

不同高爾夫球桿擊球之音頻特性分析

Characterization of Sound Spectrum of Different Golf Clubs in Swing

王栢村¹、◎李建興²、許燕吉³、高毓廷⁴、謝佳雄⁴

¹屏東科技大學機械工程系教授

²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經理

⁴大田精密工業股份有限公司研發中心工程師

摘要

本文針對不同高爾夫球桿進行擊球聲音測試，主要探討其音頻特性。以麥克風為感測器量測得擊球聲音線性頻譜資訊，由樂音角度探討其差異性，也將線性頻譜資訊轉換成三分之一八音頻帶，並藉由室內噪音評估標準探討不同球桿擊球聲音差異，以期建立高爾夫球桿擊球聲音有一量化指標。本文除了對高爾夫擊球聲音品質差異性有初步瞭解，亦探討不同球桿擊球之聲音差異，希望能發展為高爾夫球桿之品質指標之一，作為球桿設計製造參考。

關鍵字：擊球測試、聲音品質、線性頻譜、1/3 八音頻帶、品質指標

Abstract

This work performs swing tests for different golf clubs to characterize the sound properties. First, the sound quality is defined, and made a description of its difference and expression. Swing tests for different golf clubs are then carried out to determine the linear spectrum data by the microphone. The impact sound characteristics are discussed from the point of view in musical tones. Furthermore, the linear spectrum data is transferred to 1/3 octave band and the different sound quality is characterized by room noise rating index. This work establishes the general idea for sound quality of swing test for different golf clubs, and characterizes the difference of swing test for different golf clubs. The selection of proper quality index for golf clubs is desired and will be beneficial to the golf club design.

Keyword: swing test, sound quality, linear spectrum, 1/3 octave band, quality index

壹、前言

目前高爾夫球桿市場中，行銷手法不外乎低重心，高恢復係數等，隨高爾夫球桿市場的擴大，客戶對球桿使用之舒適度亦逐漸要求，其中對擊球聲音悅耳度備受重視，而擊球聲音易受球頭材料、結構等種種因素所干擾，此外，外在環境更對個人聽覺造成不等之差異，未來在高爾夫球桿之研發過程中，如何確認成品之擊球聲音有較佳之悅耳度為未來之重要課題，在此之前，則必須先對擊球聲音量化，以探討擊球聲音之特性，更瞭解何謂悅耳度佳之

聲音頻譜。

過去在有關高爾夫球桿擊球聲音特性探討部分，Hocknell *et al.* [1] 主要利用雷射振動儀針對空心球頭求得其模態特性，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。翁和康 [2] 針對不同品牌之高爾夫球頭之擊球聲音，配合人耳聽覺與擊球聲音頻譜分析而找到辨別擊球聲音好聽與否之鑑別方法。康等人 [3] 針對不同品牌之高爾夫球桿進行擊球聲音頻譜分析，同時對球頭與高爾夫球以有限元素軟體進行碰撞分析，利用整體碰撞模型所產生之加速度進行快速傅立葉轉換所得之頻譜圖，藉以探討球頭結構與擊球聲音頻譜之關聯性。Roberts *et al.* [4] 結合主觀資料量測 (Measurement of subjective data) 與客觀資料量測 (Measurement of objective data) 針對高爾夫擊球聲音與擊球感覺進行關聯性探討，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。王和黃 [5] 針對不同高爾夫球桿進行傳統實驗模態分析，以麥克風為感測器，對球頭敲擊聲音進行聲音頻譜量測，並對聲音品質加以定義，並得到高爾夫球頭擊球聲音品質之評估模式。王等人 [6] 首先結合有限元素分析與實驗模態分析求得高爾夫球頭之等效數學模型，並利用衝擊錘對球頭打擊面不同點數進行球頭敲擊聲音頻譜量測，並探討球頭振動模態與敲擊聲音之關聯性。

本文目的在於針對五種分別編號 A、B、C、D、E 之同高爾夫球桿進行實際揮桿擊球聲音量測，並針對其頻譜分佈進行探討，期望可瞭解擊球聲音悅耳度之量化特性。

貳、不同高爾夫球桿揮桿擊球音頻測試與分析

本文利用麥克風進行量測，可得到不同球桿於實際揮桿擊球之聲音頻譜，圖 1 為揮桿擊球聲音量測設備示意圖，主要以麥克風 130D20 為感測器，分別離地面高度為 1m 與 1.5m，麥克風投影點與高爾夫球間距離為 0.6m，麥克風 a 施以 box window；b 則施加 exponential window，量得實際擊球聲音信號後，透過頻譜分析儀 SibLab 經快速傅立葉轉換得到自身能力密度函數 (autospectrum)，此即為高爾夫球桿擊球聲音之線性頻譜。

得到實際高爾夫球桿擊球聲音線性頻譜資訊後，利用套裝軟體 matlab 進行運算，可得到 1/3 八音頻帶頻譜 (1/3 octave band spectrum) 與 1/1 八音頻帶頻譜 (1/1 octave band spectrum)，並套入室內噪音評估指標 (Room Noise Rating Index)，最後進行綜合比較，以瞭解不同高爾夫球桿擊球音頻之特性。

參、結果與討論

由以上實驗測試與分析可針對線性頻譜與 1/3 八音頻帶比較探討、不同高爾夫球桿擊球音頻比例分析與室內噪音評估指標探討等三部分討論之。

一、線性頻譜與 1/3 八音頻帶比較探討

綜合不同高爾夫球桿擊球聲音支線性頻譜與 1/3 八音頻帶之比較探討，表 1 為不同高爾

夫球桿擊球線性頻譜與 1/3 八音頻帶頻譜對照表，討論如下：

1. 表中球桿編號為 A~E，其排列主要依據實驗量測人員以主觀感受對球桿擊球聲音之整體評價由高至低依序排列。
2. 由表中 1/3 八音頻帶頻譜比較中，可觀察五支高爾夫球桿於 3150Hz、4000Hz 與 5000Hz 等三個頻帶均有較高之音量分佈，且可發現所有球桿擊球聲音之 1/3 八音頻帶頻譜分佈均具有相同形狀之趨勢。
3. 觀察各球桿擊球聲音之響度值可發現擊球聲音悅耳度評價愈高者，響度值愈大，此外，於球桿編號 B、C 中，A 加權響度數值高於未經加權之數值，係由於 2000Hz~6000Hz 之加權值較多影響所致。

二、不同高爾夫球桿擊球音頻比例分析

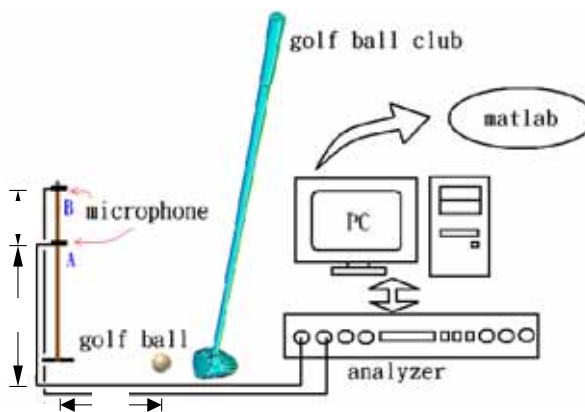
在音頻比例分析中，表 2 為樂音頻率比例對照表，表中可得到兩頻率間分別由 0 至 8 個全音及其各對應之頻率比例數值，在後續分析中可對照此表來分析不同高爾夫球桿擊球線性頻譜之各音頻比例。

表 3 為不同高爾夫球桿擊球音頻比例對照表，討論如下：

1. 就峰值頻率比例關係而言，球桿編號 A 之各音頻比例依次由 1 個全音、1.5 個全音、...、5.5 個全音呈穩定關係，相較表 1 樂音全音數所對應之數值誤差也較為低，整體誤差趨勢均不超過 $\pm 2\%$ ，絕對誤差值平均為 1.54%。
2. 球桿編號 B、D、E 雖有較小之音頻比例誤差值，但其有較多比例與 0.5 個全音相符合，一般而言單是一個半音較難產生較悅耳之聲音，可能造成球桿擊球聲音之評價排名不佳之原因。



(a) 實際麥克風架構示意圖



(b) 現場量測架構示意圖

圖 1. 揮桿擊球聲音量測設備示意圖

表 1 不同高爾夫球桿擊球線性頻譜與 1/3 八音頻帶頻譜對照表

NO.	Linear Spectrum	1/3 Octave Band Spectrum	
A			81.403dB 80.759dBA
B			77.938dB 78.366dBA
C			75.283dB 75.301dBA
D			74.605dB 74.549dBA
E			73.154dB 71.903dBA

4300
5450 - 5737.5
6706.25

表 2 樂音頻率比例對照表

全音數	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
頻率比例	1	1.06	1.12	1.19	1.26	1.33	1.41	1.50	1.59	1.68	1.78	1.89	2.00	2.12	2.25	2.38	2.52

表 3 不同高爾夫球桿擊球音頻比例對照表

Golf Club	Frequency (Hz)	dB	2/1			3/1			4/1			5/1			6/1			
			比例	樂音數	誤差 (%)	比例	樂音數	誤差 (%)	比例	樂音數	誤差 (%)	比例	樂音數	誤差 (%)	比例	樂音數	誤差 (%)	
A	1	3737.5	87.2	1.17	1.5	-1.4	1.39	3	-1.9	1.54	3.5	2.89	1.75	5	-1.9	1.90	5.5	0.53
	2	4381.25	76.6	1.18	1.5	-0.4	1.32	2.5	-1.5	1.49	3.5	-0.5	1.62	4	1.98	—	—	—
	3	5187.5	78.1	1.11	1	-1.0	1.26	2	-0.1	1.37	3	-3.3	—	—	—	—	—	—
	4	5762.5	71.6	1.13	1	0.97	1.23	2	-2.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	6531.25	68.9	1.09	0.5	2.47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6	7093.75	63.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	1	3725	74.8	1.06	0.5	-0.3	1.11	1	-1.4	1.21	1.5	2.02	1.31	2.5	-21	1.39	3	-1.4
	2	3937.5	74.2	1.05	0.5	-1.2	1.15	1	2.23	1.24	2	-1.9	1.32	2.5	-1.2	—	—	—
	3	4125	69.8	1.10	1	-2.2	1.18	1.5	-0.7	1.26	2	-0.1	—	—	—	—	—	—
	4	4518.75	68.0	1.08	0.5	1.65	1.15	1	2.39	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	4868.75	68.5	1.07	0.5	0.64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6	5193.75	69.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C	1	4300	79.2	1.14	1	1.38	—	—	—	—	—	1.45	3	2.25	1.51	1.50	0.78	
	2	4893.75	71.7	—	—	—	—	—	—	1.27	2	0.9	1.33	2.5	-0.6	—	—	—
	3	5450	67.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	4	5737.5	67.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	5	6218.75	65.1	1.04	1	-7.0	1.08	0.5	1.74	—	—	—	—	—	—	—	—	
	6	6493.75	64.1	1.03	1	-8.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
D	1	2562.5	73.4	1.31	2.5	-2.1	1.63	4	2.93	2.18	6.5	2.7	2.31	7	2.98	2.50	8	-0.9
	2	3350	71.5	1.25	2	-0.8	1.66	4.5	-1.1	1.77	5	-0.8	1.91	5.5	1.19	—	—	—
	3	4187.5	69.5	1.33	2.5	-0.3	1.41	3	0.03	1.53	3.5	1.99	—	—	—	—	—	
	4	5575	68.5	1.06	0.5	0.26	1.15	1	2.3	—	—	—	—	—	—	—	—	
	5	5925	65.7	1.08	0.5	1.90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	6	6400	73.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
E	1	5862.5	68.2	1.04	0.5	-1.4	1.18	1.5	-0.6	1.30	2.5	-2.3	1.37	2.5	2.38	—	—	—
	2	6125	66.2	1.13	1	0.81	1.25	2	-0.9	1.31	2.5	-2.0	—	—	—	—	—	
	3	6931.25	60.9	1.10	1	-1.7	1.16	1.5	-2.8	—	—	—	—	—	—	—	—	
	4	7650	58.1	1.05	0.5	-1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	5	8012.5	56.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

表 4 擊球聲音套入室內噪音品質指標關係表

Golf Club Brand	NR	NCB	Room Criterion (Mark II)		Broadband Sound Pressure Level			Noise Criterion	
			RC	QAI	LA (dBA)	LB (dBB)	LC (dBC)	SIL method	tangent method
A	83	66 H_B	61 HF	42 H_B	80.6	79	79.1	66H	70H
B	81	67 H	64 HF	47 H	78.4	77	77	67	70
C	77	65 H	62 HF	43 H	75.3	74	74.1	65H	70H
D	75	65 H	63 HF	40 H	74.5	73.2	73.3	65H	70H
E	74	62 H_B	60 HF	35 H_B	71.9	70.7	71.1	62H	69H

3. 球桿編號 C 之擊球聲音其音頻峰值有一區段音量分佈趨於平緩，無法明顯辨別其峰值所對應之頻率，故該球桿音頻比例分析所能比對之資料便較少。

三、室內噪音評估指標探討

不同高爾夫球桿之實際擊球聲音之線性頻譜經由套裝軟體 matlab 轉換成 3/1 八音頻帶後，各取其中心頻率即為 1/1 八音頻帶，將 1/1 八音頻帶套入室內噪音評估指標模式，表 4

為擊球聲音套入室內噪音品質指標關係表，討論如下：

1. 在 A、B、C 加權全音域音壓位準中，各分別以 40 phone、70 phone 與 100phone 之曲線作為標準，其中 A 加權在於模擬人耳對不同頻率之敏感度，C 加權則用於吵雜之環境，表中觀察 A、B、C 加權之音壓值均隨擊球聲音主觀評價之排名先後而有所遞減。
2. 其餘在由平衡噪音準則曲線(Balanced Noise Criterion Curves, NCB Curves)、室內準則曲線(Room Criterion Curves, RC Curves)與噪音準則曲線(Noise Criterion Curves, NC Curves)中，對該五支球桿之擊球聲音品質則無法觀察出相同趨勢之關聯性，故無法用以判別擊球聲音品質指標。

肆、結論

本文對不同球桿進行實際揮桿擊球聲音量測，所得數據由各球桿經數次揮擊所得頻譜加以平均，故在基於擊球穩定之狀況下求得擊球聲音線性頻譜，經運算求得 1/3 八音頻帶與 1/1 八音頻帶，經線性頻譜比例分析、線性頻譜及 1/3 八音頻帶頻譜相互比較與室內噪音品質指標評估後，瞭解實際擊球聲音悅耳度差異之特性，並量化了人耳對聲音之感覺，未來有助於對所謂“悅耳度佳”之聲音進行定義，並發展出一套對高爾夫擊球聲音悅耳度之判別模式，使作為日後高爾夫球桿研發設計之參考。

伍、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。

陸、參考文獻

1. Hocknell, A., Mitchell, S. R., Jones, P., and Rothberg, S. J., Hollow Golf Club Head Modal Characteristics: Determination and Impact Applications, *Experimental Mechanics*, Vol. 38, pp. 140-146(1998).
2. 翁焜煌，康淵，「高爾夫 1 號木桿頭打擊聲響品質之頻譜分析研究」，大專高爾夫學刊，第 3 期，第 26-39 頁(2003)。
3. 康淵，溫柏青，鍾文仁，張永鵬，王俊傑，「高爾夫球木桿頭力學與音響」，中華民國第二十屆機械工程研討會論文集，台北市，第 1009-1016 頁(2003)。
4. Roberts, J. R., Jones, R., Mansfield, N. J., and Rothberg, S. J., Evaluation of Impact Sound on the 'Feel' of a Golf Shot, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 287, pp. 651-666(2005).
5. 王栢村，黃瑞光，「不同球頭之高爾夫球桿聲音品質分析」，中華民國音響學會第十三屆學術研討會論文集，第 A47-A54 頁(2000)。
6. 王栢村，林昆正，徐川洋，「高爾夫球頭振動與聲音關聯性之探討」，中華民國音響學會第十六屆學術研討會論文集，第 212-219 頁(2003)。