

不同高爾夫鐵桿握把處振動品質指標評估與探討

王栢村¹ 李建興² 陳又毓² 許燕吉³ 高毓廷³ 黃裕仁³ 謝佳雄³

¹國立屏東科技大學 機械工程系 教授

²國立屏東科技大學 機械工程系 研究生

³大田精密工業股份有限公司研發中心

E-mail:wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

本文主要以不同型號與有無熱處理之高爾夫7號鐵桿針對揮桿舒適度分析與探討。首先對各球桿進行靜態實驗模態測試，針對高爾夫球桿握把處進行量測，並將所量得之振動特性套用所發展之高爾夫球具握把振動品質指標，同時對各球桿進行實際揮桿擊球，最後將主觀揮桿舒適度評估與客觀握把處振動品質指標值進行比對驗證。除可由實驗角度確認所發展之振動品質指標評估模式之可靠度，更對高爾夫球桿揮桿擊球舒適度有一量化指標。未來可依此分析模式對大量球具進行舒適度指標資料庫建立，並發展指標評估等級分級，使未來無論在球具開發或客戶選購，均能對擊球舒適度有一參考依據。

關鍵詞:揮桿舒適度、實驗模態測試、振動品質指標。

1.前言

目前於高爾夫產業中，對於球具推銷不外乎是球頭重心高低、恢復係數大小、球桿轉折點、球桿撓度，等。即使有如此多之指標名詞來判別球具性能好壞，提到高爾夫球具性能優劣，大部分仍然以主觀感覺為主，並無客觀量化之數據來呈現，此現象對製造商而言，在於有新球具開發過程必須以試誤法來嘗試找到一組所謂品質優良之最佳設計，可能造成的風險便是成本資源的耗費過大。

高爾夫球桿性能評估方面，Cheong *et al.* [1]使用不同高爾夫球桿(golf shafts)分別針對球桿4種不同機械參數進行實驗量測，其中包括振動頻率評估、高爾夫球桿旋轉角度、球桿撓曲度與折返點(kick point)，並利用有限元素軟體經收斂性分析得到球桿性能評估與驗證，未來可依此等效數學模型投入未來球桿製造開發過程之參考依據，避免以試誤法方式進行研發，可減少研發時間與提高生產效能。

高爾夫球頭特性分析部分，則有 Wicks *et al.* [2]比較高爾夫桿鍛造球頭(Forged Heads)與鑄造球頭(Cast Heads)對擊球感覺差異性之探討，實驗方式同時進行傳統實驗模態分析與球頭聲音頻譜量測，期望藉此對高爾夫擊球感覺

有量化之指標定義。Hocknell *et al.* [3]主要利用雷射振動儀針對空心球頭之三種曲面進行實驗模態分析，同時進行有限元素分析，得到模態參數，並與實驗量測結果進行比對，得到球頭之模態特性，並利用球頭中心擊球與偏心擊球所產生之加速度與頻譜進行比較與探討，期望藉此得到球頭模態與聲音頻譜之關聯性，使對日後球頭研發過程中有所助益。Hocknell *et al.* [4]並介紹整體結構因振動而表面產生位移偏移之非接觸式量測方法，主要以高爾夫球與球頭實際碰撞為例，在兩者碰撞期間利用雷射都譜儀進行量測，可因此得到實際碰撞於高爾夫分析中有興趣之資訊，諸如球頭之頻譜響應以及球上某一點之速度變化，未來對於碰撞測試實驗中，使用非接觸式量測可直接且快速得到高品質之實驗結果。

高爾夫球具結構探討中，Wang and Wu [5]結合有限元素分析與實驗模態分析針對一號高爾夫球桿進行模型驗證，求得球桿之等效數學模型，並比較了三種不同邊界條件之振動特性，其中包括自由邊界、手握邊界與固定邊界，且以不同邊界之狀態得到球桿之振動特性，日後可應用於高爾夫球桿之碰撞分析與揮桿測試。此外，在球桿品質關聯性分析中，近年來較為熱門之分析方法則為客觀量測(objective testing)結合主觀評估(subjective rating)之應用，其中 Mansfield *et al.* [6]即是利用此一方法比較以標準分析方法(standard analysis methods)與吸收功率(absorbed power)針對主觀測試及客觀測試進行全身性振動(whole-body vibration, WBV)評估。Roberts *et al.* [7]則結合主觀資料量測(Measurement of subjective data)與客觀資料量測(Measurement of objective data)針對高爾夫擊球感覺進行關聯性探討，在主觀量測中，首先定義高爾夫擊球顫動之特性名詞並提出5個問題，藉以對擊球聲音特性量化，利用問卷調查方式以皮爾森法(Pearson Method)進行資料分析；客觀量測中，則利用加速度計分別黏置於球桿(golf shaft)與握把(grasp)處對現場揮桿打擊進行量測，最後比較主觀分析與客觀量測所得數據加以評估，得到量化之高爾夫擊球聲音特性。

圖1為大田所提供3種不同類型之實際

高爾夫球具編號 A-1、A-2 與 B 示意圖。本文針對大田所提供之球具進行品質指標評估與分析驗證，以期能得到客觀量化之數據，未來可對研究資料建立資料庫，作為日後廠商生產研發新球具之參考。

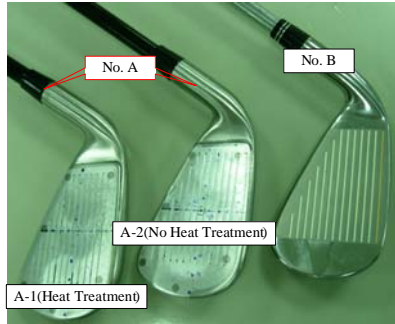


圖 1 編號 A、B 之 7 號鐵桿示意圖

2. 高爾夫球具握把處品質指標定義

由實驗模態分析所得鐵桿之振動特性可針對高爾夫球具握把處進行振動性能指標定義，分為振型累加與頻率響應函數累加兩種方法。

2.1 振型累加之振動品質指標

主要將高爾夫球具握把處之振型進行累加，其指標值愈小，表示該處的振動量愈小，亦即球桿於擊球時傳遞給高爾夫打者的振動量愈小，同時擊球感覺也較佳，握把處振型累加品質指標定義描述如下：

$$PI_i^{grip} = \sum_{n=1}^N \phi_{grip,n,i} \quad (1)$$

$$PI_n^{grip} = \sum_{i=1}^M \phi_{grip,n,i} \quad (2)$$

$$PI_\phi^{grip} = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^M \phi_{grip,n,i} \quad (3)$$

其中， PI_i^{grip} 稱為握把處不同點模態振型累加性能指標，其定義為第一個模態至第 N 個模態之模態振型累加； $\phi_{grip,n,i}$ 為握把處第 n 個模態之第 i 個位置之模態振型值； N 為模態累加之數目； PI_n^{grip} 稱為握把處不同模態之模態振型累加性能指標，其定義為第 n 個模態之球頭打擊面指標值， M 為握把處之規劃點數； PI_ϕ^{grip} 為模態振型累加之握把處性能指標。此模態振型累加之握把處性能指標值愈小，代表擊球舒適度愈佳。

2.2 頻率響應函數累加之振動品質指標

圖 2 為握把處頻率響應函數累加示意圖，揮桿擊球時於打擊面有一外力輸入，握把

處則有響應輸出，該響應與球員感受度則有極高之關聯性，同時可得該球具之頻率響應函數，其中握把處頻率響應函數累加之品質指標定義如下：

$$PI_H^{grip} = \sum_{n=1}^N A_{grip,n} \quad (4)$$

其中 $A_{grip,n}$ 為握把處第 n 個點之頻率響應函數與 X、Y 軸所圍面積，將握把處 N 個量測規劃點之頻率響應函數所圍之面積累加，即為頻率響應函數累加之握把處品質指標 PI_H^{grip} 。

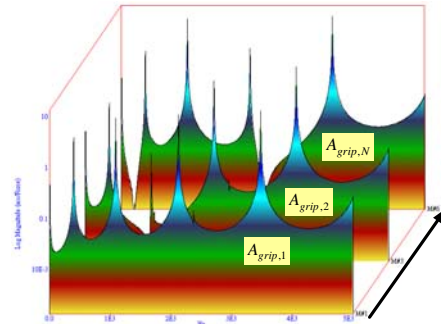


圖 2 握把處頻率響應函數累加示意圖

3. 高爾夫鐵桿握把處振動測試

對高爾夫球具之振動性能指標分析過程中，主要針對編號 A、B 之 7 號鐵桿進行實驗模態分析其中編號 A 之球桿分為經熱處理與未經熱處理等兩種球具，圖 3 為高爾夫球具振動特性量測示意圖，主要於握把處揮桿 (swing) 方向規劃 7 個量測點，並以 PCB 衝擊鏈 086C03 為激振器用以激振高爾夫球具結構，PCB 加速度計 352B10 為感測器並放置於球頭打擊面中心點，感測器接收到信號時，透過頻譜分析儀經快速傅立葉轉換可得到結構之頻率響應函數，有效頻寬為 0-1000Hz，利用模態參數擷取方法進行曲線嵌合可得到高爾夫球具之模態參數，主要包括自然頻率、模態振型與阻尼比。

由所獲得之模態振型與頻率響應函數可依上一節品質指標定義求得不同編號與有無熱處理 7 號鐵桿之握把處振動品質指標，再進一步與實際揮桿擊球舒適性之主觀評斷進行比較與驗證，便可獲得擊球舒適度評估。

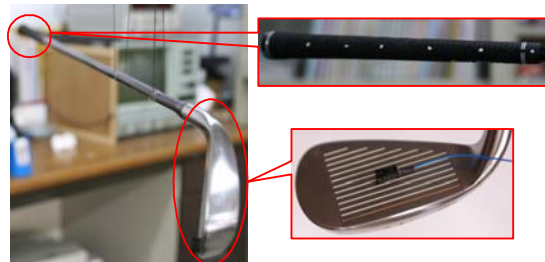


圖 3 高爾夫球具振動特性量測示意圖

4. 結果與討論

由以上握把處振動品質指標定義與球具振動特性量測，於討論前首先對此不同類型鐵桿於實際揮桿擊球之舒適性做說明：

- (1) 編號 A 桿於球頭經熱處理與未經熱處理之揮擊舒適度評價不分優劣，無法以票選得知編號 A 桿於有無經熱處理之擊球舒適度較佳。
 - (2) 而編號 B 桿之擊球舒適度評價則明顯同時優於球頭有無經熱處理之 A 桿。
- 得到此三把球具擊球舒適度評價排名後，接著可針對品質指標數值與不同頻寬之振型累加等兩部分討論之。

4.1 品質指標數值

於不同類型 7 號鐵桿之握把處振動品質指標探討中，由實驗角度可分別以振型累加方式與頻率響應函數累加方式獲得指標值，表 1 為不同類型 7 號鐵桿握把處品質指標表，討論如下：

- (1) 表中可得到握把處振型累加之各模態品質指標值與其貢獻度，同時也獲得振型累加與頻率響應函數累加總值。
- (2) 就各模態之振型累加值與貢獻度而言，此三類型球桿均於高頻模態有較大的貢獻度，均高達 44% 以上，座落之頻率範圍約於 800Hz-1000Hz 內，因此推測激振頻寬 1000Hz 內，影響球員揮桿擊球舒適感之頻寬約於 800-1000Hz 範圍。
- (3) 於握把處振動品質指標值計算中，值愈小表示實際擊球激振時，球員於握把處對振動量的感受度愈低，揮桿擊球之舒適度愈高。
- (4) 就振型累加總值部分，球桿編號 A-2 有

最大值 5262.06，其次為 A-1 的 4645.24，編號 B 則有最小總值 1976.37，就此數值而言，推測球桿編號 B 會有最佳揮擊舒適度，其次分別為 A-1 與 A-2。

- (5) 就頻率響應函數累加總值部分，球桿編號 A-2 有最大值 4007.33，依序分別為 A-1 的 3943.37 與編號 B 的 2128.27，就此數值而言，與上述討論有相同之擊球舒適度排名，最佳依序為球桿編號 B、A-1 與 A-2。
- (6) 就品質指標值差異而言，有以下討論：
 - 在振型累加部分，球桿編號 A-1 與 A-2 總值差異量為 11.72%，球桿編號 B 總值則分別與 A-1、A-2 差異量為 57.45% 與 62.44%。
 - 在頻率響應函數累加部分，球桿編號 A-1 與 A-2 總值差異量為 1.60%，球桿編號 B 總值則分別與 A-1、A-2 差異量為 57.45% 與 62.44%。
- (7) 由握把處振動品質指標之振型累加與頻率響應函數累加等兩種計算方法，有以下討論：
 - 均可得到三類型球桿擊球舒適度好壞之相同排名，將此結果比較實際球員揮桿之主觀評價，發現球桿編號 A-1 與 A-2 品質指標總值最大差異量為 11.72%。
 - 此極可能為造成球員無法區分上述兩者舒適度之優劣，而球桿編號 B 與前兩者之品質指標總值則均有 55% 以上之差異，故球員可明顯感受到 B 球桿於揮桿擊球之舒適度遠高於其他兩隻球桿。

表 1 不同類型 7 號鐵桿握把處品質指標表

Type	A				B	
	A-1(Heat Treatment)		A-2(No Heat Treatment)		Index Value	Contribution(%)
mode	Index Value	Contribution(%)	Index Value	Contribution(%)		
1	27.428	0.59	36.017	0.68	48.081	2.43
2	44.76	0.96	42.081	0.80	26.659	1.35
3	153.56	3.31	190.46	3.62	17.778	0.90
4	76.2	1.64	68.22	1.30	47.11	2.38
5	21.718	0.47	22.32	0.42	183.56	9.29
6	541.9	11.67	606.88	11.53	101.83	5.15
7	73.17	1.58	60.28	1.15	49.85	2.52
8	1054.1	22.69	1095.3	20.82	505.48	25.58
9	528	11.37	369.9	7.03	108.42	5.49
10	2124.4	45.73	1.5975	0.03	887.6	44.91
11	—	—	2769	52.62	48.081	2.43
PI_{ϕ}^{grip}	4645.24		5262.06		1976.37	
PI_H^{grip}	3943.37		4007.33		2128.27	

4.2 不同頻寬之振型累加

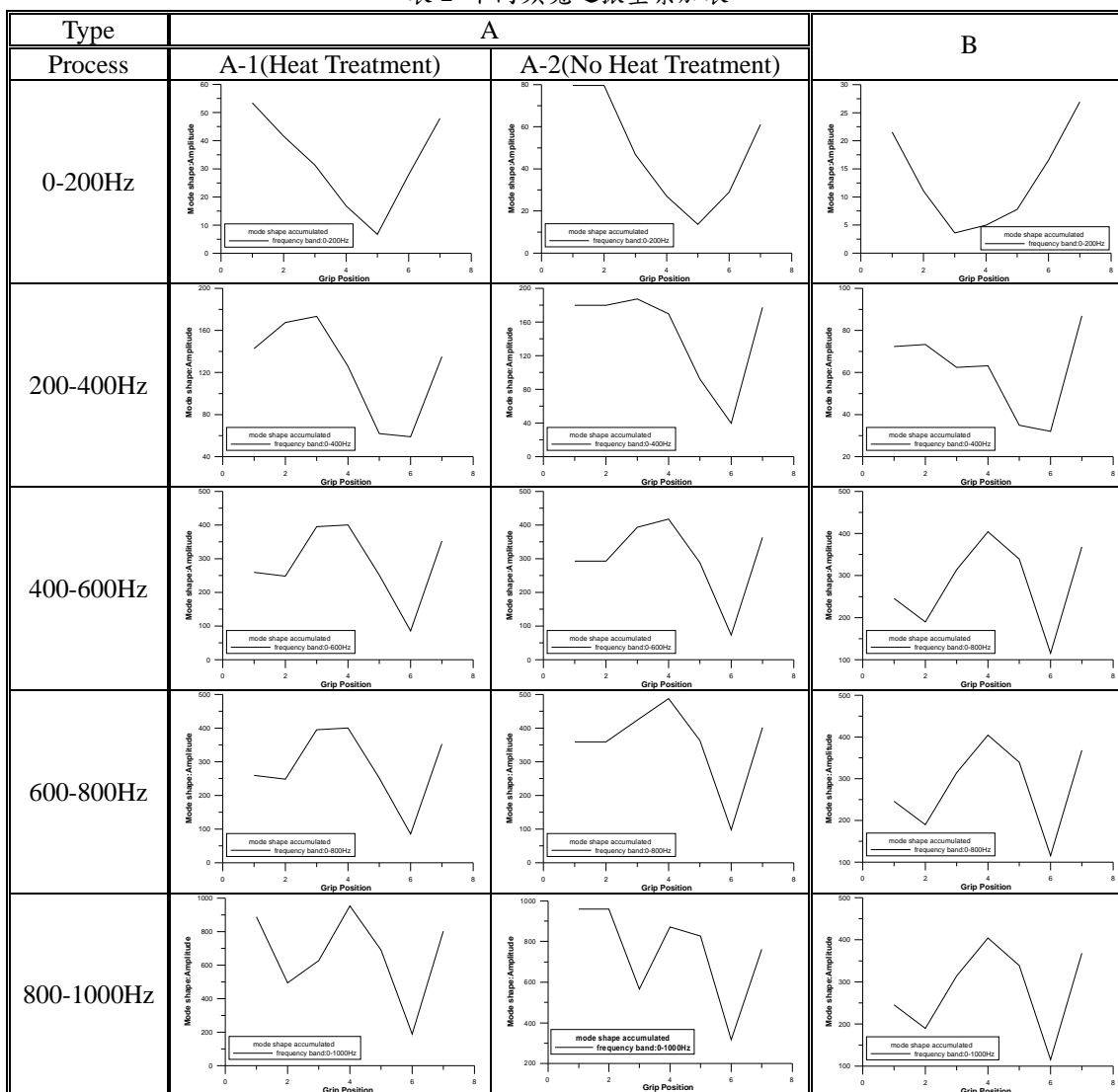
於握把處振動品質指標之振型累加計算方式中，可觀察不同頻寬之累加振型，表2為不同頻寬之振型累加表，討論如下：

- (1) 表中可觀察品質指標於振型累加計算方式中，不同頻寬下所累加之模態振型，其中橫軸為量測點位置，縱軸為振型振幅累加值，累加值愈小，所代表意義為球員對振動量之感受度愈小。
- (2) 在 0-1000Hz 之頻寬內，表中累加振型無

論是球桿編號 A-1、A-2 或 B，均於離握把端點 1/7 處有最小值，顯示握把該處於實際擊球有最小之振動量。

- (3) 綜合比較 3 種不同類型之球桿，無論擊球舒適度好壞，均於頻寬範圍 0-1000Hz 有相同趨勢之累加振型，同時也顯示於高爾夫鐵桿外型與材料之設計製造組合並非偶然，藉由本文所提出之品質指標評估模式亦期望能回饋於球桿設計開發，以提高產品品質。

表 2 不同頻寬之振型累加表



5. 結論

本文針對 3 種不同類型之球桿進行握把處振動品質指標之評估與驗證，其中包括球頭經熱處理之球桿編號 A-1、球頭未經熱處理之球桿編號 A-2，與球桿編號 B，其中更對球桿品質指標之取得發展振型累加與頻率響應函數累加兩種計算方式，並與實際球員擊球舒適

度相互比較，亦得到良好之驗證，未來希望藉由此評估模式可回饋至高爾夫球桿設計開發階段，以節省人力與資材成本，提高產品品質與可靠度。

6. 致謝

感謝教育部產學園區計畫公-05-工-033

及大田精密工業股份有限公司經費支持以及球具提供，使得量測進行順利，特此致謝。

7. 參考文獻

- [1] Cheong, S. K., Kang, K. W., and Jeong, S. K., 2006, "Evaluation of the Mechanical Performance of Golf Shafts," *Engineering Failure Analysis*, Vol. 13, pp. 464-473.
- [2] Wicks, A. L., Knight, C. E., and Neighbors J., 1993, "The Comparison of Forged Heads to Cast Heads for Golf," *Proceedings of the 12th International Modal Analysis Conference*, Vol. 2, pp. 1979-1802.
- [3] Hocknell, A., Mitchell, S. R., Jones, P., and Rothberg, S. J., 1998, "Hollow Golf Club Head Modal Characteristics: Determination and Impact Applications," *Experimental Mechanics*, Vol. 38, pp. 140-146.
- [4] Hocknell, A., Jones, R., and Rothberg, S. J., 1998, "Remote Vibration Measurements Compensation of Waveform Distortion Due to Whole Body Translation," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 214, No. sv981529, pp. 285-307.
- [5] Wang, B. T., and Wu, G. Z., 2005, "Modal Properties of Golf Club Wood Driver in Different Boundary Conditions," *The 13th National Conference on the Society Sound and Vibration*, Changhua, C10.
- [6] Mansfield, N. J., Holmlund, P., and Lundstrom, R., 2000, "Comparison of Subjective Response to Vibration and Shock with Standard Analysis Methods and Absorbed Power," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 230, No. 3, pp. 477-491.
- [7] Roberts, J. R., Jones, R., Mansfield, N. J., and Rothberg, S. J., 2005, "Evaluation of Vibrotactile Sensation in the 'Feel' of a Golf Shot," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 285, pp. 303-319.

Vibration Quality Index Evaluation and Discussions of Different Iron Golf Clubs

B-T Wang¹, J-X Li², Y-Y Chen², Y-J Xu³, Y-T Gao³, Y-R Huang³, J-X Xie³
Department of Mechanical Engineering
of Science and Technology National
Pingtung University
O-TA Precision Industry Co., Ltd
¹ Professor
² Graduate student
³ Engineer

ABSTRACT

This paper presents the comfort analysis of different types of number 7 iron golf clubs with and without heat treatment. The clubs are first carried out experimental modal testing and focused on the measurement of grip area on the clubs. The measured vibration response is used to obtain the vibration quality index (VQI). Practical swing tests for those clubs are conducted and subjectively measured for their feel of comfort in swing. The subjective evaluation is then compared with the objective VQI. In addition to verifying the reliability of the developed comfort evaluation in swing for the clubs, the VQI can also provide a quantitative index to club design base on swing comfort. The proposed evaluation procedure can be applied to build up the database for iron clubs and classify the categories of comfort levels. The VQI can be adopted for new club designs as well as for user's selection in the future.

Keywords: swing comfort, experimental modal testing, vibration quality index