

仿生鯊魚皮薄膜

學號:112023012 姓名:李依琳

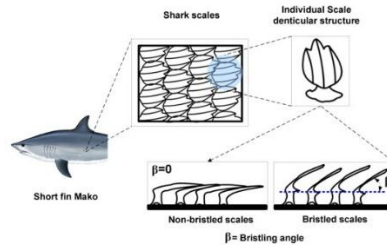
一、動機

一開始我會想選擇做鯊魚鱗片的原因其實是因為在我很關注的奧運會賽事中，在游泳比賽曾經發生過美國選手使用「鯊魚衣」連破了多項紀錄而後被禁止使用的事件，在這個事件中也讓我對仿生科技感到很驚嘆。雖然之後在 2012 年時，被以高速相機觀察流體顆粒流動的實驗證實那並非人造鯊魚鱗片的效果，但這個仿生科技卻還是帶給了我很深的印象，因此我想在這次關於仿生學的課程中，重新探討這個鯊魚鱗片在流體力學上的改進和利用。

二、正文

在考慮流體時，黏度較大的水比起氣體而言會更加容易觀察，因此為了延伸利用至飛行傳輸載具上，我們也可以觀察同為流體的「水」。在水中的移動主要是依靠身體的作用力與來自水的反作用力或水流來向前移動，如果要加速，我們可能會思考要如何增加施力的強度，但如果以人體的極限推力來看，增加施力的力量值卻會馬上遇到極限。因此科學家們將焦點轉移在了「如何降低來自水的阻力」，我們可以發現來自水的作用力其實可以分為「水的阻力」及「水的推力」，尤其是「水的阻力」會牽扯到複雜的流體力學，但考慮到日常實用性，科學家們似選擇從大自然中找尋最接近理想的流體結構，也就是鯊魚與其他動物的特殊皮膚。

鯊魚的皮膚被科學家們進行仿生研究的主要原因就是因為牠們身上具有「可變角度的 V 型鱗片」。如圖(一)。

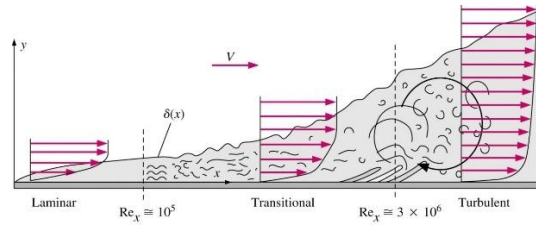


圖(一)，鯊魚的表面鱗片結構。¹

這些特殊的 V 型鱗片可以依據水流改變其角度，減少水流帶來的阻力。要了解 V 型鱗片對水流阻力的影響我們須先了解所謂的邊界層(Boundary layer):

水流過表面的速度叫做流速，而所謂的邊界層就是指水流因為水對表面的摩擦力、黏度產生的「流速為整體流速 99% 以下的區域」，其中又分為「層流區(Laminar)」、「過渡區(Transition)」以及「紊流區(Turbulent)」，在這裡對流體阻力有最大影響的便是紊流區。如圖(二)。

¹ 圖(一)源自 Aerodynamic Characteristics of Shark Scale-Based Vortex Generators upon Symmetrical Airfoil. *Energies* 2021, 14(7).



圖(二)，邊界層的分層。²

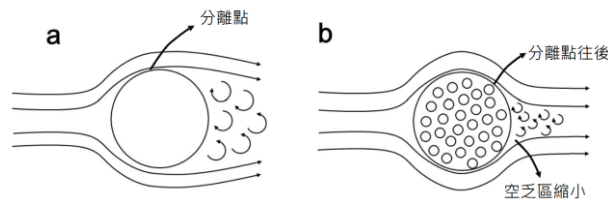
由上圖可知，流體與表面的距離會越來越遠，流線(流體的運動方向)的向量會由層流:規則、單一的方向，變成紊流:多樣、多方向的流體。且流體分子也開始失去與表面的黏性附著力，形成無序擾動、脫離表面。³

我們可以雷諾數 Re 判斷紊流流動產生的可能性:

$$Re = \frac{uL}{\nu} = \frac{\rho uL}{\mu}$$

ρ 為流體密度(kg/cm^3)， u 為流速(m/s)， L 為特徵長度(m)， μ 為流體動態黏度($Pa \times s$)， ν 為運動黏度(m^2/s)。 Re 值較低意味著會較易形成層流，具較低的動能;低雷諾數所形成的穩定層流也被稱為流線型。⁴

物體在流體中移動時，流體要脫離表面時的紊流區會形成一個低壓區(也可稱紊流尾流區或稱空乏區)，由伯努利定律，相對起物體前方的高壓區，此壓力差便會施以一逆向力阻止物體的前行。因此在水中移動時產生的大部分阻力來源便是來自紊流區的壓力差，如圖(三)。



圖(三)，以高爾夫球為例的凹陷設計。⁵

為了減低流體阻力，須使流體與表面黏著、減小低壓區、拉長流體與表面的分離距離。鯊魚表皮上的V型鱗片凹陷便是這種凹洞。為因應不規則的水流，鯊魚的鱗片也可以透過變換角度的方式適應接觸面，最大的曲折角度甚至可以達到50度。⁶

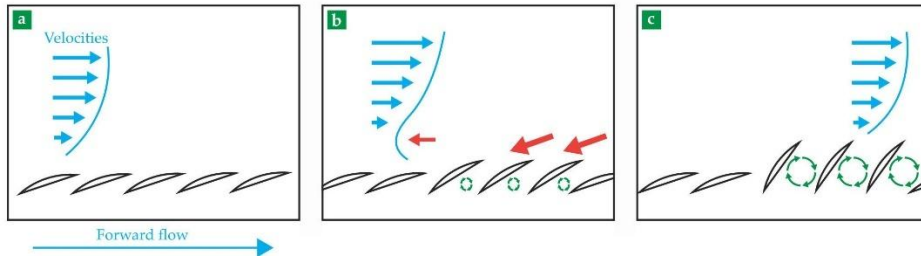
² 圖(二)源自 A Rapid Method for Heat Transfer Coefficient Prediction on the Icing Surfaces of Aircraft Wings Based on a Partitioned Boundary Layer Integral Model

³ 源自網路資料空洞超入門#6 紊流，阻力，邊界層(Boundary Layer)。

⁴ 源自網路資料空洞超入門#6 紊流，阻力，邊界層(Boundary Layer)。

⁵ 圖(三)源自為什麼高爾夫球表面凹凸不平?淺談高爾夫球原理!
(<https://www.techchickensoup.com/technology/golf-aerodynamics-intro/>)

⁶最速泳者的秘密：鯊魚表皮如何對抗阻力。物理雙月刊。



圖(四)，不同流體方向下的魚鱗位置及流線。⁷

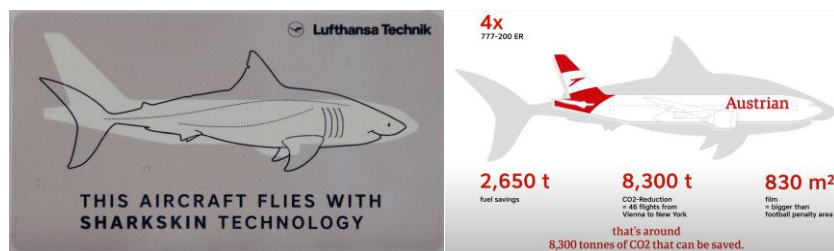
圖(四)中的 a 即為當流體經過鯊魚皮表面時魚鱗的排序。b 則為當表面受到一亂流時，魚鱗便會豎起，抵擋逆向亂流，也會在魚鱗底下形成一小渦流。c 則是當魚鱗豎起抵擋住逆流後，經順向流體恢復排序。借此循環鯊魚就可減少逆流帶來的阻力。⁸

由漢莎技術公司(Lufthansa Technik)與巴斯夫(BASF)公司共同開發的「AeroSHARK」，Riblet 仿生鯊魚皮薄膜技術便是這項仿生學的產物。

此發明便是將厚度僅為 50 微米的仿生鯊魚皮薄膜貼在機體外部，利用其自清潔、抗附著及減阻的特性優化飛機表面的流體動力。根據資料，此薄膜更是達到降低 1% 的燃油消耗，預計能夠減少約 8300 噸的二氧化碳消耗。目前正在使用此薄膜技術的機體也包含了波音 777-200ER 貨機，並由台灣的長榮航空進行機體塗裝，在 2024 年 9 月 2 日於奧地利施行首次飛行。⁹



圖(五)，ANA 日本公司所展示的仿生鯊魚皮薄膜。¹⁰

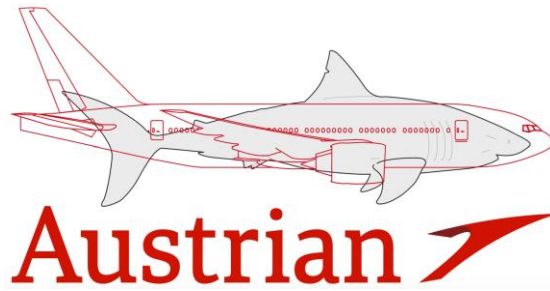


⁷ 圖(四)源自最速泳者的秘密：鯊魚表皮如何對抗阻力。物理雙月刊。

⁸ 最速泳者的秘密：鯊魚表皮如何對抗阻力。物理雙月刊。

⁹ 源自 ANA 航空公司與長榮 EVA AIR 官網。

¹⁰ 源自 ANA 航空公司官網。



圖六、Boeing 777-200ER(截自官方介紹影片 https://youtu.be/3EPBFL_3sjE)。

三、心得

研究完關於鯊魚鱗片薄膜的研究後，我覺得這項發明真的非常的具有商業價值和地球永續的意義，我也很希望這項發明能改變我們的世界。隨著時代的演進和科技的進步，國家之間的地理區隔也變得無形，出國旅遊更是大部分遊客會選擇的娛樂活動，但也因此，飛行運輸工具所產生的碳排放量影響，對於面臨氣候暖化的地球來說更是巨大。全球航空業的碳排放量大約是整體的 2.5%，即是全球的第六大排放源，如果我們能夠好好利用這項仿生科技，想必我們就能改善許多因異常氣候導致的天災，讓我們的環境變得加美好。

參考資料

S.Arunvinthan , V.S. Raatan , S.Nadaraja Pillai , Amjad A.Pasha , M.M.Rahman & Khalid A. Juhany. Aerodynamic Characteristics of Shark Scale-Based Vortex Generators upon Symmetrical Airfoil. *Energies* 2021, 14(7).

The speedy secret of shark skin。Amy W. Lang。(<https://physicstoday.aip.org/quick-study/the-speedy-secret-of-shark-skin>)

Liu Wang , Dexin Zhang , Zikang Cheng , Jiabin Feng , Bo Sun , Jianye Chen & Junlong Xie. A Rapid Method for Heat Transfer Coefficient Prediction on the Icing Surfaces of Aircraft Wings Based on a Partitioned Boundary Layer Integral Model. *Aerospace* 2025, 12(7), 634.

ANA Inspiration of Japan。(<https://www.ana.co.jp/zh/tw/offers-and-announcements/ana-future-promise/co2-reduction-2024-09-19-01/>)

長榮航空貨機貼膜 運用最新仿生薄膜 AeroSHARK 節油減碳。(<https://www.evaair.com/zh-tw/about-eva-air/news/news-releases/2024-08-23-cargo-news.html>)

Boeing 777-200ER。Austrian。(<https://www.austrian.com/us/en/boeing-777-200er.html>)

為什麼高爾夫球表面凹凸不平？淺談高爾夫球原理！

(<https://www.techchickensoup.com/technology/golf-aerodynamics-intro/>)

Shark skin is adapted for energy-efficient swimming in remarkable ways, some of which are now being copied by designers and engineers。Claas Wegner, Rico Dumcke, Nora Tönnemann。

(<https://scienceinschool.org/article/2017/design-inspiration-secrets-shark-skin/>)

Winning Skin ◦ Science History Institute ◦ Jacob Roberts ◦

(<https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/winning-skin/>)

空洞超入門#6 紊流，阻力，邊界層(Boundary Layer) ◦

(<https://flying609.wordpress.com/2020/11/03/%e7%a9%ba%e5%8b%95%e8%b6%85%e5%85%a5%e9%96%806->

[%e7%b4%8a%e6%b5%81%ef%bc%8c%e9%98%bb%e5%8a%9b%ef%bc%8c%e9%82%8a%e7%95%8c%e5%b1%a4boundary-layer/](https://flying609.wordpress.com/2020/11/03/%e7%a9%ba%e5%8b%95%e8%b6%85%e5%85%a5%e9%96%806-%e7%b4%8a%e6%b5%81%ef%bc%8c%e9%98%bb%e5%8a%9b%ef%bc%8c%e9%82%8a%e7%95%8c%e5%b1%a4boundary-layer/))

最速泳者的秘密：鯊魚表皮如何對抗阻力 ◦ 物理雙月刊 ◦ 林祉均譯 ◦ (<https://bimonthly.ps-taiwan.org/articles/67bc30161efd7411b20cbaa2>)