

伯努利原理在運動技術運用之探討

李鳳珠¹ 林瑞興²
國立屏東教育大學^{1,2}

摘要

伯努利原理是由瑞士科學家兼數家尼爾·伯努利，在十八世紀所提出的。1726年，經過無數次的實驗後，他發現了「邊界層表面效應」：當流體的速度加快時，物體與流體接觸的界面上的壓力會減小，反之壓力會增加。本研究是以棒球中的變化球，直球的尾勁、桌球的正手拉球、花式撞球、帆船逆風行駛、飛盤、迴旋標等為例，來探討伯努利原理如何運用在這些運動技術上，藉以提供運動員與教練在運動技術分析與創新上的參考，期能藉由運動技術的精進與創新，再創個人運動生涯的高峰。

關鍵詞：伯努力原理、運動技術、運動力學

通訊作者：李鳳珠，屏東市迪化街75-2號8F-3

電話：0912780384

E-mail：happy8022@yahoo.com.tw

壹、前言

伯努利原理(Bernoulli's principle)在運動中普遍存在，而其應用也相當廣泛，像是飛機的飛行運動就是運用此原理所製造出來的。除此之外，在運動技術方面的應用也很多，像是棒球的變化球、王建民的伸卡球、桌球、飛盤.....等，這些球的運動路徑，都可以用伯努利原理來解釋。本研究主要是在探討伯努利原理如何在運動技術上的運用，希望藉此研究把流體力學與運動更緊密結合，提供運動選手或教練設計出更完美的技術，提高我國運動技術水準。

貳、伯努利原理 (bernoulli's principle) 的定義

伯努利原理 (Bernoulli's principle) 是由瑞士科學家兼數家尼爾·伯努利 (Daniel Bernoulli)，在十八世紀所提出的。1726 年，經過無數次的實驗後，他發現了「邊界層表面效應」：當流體的速度加快時，物體與流體接觸的界面上的壓力會減小，反之壓力會增加。為紀念他的貢獻，這一發現被稱為「伯努利效應」。除了氣體之外，伯努利效應也可以適用其他一切流體。

伯努利方程式並非是新的定理，而是把能量守恆定律 (動能+位能=定值) 表述成適合流體力學應用的形式 (壓力+動能+位能=定值)，得到

$$P + 1/2\rho\mu^2 + mgh = \text{const}$$

P：壓力 ρ ：液體密度 μ ：流速 m ：物體質量 g ：重力加速度

h：物體所在高度

一、伯努利定律 (Bernoulli's Law) 的由來：

(1) 來自血壓的靈感：

25 歲的伯努利 (Daniel Bernoulli) 回到了瑞士，並與其父親高徒--尤拉一起研究，它們對血流和壓力之間的關係有很大的興趣，並著手研究。很快的，全歐洲的醫生都使用伯努利的方式量病人的血壓，一直到 170 年後(西元 1896 年)，一個義大利的醫生改良方法，一直沿用至今。

(2) 由牛頓運動定律衍生出流體力學。

伯努利想更進一步的研究血流和血壓，所以他又返回早期所研究的能量守恆的工作，進而發展出伯努利定律。

二、名詞解釋

(1) 伯努利定律 (Bernoulli's law)

伯努利從牛頓運動學中，能量守恆觀念：動能+位能=定值，推導出

伯努利定律：動能+壓力=定值。當液體流速減少時，壓力便會增加。

伯努利定律簡單的說就是：流體流速愈大，壓力愈小。描述流體沿著一條穩定、非粘滯、不可壓縮的流線移動行為 (維基百科)。

(2) 伯努利原理 (Bernoulli's principle)

流動的氣體，其壓力會減少，流動越快，壓力越小。所以當吹風機風速增強時，壓力就越小，周圍的壓力較大，就把球往內壓，所以球不會掉下來。為了紀念伯努利在流體力學的成就，後人把與流體力學相關的效應，皆稱為伯努利原理或伯努利效應。

參、伯努利原理 (Bernoulli's principle) 在運動技術的應用

一、棒球 (Baseball)

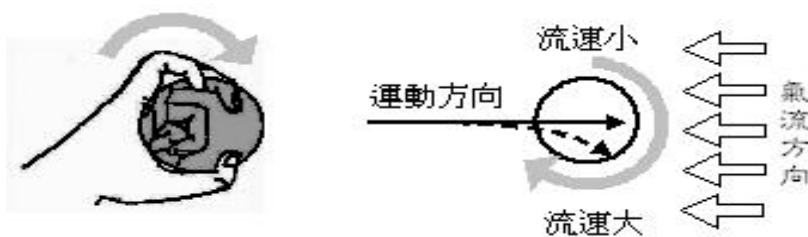
棒球是一種在室外場地使用一根球棒和球進行的球類運動。此運動既可做業餘競賽也可視為是職業運動，比賽的目標是獲得比對方更多的分數。不過，讓人搞不懂的是，明明是一隊九人的比賽，但 80% 的觀眾目光焦點卻都只集中在投手一人身上，就像王建民的伸卡球般總是能吸引全場球迷的目光。

棒球投手在比賽中扮演著很重要的角色，投手的球質長期以來一直被棒球界討論著，但造成球質的原因至今仍無法得知 (吳建龍, 2007)。但棒球投手要投出好球，除了要有直球外，還得搭配一些變化球，才有機會嚐到勝利的果實 (劉得梭, 2006)。投手的表現往往影響比賽的結果，可見投手投球技術關係著球隊是否能獲勝的主因之一。

投球是一種科學與藝術的結合，投球在力學上的基礎理論、投球動作的分析、握球的方式、球的變化及比賽的運用等 (林光宏, 2006)，都要計算精細，才能投出令人感到變化莫測的好球來。

(1) 變化球的由來

絕大多數的變化球要點在於讓球旋轉，因為棒球的縫線可以增加對空氣的摩擦力，這樣投手在投出球的時候，可以依據想要投出的球形。以大家最為耳熟能詳的下墜球 (sinker) 為例，投手在拋出此種球路時的最後瞬間會有一個扣手腕的動作 (圖一左方)，此動作可以使球在向前運動的過程中產生自旋，進而造成球體上下表面氣流速度的不同，這種流場特徵可藉由「伯努利定律」(Bernoulli's law) 加以解釋：「局部流體速度增加時，該處之壓力將會相對降低」，因此對於上述球體上表面的氣流由於自旋及迎面而來的速度相反，所以二者相互削弱 (圖一右方)；反之，下方流場之自旋及迎面而來的流速相互疊加，所以下方流體速度比上方還要大，因而導致球體上方壓力大於下方，這說明了下墜球之所以下墜的原因 (李濟國, 2004)。這種基於球體旋轉而產生變化的觀念，亦可用以解釋類似之側偏滑球 (slider)、曲球 (curve)、螺旋球 (screw)、指叉球 (fork) 還有王建民的伸卡球等。



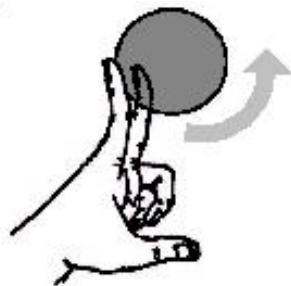
圖一 投出變化球的圖解 (圖取自 李濟國, 2004)

(2) 直球的尾勁

在看棒球比賽時常會聽到「這個投手的直球很有尾勁」的說法，所謂「尾勁」，是指球自出手後飛至打者面前時，球速並不會明顯地減弱 (有的甚至會讓人感覺到球速在面前開始加快!)，因此有尾勁的球比較容易讓打者感到來不及出棒。而對於打擊區的打者而言，有尾勁的球還會上飄! 如此一來這種球自然更難被打得紮實。

這種上飄現象的成因，可以從直球的拋球動作中找出端倪。不同於上述的下墜球，直球在出手時並沒有扣手腕的動作，因此球被拋出時，球乃自指尖向上「滑出」(如圖二)，此時球會受到一個與下墜球反向的自旋，雖然受限於人體結構使得這種自旋無法像下墜球般明顯；但如果在尾勁充足，使得球路不至於因重力而產生自然下墜 (俗稱的小便球) 的前提下，基於伯努利定律會使球在本壘板前因向上的自旋，而讓人感到球在

上飄，而且尾勁愈強時上飄現象愈明顯。變化球中之噴射球(shoot)也是利用此種相似特性產生上飄的。



圖二 直球--球自指尖向上滑出 (圖取自 李濟國，2004)

二、桌球 (Table tennis)

蕭存沂 (1996) 認為桌球是一種非常高度技巧的運動，它綜合了準、穩、快、狠、轉、變等六大特性。唐鑫森 (2002) 認為桌球正手拉球是所有桌球技術當中，較為積極主動並具有直接壓迫性的運動技術。正手拉球是一種上旋球，它是利用球拍由上而下擦乒乓球，乒乓球的上部就向前旋轉，又叫前進旋轉球，前進旋轉的球，在空中比普通的拋物線降下得快，這種球稱為上旋球 (林樹聲，1974)。

造成上乒乓球旋轉前進的原理也可以用伯努力原理來說明：當球體向上旋轉時，球體下方的空氣流動量加速；另一方面球體上面空氣流動量緩慢，空氣的壓力在球的上方大於球的下方，進而造成上旋前進的效果。

另外，如果是撞擊點比中心點稍微低一點，或是力道有變化時，反射角也會產生變化。當我們擊出旋轉球時，母球的迴轉次數越多則反射角的變化就越厲害。這撞擊點的不同，所造成的旋轉角度與速度也會有所差異，這也是「伯努力原理」的運用。

三、帆船 (Sailing Boat)

帆船應用的原理跟飛機起飛是一樣的，我們將帆面想像跟飛機機翼一樣，船身朝逆風方向時，調整帆面使其迎風而行，風吹過帆面好比通過飛機機翼一般，風吹過帆面前緣，因為走的路徑較長，因此速度較快的緣故失去少許壓力，與通過帆面後緣的風產生壓力差 (驅動力)，這會使帆面有一股拖曳的力量，就是這力量驅使帆船得以朝逆風方向前進。帆船在順風和逆風時以不同方式前進，順風時，風從後面推動使其前進。逆風則是靠著「伯努力定律」，也就是利用空氣流經帆的弧面時，帆內、外部產生的壓力差使其前進。但帆船在逆風的部份情況下會有不穩定的現象，這主要是由於帆船的縱向度及所使用的帆有不穩定的作用所造成，因此能夠控制好帆舵就能使航向保持穩定 (林馮郎，1987)。

四、飛盤 (Frisbee)

飛盤運動在近幾年已躍升為國際賽事，也是 2009 高雄世運會一項重要的比賽。飛盤在飛行的時候，凸面會形成較快的氣流，使表面氣壓降低 (伯努力定律)；由於上下兩面受力的差異，飛盤獲得昇力而延緩下墜。飛盤的凸面必須維持在上方，才能再前進時保持昇力，飛盤轉動時，能維持盤面方向，是因為轉動的物體具有較大的角動量，受外力矩的影響較小。轉速越高時，物體的角動量越大。同樣轉速的物體，若轉動慣量越大 (物體質量較大，或質量分佈離轉軸較遠)，則角動量也越大。物體受風時，風力垂直於物體表面。物體運動時，速度越快，阻力也越大。飛盤擲接賽，係選手利用控盤能力，藉由飛盤之特性以取得優勢，爭取勝利 (中華民國飛盤協會)。所以如能掌握住飛盤飛行原理，再加以變化與鍛鍊，相信擲準技術一定會更精準。

五、迴旋標 (boomerang)

周哲仲(2001)迴旋標和竹蜻蜓用的原理是一樣的，旋翼轉動時就會提供昇力，但如果你把竹蜻蜓在鉛直面上轉 90 度，也就是讓竹蜻蜓向水平的方向飛出去，這時候旋翼提供的昇力就不是鉛直方向，而是水平方向。

迴旋標為〈字形彎曲，當我們拿著迴旋標的一端用力旋轉，向前擲去時，由於旋轉的力量和迴旋標的兩面擦過空氣時所造成的力量使迴旋標利用旋轉擦過空氣，就會使迴旋標離手後呈一種特別的曲線飛行。所以迴旋標的原理很簡單，就是用旋翼提供水平的向心力，使其做出圓周運動，便可在飛行一圈後回到手上，而這使其產生旋轉的原理，也是伯努力原理的應用（褚德三，2007）。

旋轉物體的慣量就是“轉動慣量”，轉動慣量不只和物體的慣性質量相關，而且對於質量的分佈更敏感。掌握這些重點後，相信駕馭迴旋標更能輕鬆自如。

肆、結語與建議

大部份的運動中尤其是球類的投擲，其力學原理大部份都與伯努力原理有關，但一般教師或教練在教導學生或選手時，絕大部份只對個人的投擲力道、身體擺動的大小或彎曲的角度做一調整與訓練，並不大會對球本身受力後所行經的路徑加以分析、說明，因此大部份的選手或運動員的運動技術大都只是傳承少有創新，這也說明了為何我國的球類運動無法站在世界頂峰的原因。像最近王建民在美國大聯盟賽會上主投三場，三場皆因球路已被對方摸清楚而失分連連，假如王建民能在球路上多做變化，相信他在投球丘上仍大有可為。

在這個資訊取得容易的時代裡，想要讓自己成為世界級的運動員，除了熟練基本運動技術外，尚需有自己的獨特或獨創的運動技術才有機會。有道是：工欲善其事，必先利其器。所以運動選手須對力學原理有所了解，便能使用它並改良技巧或創新技術，再造運動生涯高峰。希望這個探討能喚起大家對運動技術（包括球體本身的材質、如何讓球的行徑更符合所需……）的重要，且如果能結合各領域人才共同研究，相信我國的運動選手一定能在國際舞台更發光發熱。

參考文獻

- 中華民國飛盤協會 <http://www.ctfda.org.tw/>
- 吳建龍(2007)。棒球投手球質之探討。未出版碩士論文，國立臺灣體育大學，桃園縣。
- 李志男(2005)。花式撞球選手定桿出桿動作上肢之運動學分析與穩定度探討。未出版碩士論文，國立臺灣體育大學，桃園縣。
- 李靜宜(譯)(1993)。牛頓打棒球。台北：牛頓出版社。(Robert K. Adair)。
- 李濟國(2004)。棒球中的流體力學。海軍軍官學校慶祝五十七週年校慶教官師論文專輯，73-77。
- 周建和，鄭偉文，唐健文(2005)。迴旋鏢(boomerang)的製作與其教學應用。高雄師範大學，高雄市。
- 周哲仲(2001)。秀斗泰山飛去來—迴旋鏢原理與實作。2001年物理教學及示範研討，逢甲大學，台中市。
- 林光宏(2006)。棒球投手。出版碩士論文，國立臺灣體育大學，桃園縣。
- 林郁捷(2006)。棒球投手投球動作之運動學分析。碩士論文，私立輔仁大學，台北縣。
- 林馮郎(1987)。帆船以帆力回授之自動操舵。未出版碩士論文，國立清華大學，新竹

市。

- 林樹聲 (1974)。《乒乓球訓練圖解》。臺南：新世紀出版社。
- 邱宏達 (2003)。《撞球基本桿法之力學分析》。《教練雙月刊》，2003.03。
- 唐鑫森 (2002)。《如何提高桌球正手拉球的連續性》。《乒乓世界》，2，37-38。
- 張文忠 (2004)。《棒球投手的投球技能指導觀念淺論》。《大專體育》，75，47-51。
- 陳建銘 (2004)。《優秀成棒投手之上肢動力學分析與等速肌力特徵比較》。未出版碩士論文，國立臺灣體育大學，桃園縣。
- 褚德三 (2007)。《生活中的實用物理》。臺北縣：騰龍文化。
- 劉得梭 (2006)。《「我的球會轉彎」：一位奧運棒球投手生涯轉換敘說》。碩士論文，國立臺灣體育大學，桃園縣。
- 鄭士豪 (1986)。《帆船之自動航行》。未出版碩士論文，國立清華大學，新竹市。
- 蕭存沂 (1996)。《桌球的基本技巧分析》。《大專體育》，24，116-118。
- 奇摩知識+ <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1305082910265>
- 奇摩知識+ <http://tw.myblog.yahoo.com/jw!VrAomp.AFRU1VVR0.naMnQ--/article?mid=112>