘的大型胸骨，可供發達的飛翔肌肉附着。這種構造類似性顯示，翼龍不只擅於翱翔，也是活躍的拍翅飛行動物。



始祖鳥

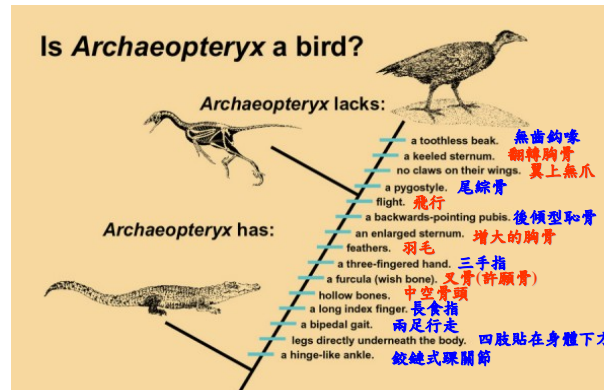
- 1860年，德國索倫霍芬地區晚侏羅石灰岩中發現一件單根羽毛的化石。
- 1861年開始140年間，該區又發現8件既有羽毛、又有骨架的生物化石，即所謂的印板石始祖鳥。



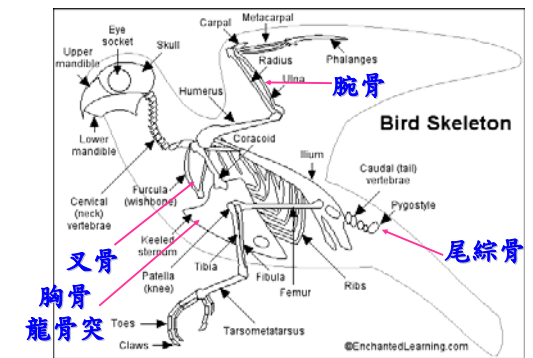
失落的環節



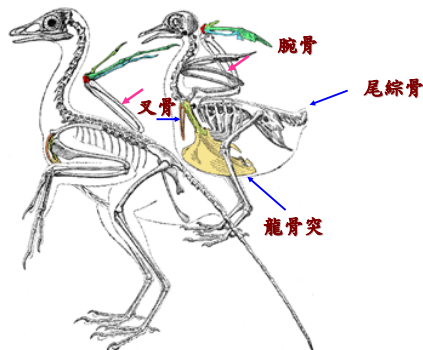
爬蟲類到鳥類的演進



鳥類的飛行機構



鳥類與始祖鳥的比較



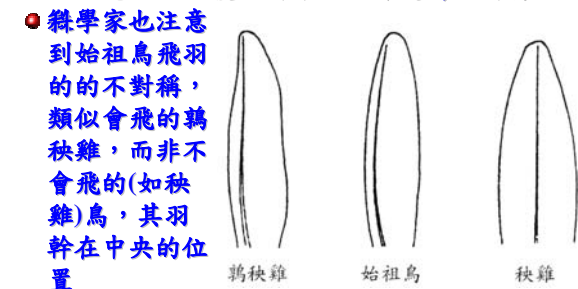
始祖鳥滿足鳥的條件嗎？

| 鳥 | 始祖鳥 |
|----------------------|------------|
| 前肢形成翅膀 | 有 |
| 中空的骨骼，裡面充滿氣囊 | 中空但無法判定有氣囊 |
| 彈性叉骨 | 有 |
| 龍骨突以支撐發達的飛翔肌 | 無 |
| 肩部骨骼特化構造，能作出翼翻轉動作 | 無 |
| 腕關節可橫向彎曲，可將羽毛收攏緊貼於體表 | 無 |
| 尾綜骨控制尾部動作 | 無 |

- 始祖鳥會不會鼓翼，只具滑翔能力？

始祖鳥-鳥的特徵

- 由化石證明始祖鳥已有初級飛羽、次級飛羽、尾羽以及複羽的分化，都是鳥類的特徵



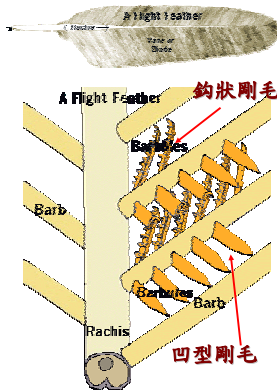
鳥類拍撲策略



- 鳥類會在雙翼上舉時略為折疊屈曲。
- 振翅的各階段中來產生不同的翼面傾斜角度，藉此來調整有效翼面面積。

飛羽的開闔運動

- 鳥類飛羽的結構，在上舉與下拍之時，有不同的機制。
- 翅膀下拍時，羽枝的鈎狀剛毛會與鄰枝的凹型剛毛結合，使空氣無法穿透。翅膀上舉時則相反，剛毛各自分開，形成細小的窄縫，讓空氣通過。此開闔運動提高了拍翅的效率。



拍撲運動

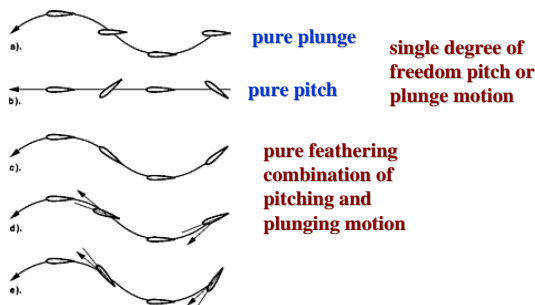


鳥只有在滑翔時才與飛機相似

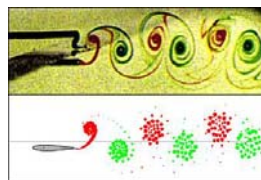
- Flapping
- Twisting
- Folding



拍撲運動



二維拍撲翼推進理論



反卡門渦列
→ 不是阻力，而是推力

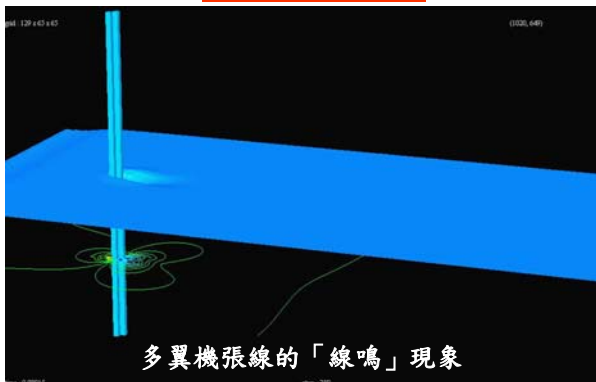
- 撲動使翼後緣蛻出Starting Vortex，當上撲動到頂時會蛻出反時針渦旋，下撲動到底時會蛻出順時針渦旋，不斷撲動即形成渦列，攫取之流量使速率增加，如同傳統推進器的效果。

二維卡門渦街



<http://www2.icfd.co.jp/examples/karman/kr2.htm>

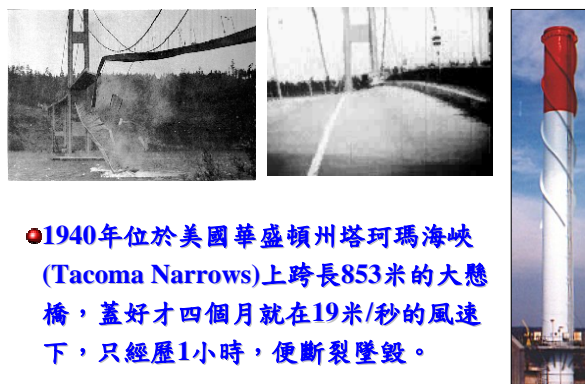
三維卡門渦街



多翼機張線的「線鳴」現象

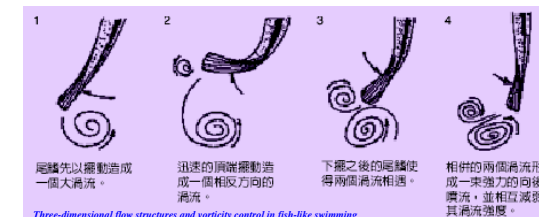
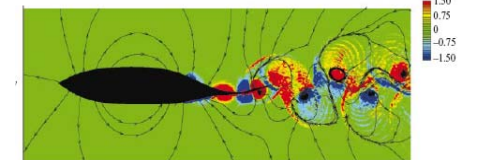
<http://www2.icfd.co.jp/examples/Karman3/Movie.htm>

卡門渦列的案例



- 1940年位於美國華盛頓州塔珂瑪海峽 (Tacoma Narrows) 上跨長853米的大懸橋，蓋好才四個月就在19米/秒的風速下，只經歷1小時，便斷裂墜毀。

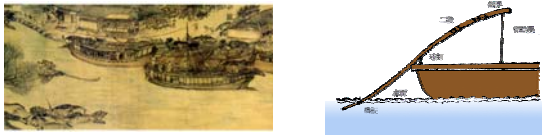
魚類擺尾推力



尾端先以擺動造成一個大渦流。
迅速的兩端擺動造成一個相反方向的渦流。
下擺之後的尾端使得兩個渦流相遇。
相併的兩個渦流形成一束強力的向後噴流，並稍微減弱其渦流強度。

Three-dimensional flow structures and vorticity control in fish-like swimming

搖櫓



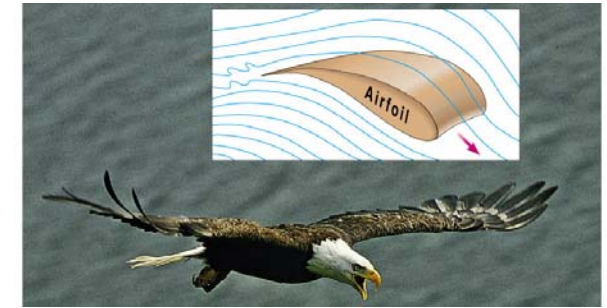
- 傳說魯班看見魚兒在水中揮尾前進，遂削木為櫓。櫓的外形有點像槳，但是比較大，一般支在船尾或船側的櫓檣上，入水一端的剖面呈弓形，另一端則繫在船上。用手搖動櫓檣繩，使伸入水中的櫓板左右擺動。櫓擺動時，船跟水接觸的前後部分會產生壓力差，形成推力，推動船隻前進，就像魚兒擺尾前進。古人有「一櫓三槳」的說法，認為櫓的效率可以達到槳的三倍。

動物的飛行方式

- 飛行動物王國中有3種不同的飛行方式：**滑翔**，**翱翔**和**振翅飛翔**。
- 滑翔**是借助大的身體表面消耗能量的運動；
- 翱翔**是借助氣流、風或者上升的氣流柱來獲得。許多現生的鳥類都運用這種飛行的技術。
- 振翅飛翔**的能量來自使翅膀上下活動的肌肉，類似於鳥類和蝙蝠中的情形。

動物的飛行方式

- 翼的表面必須滿足空氣動力學規律，如它的上面具有凸出的彎曲面而下面為平坦或凹陷面。



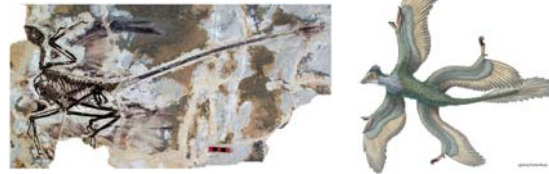
三疊紀奎內龍



- 在三疊紀晚期的歐洲，奎內龍是一種很擅長滑翔的動物，牠可以滑翔60公尺遠，而高度僅下降2公尺。皮膜形成的兩翼是靠由身體兩側伸出的肋骨來支撐的。奎內龍可能生活在樹上，牠們可以從一棵樹滑翔到另一棵樹來逃避危險。

白堊紀顧氏小盜龍

- 2001年，中國科學院考古專家徐星在遼西發現白堊紀的“顧氏小盜龍”長有四個翅膀。均長滿了羽毛，而且應為樹棲動物，因此科學家提出一種說法，這種有兩副翅膀的恐龍不能飛、只能滑翔。

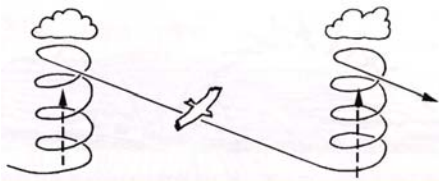


現生滑翔動物



翱翔

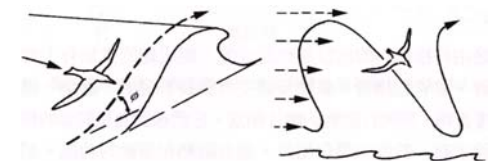
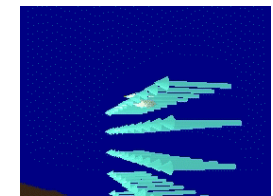
- 在晴朗的白天，由於陽光照射地面溫度升高，向陽的山坡及深色的地面氣溫上升超過其它地方。那時熱空氣上升，可形成風，稱為熱成風。翅大體輕的鳥類和禿鷹等在滑翔時圍繞氣柱上升。下圖表明兩個熱成風，氣柱頂端有積雲。禿鷹沿氣柱盤旋向上滑翔，離開氣流後下降飛行。如遇有另一氣柱，又向上滑翔。



翱翔

- 海邊的峭岩阻擋了吹來的平行海風，使氣流上升，這便有助於海鷗在滑翔時的上升飛行活動。海面的波浪可改變氣流的方向。接近海面的風速，要比離海面較高處的風速低。
- 翅膀很長的海鳥信天翁貼近海面迅速滑翔，方向受到影響。它們從滑翔獲得較高動能，遇風時急速上升，使動能轉變為位能。這時看起來信天翁在滑翔中降速，實際上對移動的氣流來講，速度並未減低。

翱翔



鳥是恐龍後代的實證者



● 季強，1951年10月生，南京大學地質系，生物研究所牙形石專業碩士，1988年獲中國地質科學院地層古生物專業博士學位。

- 1996年發現長羽毛的恐龍-中華龍鳥
- 1997年發現長羽毛的恐龍-原始祖鳥；
- 1998年發現長羽毛的恐龍-尾羽鳥。
- 2000年發現了全身長羽毛的奔龍化石；
- 2002年發現初鳥類化石—中華神州鳥和東方吉祥鳥。
- 解決了140多年未能解決的鳥類起源問題。

中華龍鳥



大小像雞

- 1996年10月17日，中國古生物研究員陳丕基在北美古脊椎動物學會上公布了產於遼寧四合屯的“帶羽毛的恐龍”照片-中華龍鳥。

帶毛恐龍？



- 根據研究,季強和姬書安認為,中華龍鳥的皮膚衍生物是一類原始羽毛(proto feathers),其明顯不同於現代羽毛(modern feathers)的概念和結構。

季強,“原始羽毛概念的提出及其在羽毛演化研究中的科學意義,”江蘇地質,22(2),1998
<http://www.dinosaur.net.cn/museum/Sinornithosaurus.htm>(圖)

帶毛恐龍？



- 中國科學院古脊椎動物與古人類研究所董枝明研究員和侯連海研究員均認為,中華龍鳥的皮膚衍生物是毛發(hairs),而不是羽毛。

季強,“原始羽毛概念的提出及其在羽毛演化研究中的科學意義,”江蘇地質,22(2),1998
<http://www.dinosaur.net.cn/museum/Sinornithosaurus.htm>(圖)

原始祖鳥

- 原始祖鳥是遼西熱河生物群中,所發現的第二件獸足類恐龍。尾部具有真正的羽毛構造,是世界首度在鳥類之外的生物類群中發現羽毛結構的紀錄。原始祖鳥的牙齒具齒緣,又骨癒合成U型,類似始祖鳥類。前肢短於後肢,尾羽很長,呈對稱分佈,很像電影「侏羅紀公園」中的迅掠龍極為相似,但牙齒沒有典型肉食恐龍的尖銳,也沒有迅掠龍哪種獨特的尾巴。整體而言,原始祖鳥的型態較中華龍鳥更為「進步」,亦即其親緣關係更為接近鳥類

<http://kids.yam.com/why/article/article633.html>

原始祖鳥

- 原始祖鳥(Protarchaeopteryx)體長不足1公尺尾椎20餘節且相互沒有癒合,尾部具有真正的羽毛構造而羽片呈對稱狀。



尾羽鳥

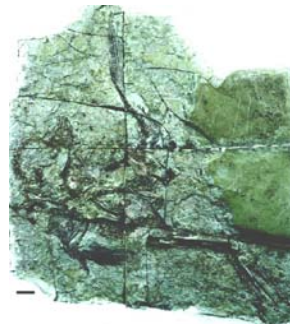
- 尾羽鳥(Caudipteryx)尾羽鳥的大小和形態都類似于原始祖鳥,但尾羽鳥的牙齒僅長在嘴的前端、表面光滑,前肢也相對更短更細一些。尾羽鳥翅膀上的飛行羽毛較短,羽片對稱狀;體羽纖維狀,與中華龍鳥的相同;長長的尾羽呈扇狀,僅發育于尾的末端,這也是其名稱的由來。尾羽鳥和原始祖鳥尚不具備飛行能力,仍為陸地奔跑者。



Artist: James Reece

<http://kids.yam.com/why/article/article633.html>

尾羽鳥化石



上臂羽毛

孔子鳥

- 孔子鳥(Confuciusornis)是最早具有角質喙和尾綜骨的鳥類,飛羽亦很發育,顯示出它已具有相當的飛行能力。但孔子鳥前肢上的3個指爪仍很強大,又表明它原始的一面。孔子鳥是群體生活的鳥類,目前已得到的化石數以千計,雄鳥的尾部生有兩根極長的漂亮尾羽。



季強,姬書安,“破曉鳥類的定義問題”,探討與爭鳴

孔子鳥



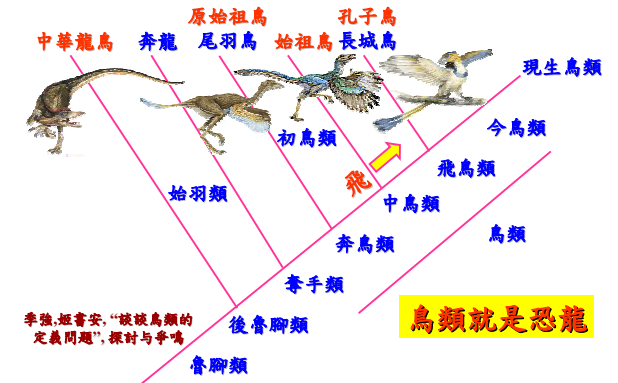
<http://www.nhm-wien.ac.at/NHM/geolog/Mesozoic/Images/02.jpg>

鳥類就是恐龍

- 透過對中華龍鳥等一系列化石的研究對比,可以看出:在獸腳類恐龍向鳥類演化的過程中:
- 中華龍鳥開始出現原始羽毛;
- 原始祖鳥和尾羽鳥最早發育了翅膀和羽片為對稱狀的飛行羽毛(可跳躍)
- 始祖鳥的翅膀更長,飛行羽毛的羽片已變為不對稱類型(可滑翔)
- 孔子鳥和長城鳥牙齒消失而出現角質喙,尾變短並出現尾綜骨,飛羽很長(可飛行)

李強,姬書安,“被談鳥類的定義問題”,探討與爭鳴

早期鳥類分支系統簡圖

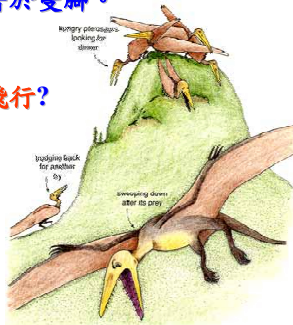


李強,姬書安,“被談鳥類的定義問題”,探討與爭鳴

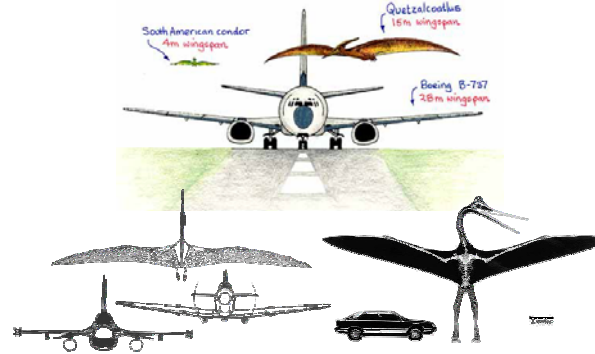
鳥類就是恐龍

翼龍的傳統印象

- 無法拍翅,只能滑翔。
- 與蝙蝠一樣,翼膜附著於雙腳。
- 陸地上行走困難。
- 翅膜容易撕裂受損。
- 體型如此之大,如何飛行?
- 是溫血動物嗎?



風神翼龍(Quetzalcoatlus) 史上最大的飛行生物



風神翼龍模型

- 聖摩尼加的飛行館博物館展示的風神翼龍翼展達11m,比1941年份史提爾曼教練機還長1m。1980年代中期,在空境(AeroVironment)公司工程師保羅(後座)領導下,曾製作比實體小一半重20公斤、翅膀可以撲動的風神翼龍模型。飛行時速達56公里。



風神翼龍模型

$$\text{飛行所需動力} \propto \frac{M^{7/6}}{\rho^{1/2}}$$

M:重量, ρ:空氣密度

- 大型昆蟲或恐龍需要大量的氧氣,大氣層含氧量在石炭紀曾上升到了35%!巨蜻蜓翼展可達一公尺。
- 科學家估計風神翼龍當時的空氣密度要比現今濃稠三倍才能支撐其飛行。



恆溫的證據

- 哺乳動物和鳥類都有毛(羽毛),這是溫血動物的標誌。
- 2001年大陸在遼西地區熱河生物群裏面發現覆蓋著毛狀結構的熱河翼龍。
- 同年巴西發現的翼龍,頭部有非常大的脊狀的結構,其上有血管的印痕、溝和槽狀的結構,科學家認為這是體內溫度調節機構,此亦是溫血的一個標誌。

