

高爾夫球鐵桿頭甜蜜區之分析

王柏村 劉健烽 黃必偉

國立屏東科技大學機械工程系

摘要

本文主要是對一高爾夫球鐵桿進行實驗模態分析，以求得球桿之模態參數，包括自然頻率、振型及阻尼，主要的實驗方法為利用敲擊高爾夫球頭，分別在握把處及球頭處量測響應，得到球頭之振型。由球頭振型的節點位置找出球頭之甜蜜區。結果顯示本文所進行實驗球桿之甜蜜區位於打擊面中央上方與一般之認知相符。因此本文所用之方法可提供高爾夫球頭設計者判斷甜蜜區範圍的方法之一，亦可作為整支高爾夫球桿品質之評鑑方法。

一、前言

近年來全民運動風氣的逐漸盛行，在競技場上的競爭也愈來愈激烈，造成對運動器材的需求及要求愈來愈講究。因此運動器材除了要讓使用者感到舒適，也要提供一些客觀的研究數據取信於顧客。就高爾夫球運動歷史悠久而言，在球具上的進步未曾間斷。就高爾夫球頭與球桿之設計製造的研發工作，應有幾項重點：1.材料素材：包括球桿材質早期如鐵桿、鋁桿到碳纖維桿等，球頭材質如鈦合金、不鏽鋼、鐵鋁鎳等，都在增加高爾夫球桿的性能，如高強度、高韌性、重量輕。2.加工製造方法：從傳統鑄造、精密脫蠟鑄造、高溫高壓加工等朝向產量多、不良率低、降低成本等方向改進。3.設計方法：從早期代工到現在慢慢自創設計品牌。4.設計分析能力：球桿振動特性之分析、球頭甜蜜區分析等各種設計分析考慮已逐漸受到製造廠商的重視，但為現在我國產業最缺乏的能力。

國內、外對於高爾夫球桿等也有相關的文獻探討如邱佑宗 [1]高爾夫球頭甜區計算，採用向量及動力學分析高爾夫球與球頭撞擊之行為，文中定義許多數學模型，並計算兩者碰撞後之速度，角速度變化，也考慮了高爾夫球體表面坑洞(dimple)於空氣中飛行所受的影響。最後再以高爾夫球頭的射程、能量來定義高爾夫球頭甜區之位置。Swider et al. [2]以鐵球頭和複材球桿來加以分析探討。經由實驗分析，可以得到其扭力並修正適當的位移條件，以得到其自然頻率及振型，進而設計對使用者較舒適的球桿。Hockell et al. [3]使用非接觸式雷射振動儀及電子光束干涉技術求得空心高爾夫球頭之振動模態特性，並以有限元素分析分析，驗證其分析所得之結果。Wicks et al.[4]應用振動模態分析技術，由球桿

之振動模態、聲音模態及結構阻尼，來探討比較鑄造與鍛造球頭之差異性。Merkel and Blough [5]則應用模態分析技術得到球頭之模態振型，同時也探討擊球點在甜蜜區與非甜蜜區，握把、球頭之振動頻率響應，以瞭解揮擊過程之能量損失情形。Wicks et al. [6]以衝擊錘作用於球頭，並量測握把處之加速度，以到頻率響應函數，再擷取球頭之模態振型，也得到如 Merkel and Blough [5]之似結論 Okbuo and Simada [7]運用 CAE 以三種不同的邊界條件來分析高爾夫球桿，包括進行模態測試、甜蜜區的定義及擊球時衝擊力之測試。王柏村與黃瑞光 [8]主要對一高爾夫球鐵桿分別做有限元素分析及模態實驗分析，分別求球桿頻率響應函數及模態參數，再進行驗證探討有限元素模型的適應性。

本文對球頭打擊面『甜蜜區(sweet spot)』作進一步分析及探討分佈的範圍。所謂甜蜜區之意涵為：球頭打擊面中央區域，能使擊球射程最遠、對使用者振動程度最小舒適度之點，因握把處感覺的舒適與否關係著擊球員振動大小，而振動能量勢必是由擊球員的手臂所吸收，因此必需充分的瞭解握把處的振動特性，並針對此振動特性加以設計以降低振動的影響。而就操作性穩定的球頭其甜蜜區範圍亦相對的增大許多，即使擊球點稍有偏差，也不致使擊球後球體飛行方向偏離過大。但一般甜蜜區之界定多僅止於擊球者之手感，而鮮見量化之研究文獻。所以本文研究之重點，即在於如何藉由球頭在實驗模態分析求得甜蜜區之範圍。

二、問題定義與分析目標

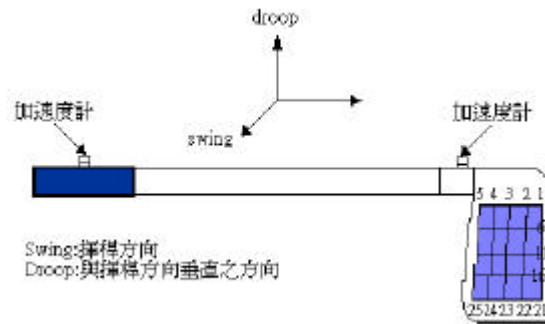
1.問題定義：

本文主要對一高爾夫球 7 號鐵桿為碳纖維球桿之球頭

進行甜蜜區之分析。

2. 分析目標：

本文主要是以實驗模態分析所求取球桿之模態參數，由曲線嵌合(curve-fitting)得到自然頻率、振型、阻尼比，藉由振型特性來探討高爾夫球頭甜蜜區之位置，在求得球頭的節點位置，以界定球頭甜蜜區之位置所在。圖一為加速度計放置位置和球頭打擊面 25 個敲擊點之整支高爾夫球桿。並以 swing 方向和 droop 方向來進行研究分析，比較兩方向之差異性。



圖一、高爾夫球桿

三、實驗模態分析

本文的實驗架構情形如圖二所示，首先將衝擊錘用導線接於訊號分析儀之 A 輸入模組，其次再將加速度計用導線經過電荷放大器接於訊號分析儀之 B 輸入模組，再透過 IEE-488 介面將訊號分析儀與個人電腦相連接。其實驗的動作原理為，利用衝擊錘對高爾夫球桿激振，利用加速度計作感測器，量取結構之響應訊號，經過電荷放大器將訊號傳入雙頻道訊號分析儀，由訊號分析儀對輸入之訊號作快速傅立葉轉換，求得球桿的頻率響應函數和關聯性函數，最後再將所得到的頻率響應函數傳入 CADA-PC 軟體作曲線嵌合工作，則可得到球桿模態參數，即自然頻率、阻尼比和振型等。

實驗過程中，首先須完成 BK 3550 訊號分析儀設定，頻寬設為 0~800Hz，解析條數為 800 條，本實驗驅動器因使用衝擊錘，所以加 Transient 加權函數，在感測器之加速度響應加 Exponential 加權函數。

在進行敲擊實驗時是採用移動衝擊錘，固定加速度器的方式進行。本文將加速度器置於握把處及球頭後方分別對同一球頭之 droop 及 swing 兩方向分析，最後將實驗所產生 droop 及 swing 方向之振型加以分析，並將實驗出之頻率響應函數和模態參數，並利用軟體繪出立體等高線振型圖，方可觀察出節點位置，再從節點位置判別甜蜜區所在之區域。本實驗所使用之實驗儀器及其型號如表一。

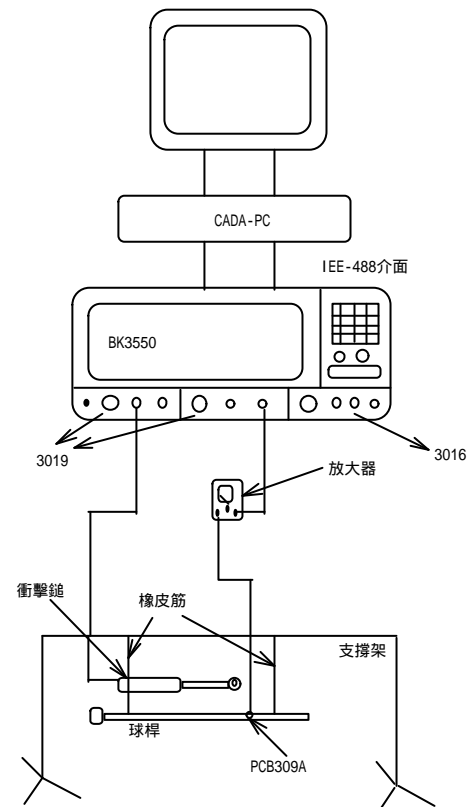
四、結果與討論

1. 加速度計置於握把處

(1) 自然頻率：表二為加速度計置於握把處之頻率，由實驗數據可觀察出 swing 方向之頻率高於 droop 方向之頻率。

表一、使用之儀器一覽表

儀器名稱	型號
雙頻道訊號分析儀	BK 3550
衝擊錘	BK 8202
加速度計	PCB 309A
加速度計之電荷放大器	PCB 480E09
曲線嵌合軟體	LMS CADA-PC



圖二、模態實驗架構圖

(2) 能量：高爾夫球球頭能量之計算，是以球頭 25 個位置振型位移量之大小相加。其能量方程式表示為：

$$E = \sum_{i=1}^{25} |\Phi_i^1| \quad (1)$$

其能量值愈小，即表示其振動愈小，舒適性愈好，對擊球員的振動也相對的減小。表三為加速度計於握把處之能量，可觀察出 swing 方向之能量大於 droop 方向之能量，其原因是因為 swing 為揮桿方向，所承受的振動較 droop 方向來的大。

- (3) 阻尼比：阻尼比值表示球桿吸收振動的性能。其阻尼值愈大亦表示，擊球時振動能量傳給使用者者相對減少。表四為實驗所得之阻尼比，其範圍約在 0.28~2.28 之間。
- (4) 振型：圖三為加速度計於握把處之等高線振型分佈圖。其繪圖數據是由 swing 方向之位移量的平方加 droop 方向之位移量的平方開根號。由圖可觀察出第一個振型之節點位置位於(4,4)之間，第二個振型之節點位置位於(3,4)之間，第三個振型之節點位置位於(3,3)之間，而第四個振型之節點位置位於(3,4)之間。

2. 加速度計置於球頭後方

(1) 自然頻率：表五為加速度計置於球頭後方之頻率。由實驗數據可觀察出 swing 方向之頻率大於 droop 方向之頻率。

表二、加速度計於握把處之頻率(Hz)

	Swing	Droop
1	51.39	44.94
2	162.13	129.17
3	321.38	268.20
4	560.50	500.67

表三、加速度計於握把處之能量

	Swing	Droop
1	3.562854	2.900462
2	3.198704	3.386242
3	4.036552	3.27132
4	4.415407	4.198215
合計	15.213517	13.756239

表四、加速度計於握把處之阻尼比

	Swing	Droop
1	1.73	2.28
2	0.63	0.79
3	0.49	0.43
4	0.27	0.36

- (2) 能量：表六為加速度計球頭後方之能量。所得之結果與加速度計置於握把處相同，皆為 swing 方向之能量大於 droop 方向。
- (3) 阻尼比：表七為實驗所得之阻尼比，其範圍約在 0.29~2.17 之間。
- (4) 振型：圖四為加速度計於球頭後方之等高線振型分佈圖。由圖可觀察出第一個振型之節點位置位於(4,4)之間，第二個振型、第三個振型及第四個振型之節點位置皆位於(3,4)之間。

3. 綜合前兩者之比較分析

(1) 自然頻率：由於本文僅對一球桿進行分析，所以加速度

表五、加速度計於球頭後方之頻率(Hz)

	Swing	Droop
1	52.29	45.25
2	162.45	129.48
3	322.93	268.30
4	561.42	501.68

表六、加速度計於球頭後方之能量

	Swing	Droop
1	2.825364	3.807252
2	3.977267	3.799084
3	4.266578	3.29641
4	4.353713	4.013193
合計	15.422922	14.915939

表七、加速度計於球頭後方之阻尼比

	Swing	Droop
1	1.69	2.17
2	0.61	0.81
3	0.48	0.42
4	0.29	0.34

計置於握把處及球頭後方之頻率變化不大，其第一個振型之頻率約在 45~52Hz 左右，第二個振型之頻率約在 129~162Hz 左右，第三個振型之頻率約在 268~322Hz 左右，第四個振型之頻率約在 501~560Hz 左右。且球頭後方之頻率和握把處之頻率僅僅相差約 1Hz 左右，顯示實驗量測之穩定性。

- (2) 能量：可比較觀察出加速度計於球頭後方之能量大於加速度計於握把處之能量。由於為一球桿能量之大小，所以無法比較出球桿之品質，應在未來的分析研究中與其他球桿進行比較。
- (3) 阻尼比：綜合兩者可觀察出頻率越大則阻尼比越小，且兩者之阻尼相近，代表實驗之準確性。
- (4) 振型：綜合兩者可觀察出振型之大小及範圍分佈。其甜蜜區之中心範圍約在(3,4)之間，也就是位於球頭打擊面中央上方位置，如圖五所示為鐵桿球頭實體甜蜜區分佈。

五、結論

本文對一高爾夫球桿進行實驗模態分析。由球頭振型來探討甜蜜區之位置，分別在握把處及球頭後方量得訊號，並得到模態振型。結果顯示，本文實驗得

到之高爾夫球桿球頭甜蜜區中心位置與一般認知相符，且更能由振動模態提供科學驗證。因此本次所建立之方法可提供高爾夫球頭設計者判斷甜蜜區範圍的方法之一，亦可建立球桿操作性之評鑑方法。

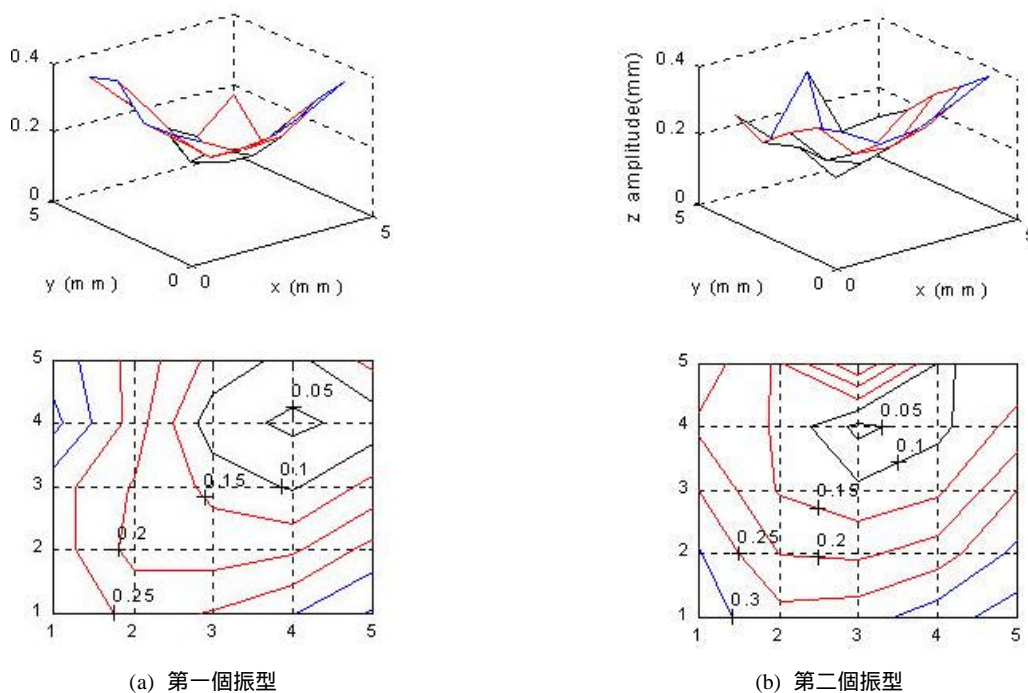
在未來亦可進行其他球桿甜蜜區之分析和研究比較，對未來設計製造高爾夫球桿球頭有助益。

致謝

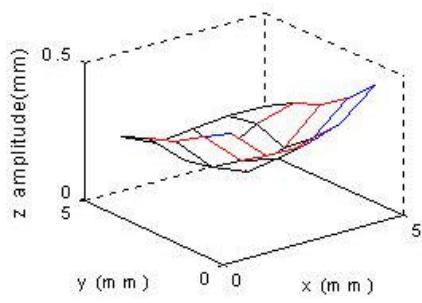
本研究承蒙屏東工業區大田精密工業股份有限公司提供高爾夫球桿，特此感謝。

參考文獻

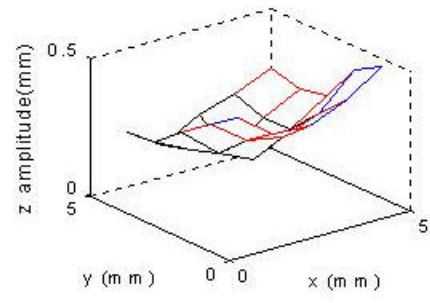
1. 邱佑宗, 1998, 高爾夫球頭甜蜜區計算, *中華民國第二十二屆全國力學會議論文集*, 第 395-400 頁
2. Swider, P., Ferraris, G., and Vicent, B., 1994, "Theoretical and Experimental Dynamic Behavior of a Golf Club made of Composite Material," *The International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis*, Vol. 9, pp.57-69.



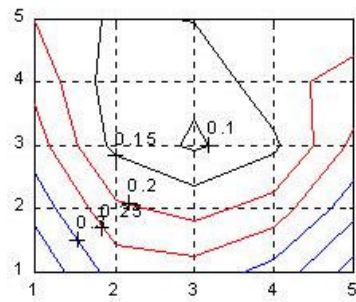
圖三、加速度計於握把處之等高線振型分佈圖



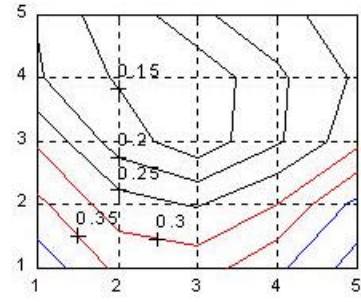
y (mm) 0 0 x (mm)



y (mm) 0 0 x (mm)

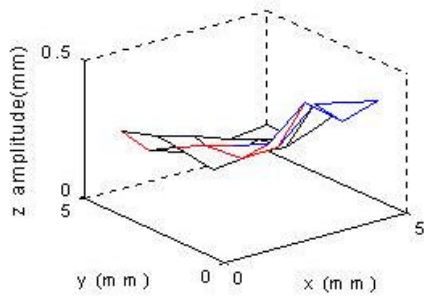


(c) 第三個振型

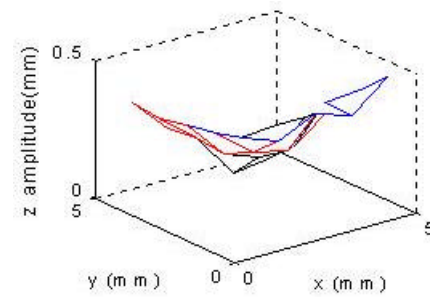


(d) 第四個振型

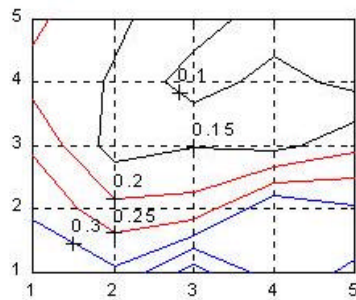
圖三、加速度計於握把處之等高線振型分佈圖(續)



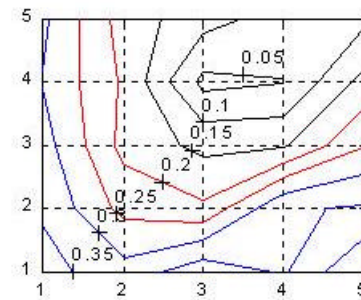
y (mm) 0 0 x (mm)



y (mm) 0 0 x (mm)

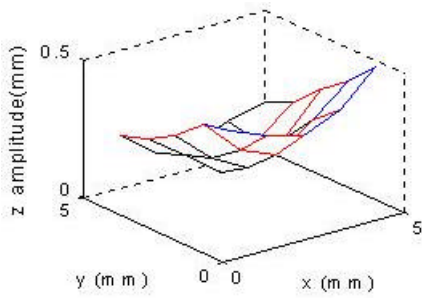


(a) 第一個振型

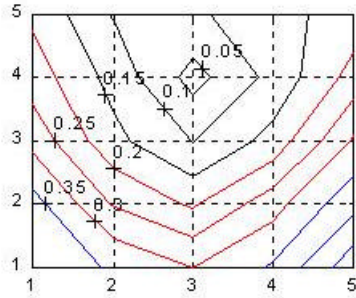


(b) 第二個振型

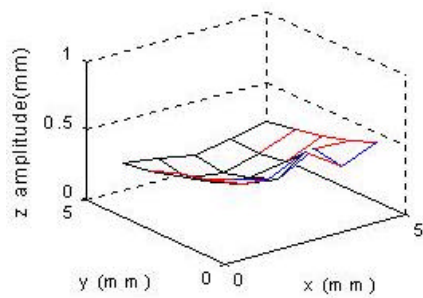
圖四、加速度計於球頭後方之等高線振型分佈圖



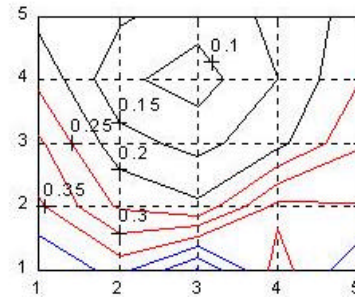
y (m m) 0 0 x (m m)



(c) 第三個振型



y (m m) 0 0 x (m m)



(d) 第四個振型

圖四、加速度計於球頭後方之等高線振型分佈圖（續）

3. Hocknell, A., Mitchell, S. R., Jones, R., and Rothberg, S. J., 1998, "Hollow Golf Club Head Modal Characteristics: Determination and Impact Application," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 38 pp. 173-180.
4. Wicks, A. L., Knight, C. E., Braunwart, P., and Neighbors, J., 1998, "The Dynamics of a Golf Club," *Proceeding of The 17th International Modal Analysis Conference*, Vol. 1, pp. 503-508.
5. Merkel, R.C., and Blough, T., 1998, "Dynamic Characterization and Comparison of Golf Club," *Proceeding of The 17th International Modal Analysis Conference*, Vol. 1, pp. 513-517.
6. Wicks, A. L., Knight, C. E., Braunwart, P., and Neighbors, J., 1993, "Identification of The 'Sweet Spot' for Golf Clubs," *Proceeding of The 12th International Modal Analysis Conference*, Vol. 2, pp. 1803-1806.
7. Okbuo, N., and Simada, M., 1990, "Application of CAE (Computer Aided Engineering) to Golf Club Dynamics,

" *Proceedings of The First World Scientific Congress of Golf 9-13th*, pp. 270-273.

8. 王柏村, 黃瑞光, 1999, 高爾夫球桿振動模態參數之測定, *中華民國力學會第二十三屆全國力學會講論文集 (二)*, 新竹市, 第 457-464 頁



圖五、鐵桿球頭實體甜蜜區分佈

Analysis of sweet spot for an Iron Head

Golf Club

Bor-Tsuen Wang, Chien-Feng Liu, Bi-Wan Huang

Department of Mechanical Engineering

National Pingtung University of Science and Technology

Pingtung, Taiwan 91207

Abstract

This work is to perform experimental modal analysis on an iron head golf club so as to extract system modal parameters, including natural frequencies, damping ratios and mode shapes. With roving the hammer impact on the surface of iron head and measuring the acceleration response at the grip and the joint between club and head, respectively, the frequency response functions can be obtained and processed to determine structural modal parameters. The sweet spot can then be identified from the mode shape information. Results show that the predicted method can be applied location of the sweet spot agrees with the common sense. The proposed method can be applied to design the club head for locating its sweet spot and will also be suitable for the evaluation of golf club dynamic properties.

