

淺談水中阻力在游泳運動所扮演的角色

徐嘉良、陶武訓 / 國立體育學院

壹、前言

最新穎、速度最快的跑車，除了強調具有流線的車身外，更強調車子的風阻係數是如何的低。其原因不外乎，風阻係數越小則車中在前進時面對空氣所產生的阻力越小，所消耗能量越經濟，車子也跑的越快，亦即車子的向前推進越有效率。在水中，水的阻力是空氣的近800倍，因此在游泳競賽中的流體阻力，對游泳選手而言是一種極大的反作用力。Watkins(1982)；ASCAS(2000)皆同樣指出影響游泳反作用力主要來源有三種，分別為形狀阻力(form resistance)摩擦阻力(frictional resistance)和波浪阻力(wave resistance)，這三種阻力在游泳選手出發進入水中開始即已同時產生，而且隨著游泳速度的提升，阻力也相對的增加，因此為尋求游泳成績的突破，許多專家、教練分別從選手、游泳器材、游泳池，加以研究改良以尋求游泳成績的提升以及突破。近年來國際的知名游泳器材公司，分別提出許多可以減少流體阻力的器材，如沙魚裝即是近年來最熱門的話題，除此之外2000年澳洲雪梨奧運游泳競賽的大發異彩(<http://www.fina.org/olympicnews.html>)15項世界記錄、38項奧運紀錄以及75項世界

各國的國家紀錄的刷新，主辦單位宣稱，這是因為游泳池做了許多減少流體阻力的設計。由此可見，流體阻力對游泳選手的影響是多麼的大，因此有效的降低游泳運動中，的流體阻力將可大幅度的提升游泳速度。

貳、阻力(resistance)

物體運動於環境中，受到與運動方向相反的環境力影響，即物體運動的阻力。游泳時由於水的粘滯性關係，水分子的內聚力對物體運動產生遞減的過程，也就是水對運動的產生阻力的過程。

運動與阻力是同時產生的，由於阻力存在，使肢體通過運作獲得支撐力，又因阻力存在使身體已獲的推動力消失。游泳技術即是應用阻力的技術來達到身體前進的目的。

例如身體向前游動，準備動作如向前伸臂、收腿等動作的姿勢，應力求受阻力小。逆身體前進方向的動作如划水、蹬腿及身體壓浪動作，應力求受阻程度不斷加大，不斷取得水的支撐，製造推動力。在應用阻力上，改進身體姿勢與加強動力同等重要，如在一定動力下，改進身體姿勢減小受阻程

度，即會加快速度。

參、構成阻力的因素

一、形狀

指物體在速度方向上或相對水流方向上形成的水環流形狀，根據物體前後形成的壓力和流速變化形成的阻力，同一物體因姿勢改變運動時其阻值能產生幾十倍的差異。所以就成功為阻力的主要因素。

二、截面

指運動時在速度方向垂面上的投影面積，即物體使相對流動水流初開的擋水面積。

三、速度

一般情況下阻力與速度的平方成正比，近似流線型體的要小於平方比，近似非流線型體的要大於平方比。在運動中速度變化對阻力變化起重要作用。

四、水的密度

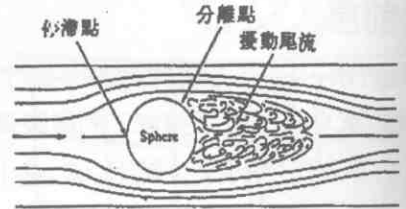
水的密度隨溫度升高而降低，當水溫升高後對物體的浮力和阻力均會減小，游泳池用水規定為 26 度左右，故研究中可視為常數忽略不計。

肆、游泳時人體受到的阻力

一、形狀阻力(form resistance)

又稱壓力阻力，物體運動與阻力同時產生，同時停止。物體或流體呈靜止狀態時周圍壓力平衡，粘滯力不顯示作用。而當物體或流體開始運動時在物體前後方形成的壓力差引起的阻力，稱為壓差阻力，其形成過程

如(圖一)物體從靜止生時前後壓的平衡，物體因運動體推動相鄰的水流因而改變方向，而球體因運動與原鄰近水流產生分離趨勢，球體受壓部分壓力增大，背面則失去原有壓力成負壓區，水流由受壓面的高壓區流向背面低壓區，形成壓力差。



(圖一)資料來源：waterlife.idv.tw

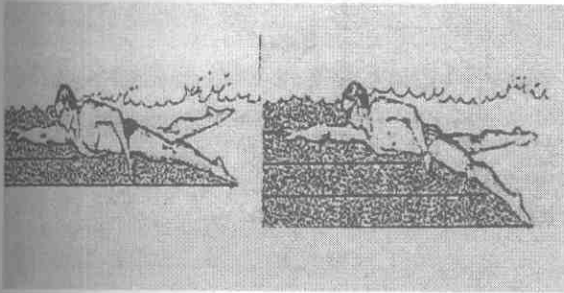
Elliptical cylinder:		Laminar	Turbulent
1:1		1.2	0.3
2:1		0.6	0.2
4:1		0.35	0.15
8:1		0.25	0.1

(圖二)資料來源：Frank, M. White. (1994)
Fluid Mechanics, 255. New York.

由於球體背面不流線，必吸引各方面水流填充負壓區，因而水的內聚力作用產生迴漩的現象，因而形成渦流。

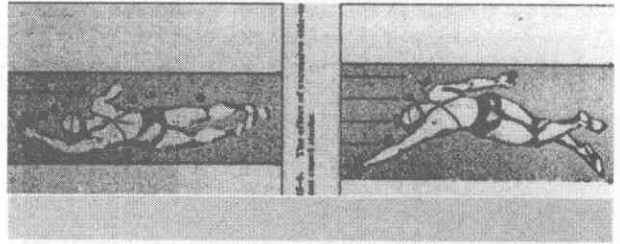
當然隨著物體形狀體積的不同，物體所承受的壓力、阻力也就不同，如(圖二)為四個相同體積的物體，其所承受壓力的方向皆相同，但由於形狀的差異，所呈現出的阻力

數也就大不相同，當受壓面面積越大時與阻力數也就越大。以游泳運動而言，游泳者的身體形態基本上難以大幅度的改變，因此游泳時必需考慮到身體姿勢的改變，如(圖三)以側面觀察，由於身體傾斜的角度差異，造成不同的受壓面積，從圖中可清楚的看出右圖受壓面積明顯大於左圖。



(圖三)資料來源：ASCAS(2000). The Biomechanics of Swimming. 10, Sydney, Australia.

(圖四)則以俯看的角度觀察，當游泳者左、右晃動的幅度越大時，其受壓的面積越大，亦即所受到的阻力越大，左圖泳者擺動動作較小，右圖則具有較大幅度的左右擺動，因此所承受的阻力也較大。由上述的四個圖，應很明確的可了解，在身體形態無法改變的狀況下，維持較佳的游泳姿勢的，將有利於減少、降低阻力，以利在相同的力量下提高游泳的速度。Ungerechts等(1988)在其文章中也提到海豚與人在相同力量與消耗的能量中具有三倍快於人的水中游泳速度，海豚之所以具有如此高的游泳效率，有非常大的原因是因為海豚的身體具有非常好的流體性。



(圖四)資料來源：Ernest, W. Maglischo(1982). Swimming even faster. 297-312, California.

二、摩擦阻力(frictional resistance)

物體相互接觸開並相對運動，或有運動趨勢時，即產生的相對作用力稱為摩擦阻力。

游泳時人體表面為非光滑面，與水接觸時會有部分水分子附著於皮膚紋隙中，運動時由於水的內聚力作用即與相鄰水層產生摩擦現象，水對人產生拉力，人對水產生吸力，此種現象稱為外界力。

摩擦程度取決於物體表面粗糙程度與運動速度的關係。表面越粗糙所帶動的水流越多，而運動速度越快，引起的水層相互摩擦速度越快，摩擦的層度也越激烈，產生的阻力也就越大。靠近皮膚的水層受物體運動的關係，其速度會隨著體表流動，而流動的水流層又拉臨近一層水流促使其流動，依次拉引並促使拉引速度逐漸降低，直至靜止的水層，這個由動到靜的水層稱為“附面層”這程現象稱為內在力。其厚度和激烈程度表示阻力的大小，對流線型體來說摩擦阻力是主要的阻力成分。

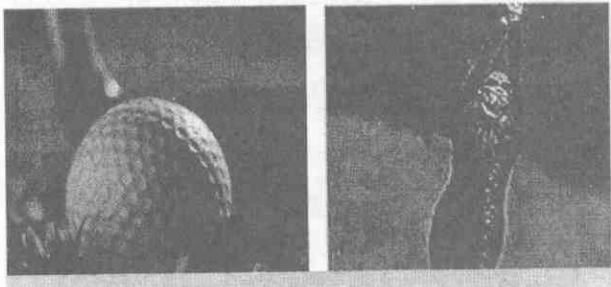
右圖(圖五)即是模擬於人體上的摩擦阻力。



(圖五)資料來源：Ernest, W. Maglischo(1982). Swimming even faster. 297-312, California.

降低人體的摩擦阻力可利用：

(一)體表面上的毛髮：許多優秀的國際級運動員在大賽前會將全身的毛髮刮除，以降低身體的粗糙程度，如澳洲知名游泳選手(Michael Klim)世界重大游泳比賽時，皆會將全身毛髮刮除，因為此舉除了降低身體與水的摩擦阻力外也增加了身體對水的感覺。(Michael Klim)為 100 公尺蝶式及自由式世界紀錄保持人。關於這樣的論點 Rushall 等(1994)；Krueger 等人(2000)分別提出刮除體毛或穿著較光滑的泳衣皆有利於降低水的摩擦阻力。



(圖六、圖七)資料來源：www.waterlife.idv.tw

(二)泳衣的組成：Starling 等(1995)研究發現特殊設計的泳裝較一般的泳裝更能減少游泳選手體能的消耗及提升速度，而這樣的結果應是泳裝的特殊設計減少身體與水的摩擦阻力。2000 年雪梨奧運游泳池畔最炙手可熱的商品，首推鯊魚裝(圖六)，幾乎參賽的選手每人一件，鯊魚裝最主要的述求，就在於可有效的降低阻力，促使選手提升游泳的速度，其設計的構想來自鯊魚及其特殊粗糙的表面，粗糙的表面易使流體形成擾流，讓流體的分離點在游泳者的更後方才發生，壓力阻力亦因而降低。高爾夫球(圖七)的設計也同樣刻意將表面粗糙化，當球被擊出時，如此的設計可讓球飛的更遠。因此粗糙的表面雖然會導致磨擦阻力的輕微增加，但是比起形狀阻力的大量降低，粗糙的表面仍是值得的。(研究發現特殊設計的泳裝較一般的泳裝更能減少游泳選手體能的消耗及提升速度，而這樣的結果應是泳裝的特殊設計減少身體與水的摩擦阻力。)不過由於人的體型已屬流線型，游泳時多半能保持水平狀態，是否會因穿沙魚裝游得更快，仍有待觀查。

三、波浪阻力(wave resistance)

游泳是在水和空氣兩種流體間運動，由於水的密度比空氣大 800 餘倍。當身體運動時必因水的流動性關係被身體推動，使部分水移向空氣中而高出水面，形成波峰，又因水的重力作用而壓回水面，形成波谷。峰、谷在水面依次傳遞，在水粘滯力作用下逐漸

削弱直至停止。在水下運動，由於動作推動水層也要向各方向擴散，一般速度下可擴至厘米，因而作出發和轉身後滑行時，身體應在水下30厘米處可防止水擴散至水面形成波浪，因而增加人的能量消耗，使滑行速度降低。同樣道理手划水時也應距身體30厘米距離，可避免臂手合力推動水流衝擊身體。除此當泳者速度增加時，波浪亦逐漸增加，波浪自牆反射向壓擠泳者，促使泳者身體在水與空氣交接處與運動部位前面部位相互抵觸，使得泳者進前的速度受阻因而變慢。

在現今的游泳比賽中主辦單位或教練會利用下列數種方式來降低、減少波浪阻力對選手的影響。

(一)特殊的潛水游泳：由於考量到波浪阻力對游泳選手的影響，1984年洛杉磯奧運，美國選手與日本選手在100公尺仰式項目中，雙雙利用仰蝶，從出發開始即潛入水中及至35公尺才游出水面，在50公尺轉身後，其再度潛入水中直至25公尺才又出水面，當次的比賽美國選手與日本選手奪得該項比賽的一、二名。許樹淵(1997)提出當身體完全浸於水中時，表面阻力和形狀阻力雖都會加大，但波浪阻力的降低足以抵消這一影響，使總阻力減少。而Mason針對2000年雪梨奧運游泳項目競賽分析中更說明了潛水游泳對提升游泳速度的正確性，Mason(2001)提到蝶式、仰式及蛙式競賽中，選手出發及轉身在水中越長的距離其出發、轉身速度越快。但這樣的游泳方式由於易對

選手造成腦部缺氧的傷害及減少比賽的可看性，因此世界游泳總會特將出發、轉身後潛泳的距離限定在15公尺以內，但多數的游泳選手還是善加利用出發、轉身可潛水的15公尺，特別是蝶式及仰式以達到游泳成績的提升。

(二)特殊快速游泳池(fast pool)：2000年澳洲雪梨奧運游泳競賽的大發異彩，共創造了(15項世界記錄以及38項奧運記錄的刷新)主辦單位宣稱，這是因為游泳池做了許多減少波浪阻力的設計，其設計包含：

1. 加深游泳池的深度：因為較深的游泳池，具有較長的波返射時間，亦即具有較長的緩衝時間，讓波浪逐漸消退。
2. 削波水道線(wave killing lane lines)：這是國際游泳總會規定(FINA)正式游泳比賽，每一個水道需有兩條削波水道線相隔，而水道線的功用在緩衝游泳產生的波浪對游泳選手的影響。
3. 與游泳池同高的排水溝(continuous overflow gutters)任何一座游泳池皆由四面牆所構成，而牆將是最佳的波浪反射器，因此讓充滿能量的波浪，經由四邊與池壁一般高的排水溝自由溢出，將可有效的降低波浪反射對競賽中游泳選手創造較佳的比賽環境。
4. 清澈的水(clear water)清澈不含雜質的水將可降低水對人體的阻力。

(三)波浪的運用：自由式選手採側面呼吸，利用頭部周圍形成的波浪之低壓面呼吸，頭部不必抬高就能作呼氣和呼吸。倘若

泳者泳速慢，波浪小，低壓面小，因之需抬高頭部、嘴巴在水面上行呼吸。由於此種額外的抬高頭部的方式，會導致軀幹在橫面內產生更大滾轉，進而改變划臂動作，影響水平速度的發揮。

伍、結語

游泳時無論是形狀阻力、摩擦阻力或是波浪阻力都是難以避免的，雖然上述的三種阻力都會隨著游泳速度的增加而相對的提高，但在高速時波浪阻力的提升卻是其他兩種阻力難以比擬的，特別是速度提升 1.6 公尺/秒以上時，(中國體育學院教材委員會，1991，29 頁)游泳產生的波浪阻力會大大的超過其他阻力增加的幅度，因此就單純的降低游泳時的水中阻力而言，形狀阻力或摩擦阻力即使穿上鯊魚裝或是刮掉身上的毛髮，對於游泳的速度而還是非常有限的，因此在力量不變下想提高游泳速度，那麼改進游泳時身體划水的姿勢和保持流線型以減少波浪阻力及受其影響是非常重要的。

參考文獻

中國體育學院教材委員會(1991)：體育學院游泳專修通用教材。1-10 頁，北京：人民出版社。

許樹淵(1997)：運動生物力學。395-556 頁。台北：合記圖書出版社。

ASCTA(2000). The Biomechanics of Swimming. (pp1-10). Sydney, Australia

Ernest, W. Maglischo(1982). Swimming even faster

(pp. 297-312). California: Mayfield Publishing Company,

Frank, M. White(1994). Fluid Mechanics. New York: McGRAW-HILL.

Jomes, E. Counsilman & Brian, E. Counsilman (1994). The New Science of Swimming(pp. 4-7). New Jersey: Paramount Communications Company.

Krueger, J., Mikoleit, J., & Heck, J.(2000). The influence of total body shaving on performance and lactic acid behaviour in swimming. Deutsche Zeitschrift fuer Sportmedizin (Cologne), 51(2), 55-58.

Mason, Bruce(2001). Competition swimming analysis at the Sydney Olympic Game. Medicine and science in sports and exercise, 33, 3.

Rushall, B. S., Sprigings, E. J., Holt, L. E., & Cappaert, J. M.(1994). A re-evaluation of forces in swimming. Journal of swimming research(Fort Lauderdale, Fla.), 10, 6-30.

Starling, R. D., Costill, D. L., Trappe, T. A., Jozsi, A. C., Trappe, S. W., & Goodpaster, B. H. (1995). Effect of swimming suit design on the energy demands of swimming. Medicine and science in sports and exercise, 27(7), 1086-1089.

Ungerechts, B. E., Daly, D., & Zhu, J. P.(1988). What dolphins tell us about hydrodynamics. Journal of swimming research(Fort Lauderdale, Fla.), 13, 1-7.

Watkins, J.(1982). Drag forces which act on the swimmers. Swimming-teacher, 2, 7-10.