

Journal of Far East University

# 遠東學報

第三十三卷 第三期



VOL.33 .NO.3

## 遠東學報第三十三卷第三期目錄

台南地區消費者對有無添加色素或香料的木 瓜土司之喜好性與接受度探討	pp.203~212	許淑真 吳芳寧 劉淑琴	張興智 葉詩凡 林怡萱
宋代《易》學略說	pp.213~222	康全誠	
省力奶瓶刷	pp.223~232	吳祥祺 江潮憲 楊宗翰	謝忠憲 葉志祥 陳品仰
具熱配元件之高速轉軸建模及其於轉子動力 學分析之應用	pp.233~242	陳炘鏞	曹晉瑜



# 台南地區消費者對有無添加色素或香料的木瓜土司之喜好性與接受度探討

## Tainan Consumers' preference and acceptability of toasts with or without artificial coloring agents and flavoring agents

許淑真 遠東科技大學餐飲管理系副教授

張興智 遠東科技大學餐飲管理系學生

吳芳寧 遠東科技大學餐飲管理系學生

葉詩凡 遠東科技大學餐飲管理系學生

劉淑琴 遠東科技大學餐飲管理系學生

林怡萱 遠東科技大學餐飲管理系學生

### 摘 要

本研究利用木瓜台農二號為素材開發天然木瓜土司、並使用合法的人工香料及色素製作另外兩種土司，且以此三種土司為樣本對消費者進行感官品評試驗，同時發放問卷，目的在探討消費者是否能分辨使用及不使用人工香料或色素的土司之差異，及消費者對有無添加色素或香料的木瓜土司的接受度。本研究在台南地區共得到 137 份有效問卷，結果發現受測消費者雖然期待所消費的食品不使用人工色素或人工香料，卻無法明確辨識眼前的產品之顏色、香氣及風味的天然與否，也比較偏好有添加人工香料及色素的土司產品。研究同時發現消費者對香氣強弱之判定會受到成品顏色深淺的影響。故本研究推論消費者雖然想追求天然，但可能由於過去已消費過的食物影響，或是消費者不了解天然素材應用於食品製備時，會因處理方式有減損香氣或顏色使得成品品質不如預期，這也顯示消費者已經對食品有錯誤印象才會有此結果。

**關鍵詞：**木瓜土司、色素、香料、感官品評

Hsu Shu-Chen, Associate Professor, Depart. of Food and Beverage Management, Far East University

Chang Hsing-Chih, Student, Depart. of Food and Beverage Management, Far East University

Wu Fang-Ning, Student, Depart. of Food and Beverage Management, Far East University

Yeh Shih-Fan, Student, Depart. of Food and Beverage Management, Far East University

Liu Shu-Chin, Student, Depart. of Food and Beverage Management, Far East University

Lin I-Hsuan, Student, Depart. of Food and Beverage Management, Far East University

### **Abstract**

The toast with “Tainang No.2” papaya and two white toasts within different proportion papaya flavor and legal artificial coloring agent were prepared as sensory evaluation samples. The objectives of this research were to estimate would consumers distinguish toast with or without artificial flavoring agents, and could they accept papaya toast without artificial coloring agent and flavoring agents. Results showed 137 Tainan consumers preferred papaya toast within coloring agent and artificial flavoring. The product’s color could affect how they feel about flavor. Results also showed consumers could not distinguish which papaya toast made without coloring agents and artificial flavorings. These results indicated although people would like to have natural materials and real foods, past experience or misconception of food materials won’t lose flavor and color during processing might make them unable to choose the real one.

**Keywords:** papaya toast, coloring agent, flavoring agents, sensory evaluation

## 一、前言

食品添加物的使用可協助食品加工製造、提升保存性、預防食品中毒、提昇食品品質、補充強化營養價值、豐富飲食方式等[1]；但若不當使用，則可能產生增加身體負擔或危害身體健康、破壞或減少食品某些營養素、使消費者無法判斷生鮮食品之品質等害處[2]。

由於有些食品添加物雖被允許使用，但仍有諸多的爭議，加上一些不肖業者因貪圖方便，或因謀求利益，或因疏忽、無知，常不當使用合法食品添加物，可能超量使用或使用對象不對，甚至違法使用一些禁用的食品添加物。又例如原料品質低劣不新鮮，顏色風味變壞，就使用漂白劑漂白再染色，加防腐劑、人工調味劑、化學合成香料，造成消費者健康上很大的危害。更使得消費者對食品添加物避之唯恐不及。

食品相關知識的不足，加上媒體過度渲染，都讓消費者抗拒食品添加物的使用，且存在安全顧慮，進而影響食品購買信心，過去有研究發現消費者對於食品添加物標示之重視程度愈來愈高，但對於食品添加物的認知卻普遍不足[3]；且消費者接收有關食品安全議題之管道則是以從電視媒體上接收到的頻率為最高[4]。

近年來由於養身及健康意識的抬頭，消費者開始追求天然且能促進身體健康的飲食。而西元 2013 年 8 月爆發的「胖達人事件」，正是由於胖達人麵包號稱無人工添加，卻被發現其在麵包製作過程中添加人工香料，隨之引發民眾輿論與撻伐，使消費者對烘焙食品產生不信任，購買意願也隨之降低。此次事件正好反應出消費者對於人工香料及化學添加物的反感，但是在事件爆發之前，台灣的消費者並無人公開反應對麵包香味的質疑。

水果是受人歡迎的食材，水果的色香味是吸引人的重要因素，而水果的香氣物質以有機酸酯類、醛類和萜類為主，其次是醇、酮類及揮發酸。它們

是由植物體內生物合成而產生的。有些水果的香氣成分在高溫處理下容易散逸損失，所以這些類型的新鮮水果若混入麵糰做為烘焙的原材料，成品無法提供原始水果的香氣是目前加工的最大問題，因而在產業中會添加食用香料來彌補香味的缺損。

木瓜，學名 *carica papaya* L.，屬薔薇科木瓜屬植物，是台灣受歡迎的水果種類之一。台灣常見的木瓜品種有蘇魯一號、日陞、台農一號、台農二號、台農三號、台農五號、台農六號、農友一號、紅妃，主要品種包括台農二號、紅妃、日陞等[5]。每 100 公克木瓜僅提供 43 大卡的熱量，且木瓜含有豐富的維生素、礦物質、蛋白質、膳食纖維 (dietary fiber)、膽鹼 (choline)、超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase)、植化素如 $\beta$ -胡蘿蔔素 (beta-carotene)、葉黃素 (lutein)、玉米黃素 (zeaxanthin)、玉米黃質 (cryptoxanthin) 等，因此木瓜被認為具有促進腸道蠕動幫助消化、抗氧化、抗腫瘤、保肝護肝、降血脂、降血糖、抑制發炎反應等功效[6-9]。木瓜果實的香氣成分主要包括醇類、酮類、醛類、酯類和烴類，其中醇類、酮類、醛類、酯類物質是構成其芳香風味的重要物質[10]，但是這些成分在加熱過程中很容易揮發而耗損，因此市售木瓜風味產品多利用香料添加提供木瓜鮮果之香氣。同時，木瓜因為本身含有蛋白質分解酵素，加上高溫加熱會造成風味的損失，故顯少以鮮果或果泥形式被添加至麵糰中製成烘焙產品。

由於民眾所關心的食安議題，加上過去探討消費者是否能分辨有無添加色素或香料的食品的研究相當少，故本研究利用木瓜台農二號為原料自行開發配方製成天然木瓜吐司，並再使用合法的人工香料及色素製作另外兩種土司，給予消費者進行感官品評試驗，探討消費者是否能辨別土司麵包添加的是天然食材或是人工香料，及消費者對有無添加色素或香料的木瓜土司的喜歡程度與接受程度。

## 二、材料與方法

### (一)研究材料

1. 木瓜：台農二號（全聯福利中心，台灣）。台農二號為台灣目前最主要之木瓜經濟栽培品種，約占全台栽培面積 90%，故本研究以此為原料。
2. 奶油（全聯福利中心，台灣）。
3. 高筋麵粉（旺來鄉國際企業股份有限公司，台灣）。
4. 酵母（旺來鄉國際企業股份有限公司，台灣）。
5. 白砂糖（旺來鄉國際企業股份有限公司，台灣）。
6. 鹽（旺來鄉國際企業股份有限公司，台灣）。
7. 雞蛋（億客來，台灣）。
8. 食用紅色色素 6 號（旺來鄉國際企業股份有限公司，台灣）。
9.  $\beta$ -胡蘿蔔素（博成香料行，台灣）。
10. 木瓜香料（博成香料行，台灣）。

### (二)研究方法

#### 1.土司製作

##### (1)天然木瓜土司

將台農二號的果肉與水以適當比例利用果汁機攪打成木瓜汁，隔水加熱後冷卻備用。高筋麵粉、鹽、糖、水、酵母、奶油及木瓜泥依配方秤重後，混合均勻並攪打成糰，經基本發酵、分割及中間發酵、桿捲後，置入土司模型裡完成最後發酵，以烤箱烘烤出爐後脫模即為成品。

##### (2)木瓜香料土司

將木瓜香料、食用紅色色素 6 號及  $\beta$ -胡蘿蔔素加入水中，將高筋麵粉、水、鹽、糖、酵母及奶油混合均勻攪拌成糰，進行基本發酵、分割、中間發酵、桿捲等步驟後，再放入土司模型進行最後發酵，並利用烤箱烘烤出爐後脫模即為成品。

#### 2.感官品評試驗

在遠東科技大學、台南市永康區家樂福及愛買量販店，便利挑選 150 位 16-55 歲民眾，對產品的

外觀 (appearance)、香氣 (flavor)、風味 (aroma)、咀嚼感 (mastication) 及整體喜好性 (overall hedonicity)，進行消費者喜好性品評及剛剛好試驗 (just about right, JAR)。喜好性試驗採用七分法來品評產品，以「非常不喜歡」為 1 分，「沒有喜歡或不喜歡」為 4 分，「非常喜歡」為 7 分；而評估特性強弱使用之剛剛好法採用五分法，以「太弱」為 1 分，「剛剛好」為 3 分，「太強」為 5 分；並詢問消費者對樣品之感覺為天然或非天然，同時，利用九題單選題項探討消費者對食品使用色素或香料之看法。

#### 3.統計分析

##### (1)敘述統計

以次數分配瞭解受試者之個人資料。

##### (2)差異性分析

感官品評結果建檔後以 SPSS (Special Program for Social Scientists) 統計分析軟體 17.0 版 (SPSS Inc.)，進行變異數分析，並以 Duncan 法進行差異性比較。

##### (3)感官特性相關分析

利用 XLSTAT (2013.4.03 版英文版) 統計軟體 (Addinsoft Co., New York, USA) 以相關係數模式探討台南地區民眾對於木瓜土司新產品 6 個問項喜好性的相關性。

##### (4)內部性喜好性地圖

利用 XLSTAT (2013.4.03 版英文版) 統計軟體以主成份分析法進行分析，將消費者品評員及整體喜好性之資料以共變數模式 (covariance model) 探討消費者喜好性產品的分佈。

##### (5)懲罰分析

以 XLSTAT (2013.4.03 版英文版) 統計軟體進行分析，結合整體喜好性數據 (七分法) 與剛剛好法 (五分法) 數據，利用平均差標準化後所處理的懲罰值，來評估其特性的強度是否需要調整，可以探討消費者對產品之特性強度感受及找出產品最適化的強度。

## (6)問卷題項統計分析

將問卷題項所得結果建檔後，以 SPSS 統計套裝分析軟體 17.0 版 (SPSS Inc.) 進行卡方檢定。

### 三、結 果

## (一)天然木瓜土司開發

木瓜的處理方法及添加量皆會影響土司成品之質地特性，因此本研究中木瓜的添加比例是依據添加後麵糰之發酵狀態與土司成品之彈性及切斷力而決定 (數據未顯示)，故最終成品的木瓜添加量為高筋麵粉的 1/10。而本研究所開發之天然木瓜土司成品在體積上不如市售白土司，且就香氣而言並無任何木瓜香味，這是由於木瓜的天然香氣分子較小，故在烘烤過程中容易損失所造成之結果。

為探討消費者是否會喜愛本研究所開發之天然木瓜土司，及探討消費者能否分辨土司是否有添加人工色素或香料，本研究在白土司配方中添加可合法使用之紅色色素 6 號、β-胡蘿蔔素及木瓜香料，製成顏色較深但人工香味較淡之木瓜香料土司 A，及顏色較天然木瓜土司深，卻比 A 顏色淺且人工香味較濃之木瓜香料土司 B，此 3 個樣本成品如圖 1，相較之下，顏色以天然木瓜吐司為最淺，木瓜香料土司 A 最深且為橘黃色；香氣則以天然木瓜吐司最淡，木瓜香料土司 B 最濃郁。接著，將此 3 種土司作為品評樣本進行消費者感官品評試驗。

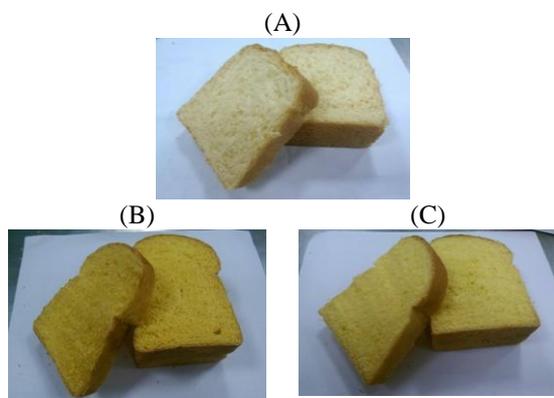


圖 1 本研究之 3 種木瓜土司。(A)天然木瓜土司；(B)木瓜香料土司 A；(C)木瓜香料土司 B。

## (二)消費者感官品評試驗

本感官品評試驗之目的在探討消費者是否能準確分辨出天然與非天然的區別，並探討消費者對木瓜土司之外觀、香氣、顏色、風味、咀嚼感及整體喜好性。

## 1.發放時間與地點

品評對象為一般民眾，在民國 103 年 11 月以便利取樣方式共發放 150 份感官品評問卷，發放地點為台南鹽行愛買量販店、台南鹽行家樂福量販店、遠東科技大學第一學生餐廳及遠東科技大學體育館。本研究所得之消費者感官品評有效問卷數為 137 份，有效率達 91%。

## 2.基本資料分析

受測消費者之個人基本資料如表 1。受試者共 137 人，其中女性 68 人，佔 49.6%；男性 69 人，佔 50.4%。此分佈約為 1:1，符合人口比例分佈。在年齡方面，以 21~25 歲族群居多。而受測消費者中，學生有 78 人，佔全體 56.9%。教育程度則以大學(專)學歷以上者較多，超過受試者半數。

表 1 受測消費者之個人基本資料分析

統計變項	類別	人數 (百分比)
性別	男	69 (50.4)
	女	68 (49.6)
年齡	16~20 歲	38 (27.7)
	21~25 歲	45 (32.8)
	26~30 歲	16 (11.7)
	31~35 歲	16 (11.7)
	36~40 歲	5 (3.6)
	41~45 歲	5 (3.6)
	46~50 歲	6 (4.4)
職業	51~55 歲	4 (2.9)
	56 歲以上	2 (1.5)
	軍公教職人員	6 (4.4)
	家庭主婦	9 (6.6)
	自由業	12 (8.8)
教育程度	學生	78 (56.9)
	上班族	25 (18.2)
	其他	7 (5.1)
	國中以下	5 (3.6)
	高中(職)	21 (15.3)
	大學/科技大學	96 (70.1)
	專科	6 (4.4)
研究所以以上者	9 (6.6)	
	其他	53 (1.8)

(三)感官品評結果之差異性分析

本研究將 3 種樣本 (天然木瓜土司、木瓜香料土司 A 及木瓜香料土司 B) 進行感官品評試驗所得之數據，利用次數統計分析及單因子變異數分析，並以 Duncan 進行差異性檢定如表 2 及表 3。

結果顯示顏色過深會使消費者懷疑其天然性，但消費者無法正確判定其顏色、香氣及風味是否為天然。同時，結果發現在外觀、顏色、香氣、風味、咀嚼感及整體喜好性上，三個樣品之得分皆在 4.07 分以上，表示此三種土司都受到消費者喜愛，但以木瓜香料土司 B 最被喜歡，而天然木瓜土司在 6 個問項中之得分都是 3 者中最低的。受測消費者對於 3 個木瓜土司樣本在外觀、顏色、香氣、風味、咀嚼感及整體喜好性上都有顯著性差異，且消費者對木瓜香料土司 B 之喜好性明顯高於天然木瓜土司。

以表 2 之結果與表 3 之結果相比較，雖然似乎有較高比率之受試者選擇天然木瓜土司之顏色、香氣、風味是屬於天然的，但他們的喜好偏向卻是木瓜香料土司 B 樣本。

(四)內部喜好性地圖

利用多變量分析中的主成份分析探討 137 位消費者與木瓜土司整體喜好性的關係，內部性喜好地圖如圖 2。圖中每一個圓點代表每一位進行感官品評的消費者，因為有些消費者的喜好性相同，因此點會重疊，使得實際看到的圓點數量較少。喜好性地圖的維度 1 (X 軸) 解釋約 57.68% 的變異量，而維度 2 (Y 軸) 解釋約 42.32% 的變異量，共解釋 100% 的總變異量。由內部喜好性地圖可以得知 64.3% 的消費者優先喜歡顏色淡味道濃之木瓜香料土司 B，20.4% 的消費者優先喜歡顏色深味道淡之木瓜香料土司 A，15.3% 的消費者會優先喜歡天然木瓜土司。

表 2 天然性判斷次數分配表

變項	顏色		香氣		風味	
	天然	非天然	天然	非天然	天然	非天然
樣本	N (%)					
天然木瓜土司	119 (86.9)	18 (13.1)	112 (81.8)	25 (18.2)	114 (83.2)	23 (16.8)
木瓜香料土司 A	61 (44.5)	76 (55.5)	81 (59.1)	56 (40.9)	85 (62)	52 (38)
木瓜香料土司 B	81 (59.1)	56 (40.9)	85 (62)	52 (38)	96 (70.1)	41 (29.9)

表 3 木瓜土司感官品評喜好性差異分析

問項	樣品	平均數±標準差	F	檢定	顯著性
外觀	天然木瓜土司	4.459±1.345 <sup>a</sup>	5.720 <sup>**</sup>	0.004	
	木瓜香料土司 A	4.532±1.529 <sup>a</sup>			
	木瓜香料土司 B	4.985±1.294 <sup>b</sup>			
顏色	天然木瓜土司	4.321±1.454 <sup>a</sup>	5.404 <sup>**</sup>	0.005	
	木瓜香料土司 A	4.496±1.623 <sup>a</sup>			
	木瓜香料土司 B	4.890±1.309 <sup>b</sup>			
香氣	天然木瓜土司	4.153±1.403 <sup>a</sup>	4.482 <sup>**</sup>	0.012	
	木瓜香料土司 A	4.445±1.484 <sup>ab</sup>			
	木瓜香料土司 B	4.671±1.419 <sup>b</sup>			
風味	天然木瓜土司	4.073±1.386 <sup>a</sup>	7.202 <sup>**</sup>	0.001	
	木瓜香料土司 A	4.576±1.433 <sup>b</sup>			
	木瓜香料土司 B	4.656±1.319 <sup>b</sup>			
咀嚼感	天然木瓜土司	4.146±1.522 <sup>a</sup>	7.432 <sup>**</sup>	0.001	
	木瓜香料土司 A	4.664±1.329 <sup>b</sup>			
	木瓜香料土司 B	4.773±1.460 <sup>b</sup>			
整體喜好性	天然木瓜土司	4.233±1.535 <sup>a</sup>	6.084 <sup>**</sup>	0.002	
	木瓜香料土司 A	4.649±1.483 <sup>b</sup>			
	木瓜香料土司 B	4.839±1.389 <sup>b</sup>			

註: 1.在同一個問項內，若平均值後標示同一英文字母者，表示無顯著性差異  
2.(p ≥ 0.05) ; \*p < 0.05, \*\*p < 0.01, \*\*\*p < 0.001

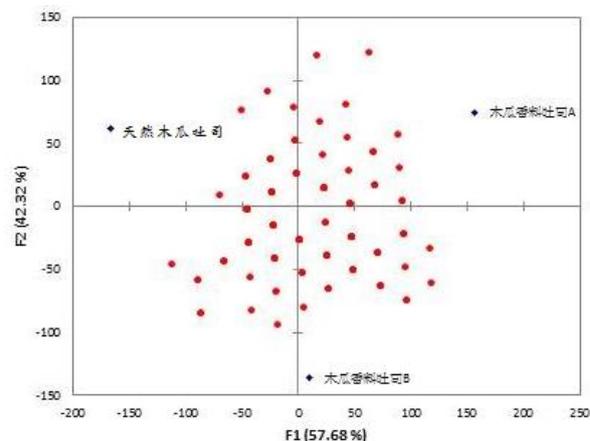


圖 2 木瓜土司樣本之內部性喜好地圖

### (五) 感官特性相關性分析

木瓜土司各特性之喜好程度的相關性分析如表 4，由結果可得知木瓜土司的外觀、香氣、口感及咀嚼感均會影響到消費者對木瓜土司的整體喜好性。之外觀、顏色、香氣、咀嚼感及整體喜好程度皆具有顯著性差異 ( $p < 0.05$ )，顯示這些感官特性會相互影響，故只要變動其中一項感官特性都可能影響其他特性之喜好程度。

表 4 木瓜土司感官特性之相關性分析

	外觀 喜好性	顏色 喜好性	香味 喜好性	風味 喜好性	咀嚼感 喜好性	整體 喜好性
外觀 喜好性	1					
顏色 喜好性	0.757***	1				
香味 喜好性	0.599***	0.684***	1			
風味 喜好性	0.548***	0.628***	0.789***	1		
咀嚼感 喜好性	0.536***	0.568***	0.645***	0.739***	1	
整體 喜好性	0.624***	0.681***	0.723***	0.723***	0.806***	1

註: 1. 在同一個問項內，若平均值後標示同一英文字母者，表示無顯著性差異

2. ( $p \geq 0.05$ )；\* $p < 0.05$ ，\*\* $p < 0.01$ ，\*\*\* $p < 0.001$

### (六) 懲罰分析

利用消費者之整體喜好性與剛剛好法之結果進行懲罰分析，探討消費者對木瓜土司之顏色、香氣、風味、咀嚼感之強度感受，結果如表 5 所示。由研究結果發現，消費者認為天然木瓜土司之顏色太弱，香氣太弱，風味太弱，咀嚼感也太弱；對於木瓜香料土司 A 則認為顏色太強，香氣太強，風味太強，咀嚼感太弱；而覺得木瓜香料土司 B 之顏色太弱，香味剛剛好，風味太弱，咀嚼感太強。依據加權數值超過 0.5 者一定要變動之規則可以發現，天然木瓜土司若要上市則需修改顏色、香氣、風味與咀嚼感，且三種土司之外觀顏色經分析發現應優先被調整。由於木瓜香料土司 B 之香氣強度經分析，在受測消費者的感受是剛剛好無需修正，且其

他加權分數亦都低於 0.5，顯示消費者喜歡之土司產品應有較濃郁之氣味與較深色之外觀。有趣的是，木瓜香料土司 A 使用之色素量比香料土司 B 多，人工香料之使用比 B 少，但消費者卻認為香料土司 A 之香氣比 B 強，此結果亦顯示受測者對香氣強弱之判定會受到顏色深淺的影響。

以上結果皆顯示，消費者認為木瓜添加於土司製品中應該仍保有其天然香氣與顏色，但真實的情況是，天然香氣在高溫烘烤過程當中容易散逸，且天然色素經高熱處理亦有可能生褪色的情況或改變呈色而無法符合消費者期待。

### (七) 單選題題項分析

單選題部分主要在調查消費者對食品含有添加物及對木瓜土司之想法與購買意願，分析結果如表 6 所示。本問卷中六題單選題有五題具有顯著性差異，由分析結果發現，消費者在得知食品有加入人工添加物的情況下會有 52.6% 的受測消費者會購買含有添加物的食品；有 70.1% 的受測消費者會因添加物事件的發生而影響到對土司的購買意願，有 68.6% 的受測消費者會願意購買本研究開發的木瓜土司；而木瓜含有豐富的營養價值，因此有 83.9% 的受測消費者會因為木瓜的營養價值而去購買木瓜土司；但有 71.5% 的受測消費者不會因為顏色鮮艷香氣濃郁而購買木瓜土司；83.2% 的受測消費者害怕含有人工添加物而不希望木瓜土司能長期存放。

由問項分析結果也可以發現受測消費者會因為添加物事件而影響到消費者對含有人工添加物的食品之購買意願。同時，本研究發現受測消費者會因為食品素材含有營養價值而增加購買的意願，同時，消費者明顯不希望木瓜土司能長期存放，推論消費者認為能長期存放之食品可能會添加某些成分而懷疑其安全性。

表 5 木瓜土司樣本之懲罰分析結果

樣本	變項	強度	人次	百分比	整體喜好程度平均	平均跌落值	懲罰值	p 值	加權數值
天然木瓜土司	顏色	非常弱	64	47.45%	3.547	1.349	1.308	< 0.0001	0.668
		剛剛好	67	48.91%	4.896				
		非常強	6	3.65%	4.167	0.729			
	香氣	非常弱	68	50.36%	3.515	1.541	1.349	< 0.0001	0.818
		剛剛好	54	39.42%	5.056				
		非常強	15	10.22%	4.533	0.522			
	風味	非常弱	66	47.45%	3.636	1.345	1.353	< 0.0001	0.780
		剛剛好	54	40.88%	4.981				
		非常強	17	11.68%	4.176	0.805			
	咀嚼感	非常弱	56	43.07%	3.286	1.745	1.534	< 0.0001	0.818
		剛剛好	66	46.72%	5.030				
		非常強	15	10.22%	4.267	0.764			
木瓜香料土司 A	顏色	非常弱	10	7.30%	4.400	0.850	0.992	0.000	0.6444
		剛剛好	48	35.04%	5.250				
		非常強	79	57.66%	4.241	1.009			
	香氣	非常弱	33	24.09%	4.636	0.470	0.965	0.000	0.500
		剛剛好	66	48.18%	5.106				
		非常強	38	27.74%	3.711	1.396			
	風味	非常弱	28	20.44%	4.286	0.785	0.964	0.000	0.464
		剛剛好	71	51.82%	5.070				
		非常強	38	27.74%	3.974	1.097			
	咀嚼感	非常弱	18	13.14%	4.000	0.888	0.804	0.003	0.281
		剛剛好	89	64.96%	4.888				
		非常強	30	21.90%	4.133	0.754			
木瓜香料土司 B	顏色	非常弱	8	5.84%	3.750	1.430	0.846	0.001	0.297
		剛剛好	89	64.96%	5.180				
		非常強	40	29.20%	4.450	0.730			
	香氣	非常弱	15	10.95%	4.333	0.694	0.305	0.202	-
		剛剛好	72	52.55%	5.028				
		非常強	50	36.50%	4.840	0.188			
	風味	非常弱	14	10.22%	4.214	0.911	0.581	0.016	0.242
		剛剛好	80	58.39%	5.165				
		非常強	43	31.39%	4.651	0.474			
	咀嚼感	非常弱	18	13.14%	4.500	0.651	0.720	0.003	0.268
		剛剛好	86	62.77%	5.151				
		非常強	33	24.09%	4.394	0.757			

表 6 單選題分析

題項	購買意願	次數(%)	顯著性
1. 是否會購買含有添加物的食品	會	72(52.6)	0.550
	不會	63(47.4)	
2. 食品添加物事件是否會影響您對土司的購買意願	會	96(70.1)	0.000***
	不會	41(29.9)	
3. 是否有意願購買木瓜土司	有	94(68.6)	0.000***
	沒有	43(31.4)	
4. 會因為木瓜土司具有營養價值而增加購買意願	會	115(83.9)	0.000***
	不會	22(16.1)	
5. 是否會購買顏色鮮豔且香氣濃郁的土司	會	39(28.5)	0.000***
	不會	98(71.5)	
6. 希望木瓜土司能長期存放	希望	23(16.8)	0.000***
	不希望	114(83.2)	

註: 1. 在同一個問項內, 若平均值後標示同一英文字母者, 表示無顯著性差異

2. ( $p \geq 0.05$ ); \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$

#### (八)討論

為了探討消費者是否能辨別土司有無添加色素或香料, 本研究所使用的三個樣本, 分別為自行開發有添加木瓜但無其他色素或香料製成的土司、添加較多紅色色素 6 號、 $\beta$ -胡蘿蔔素及木瓜香料所製成顏色較深但人工香味較淡之木瓜香料土司 A, 及添加較少紅色色素 6 號、 $\beta$ -胡蘿蔔素及較多木瓜香料的木瓜香料土司 B。

由於添加高量的木瓜會大幅影響土司成品的體積與組織特性, 為了使開發的木瓜土司成品與一般土司差異不大, 因此木瓜的添加量僅能為高筋麵粉量的 1/10, 加上烘焙過程中的高溫處理會使木瓜的香氣成分損耗, 故天然木瓜土司的成品顏色上最淺, 且已無木瓜香氣。3 種給予消費者的土司樣本, 依顏色深淺度排序, 木瓜香料土司 A > 木瓜香料土司 B > 天然木瓜吐司; 以香氣濃郁度來說, 木瓜香料土司 B > 木瓜香料土司 A > 天然木瓜吐司。

而綜合以上所得的結果, 雖然發現 3 種樣本的喜好性得分都在 4.07 分以上, 但以喜好性分析、內部性喜好地圖與懲罰分析結果都可以發現, 受測消費者最喜歡木瓜香料土司 B, 也就是 3 個樣本中香氣最濃郁但是顏色較適中的那個。同時, 結果也發

現, 受測消費者對香氣強弱之判定會受到成品顏色深淺的影響, 會認為顏色較深的香味一定較濃郁。

由於感官品評問卷內有選項詢問消費者哪個樣本的特性可能是天然或是非天然, 故推論在這種情況下可能會暗示消費者進行選擇, 使得消費者會因而挑選各項特性皆較弱的樣本, 所以, 由表 2 的結果可以發現受測的消費者有較高的比例選擇本研究開發的木瓜土司之顏色、香氣、風味是屬於天然的。但有趣的是, 即使消費者表明不喜歡使用了色素及香料的烘焙產品, 但是對應喜好性與強度感受, 消費者最喜歡卻是使用了色素及香料的木瓜香料土司 B, 由此也可以推論, 消費者的喜好性很容易受到產品外在品質特性的影響, 而在本研究的結果發現, 香氣會是最重要的因子。同時, 由於感官如味覺或是嗅覺的喜好性被認為是後天學習與訓練而得來的[11], 因此也能再推論可能是由於消費者不了解天然農特產品應用加熱步驟製備時, 可能會造成食品的顏色改變、香氣被破壞、味道改變、營養損失、質地變化、或是功能降低等品質變化, 使得成品品質不如預期, 或是由於消費者已經習慣添加有色素或香料的食品的外觀或是香氣, 而使得消費者會利用過去的生活經驗或是已養成的習慣性來挑選食品。

## 四、結 論

本研究以自行開發之天然木瓜土司、添加色素及人工香料之木瓜土司 A 及 B 進行消費者感官品評, 綜合以上各項研究結果, 發現此 3 種土司不管在外觀、顏色、香氣、風味、咀嚼感及整體喜好性之得分均在 4.07 分以上, 表示此三種土司都受到消費者喜愛。但消費者對使用人工香料量較多之木瓜香料土司 B 的喜好度最高, 而天然木瓜土司之喜好度則最低。研究同時發現消費者對香氣強弱之判定會受到成品顏色深淺的影響。在天然性辨別方面, 本研究之受測者皆無法正確判別, 與單選題題項結

果共同進行交叉分析，顯示消費者雖有意追求天然食材，不想購買顏色鮮艷香氣濃郁之土司，但卻還是挑選了添加香料及色素之樣本，但可能由於過去已消費過的食物之影響，或是消費者不了解天然素材應用於食品製備時，會因處理方式有減損香氣或顏色使得成品品質不如預期，這也顯示消費者已經對食品有錯誤印象才会有此結果。

## 參考文獻

- [1] 張嘉佑. 食品添加物風險管理. 食品工業 44(9): 47-59. 2012.
- [2] 周琦淳. 食品安全全書. 台北市. 台灣. 易博士文化城邦文化事業股份有限公司. 2011.
- [3] 廖盛斌. 消費者對食品添加物之認知、態度及食品消費行為之關係. 康寧大學餐飲管理研究所碩博士論文. 未出版. 台南市. 2011.
- [4] 甘志展, 李明聰. 消費者對食品安全議題之風險認知與其消息來源可靠度之研究. 食品市場資訊 97(4): 1-10. 2008.
- [5] 行政院農業委員會. 木瓜品種. 2013年12月30日取自 <https://kmweb.coa.gov.tw/subject/lp.asp?CtNode=1723&CtUnit=421&BaseDSD=7&mp=91>. 2014
- [6] Papaya Australia. Papaw and Papaya. Homepage for Papaya Australia. 2013年12月29日取自 <http://www.australianpapaya.com.au/index.php>. 2014
- [7] Sagnia B, Fedeli D, Casetti R, Montesano C, Falcioni G, Colizzi V. *Antioxidant and anti-inflammatory activities of extracts from Cassia alata, Eleusine indica, Eremomastax speciosa, Carica papaya and Polyscias fulva medicinal plants collected in Cameroon*. PLoS One. 9(8):1-10. 2014.
- [8] Nguyen TT, Shaw PN, Parat MO, Hewavitharana AK. *Anticancer activity of Carica papaya: a review*. Mol Nutr Food Res 57(1):153-64. 2013.
- [9] Pandey S, Cabot PJ, Shaw PN, Hewavitharana AK. *Anti-inflammatory and immunomodulatory properties of Carica papaya*. J Immunotoxicol 13(4):590-602. 2016.
- [10] 孟祥敏, 劉樂全, 徐懷德, 劉拉平. 不同木瓜果實香氣成分的 GC-MS 分析. 西北農林科技大學學報(自然科學版) 35(8):125-130. 2007.
- [11] 劉伯康, 莊朝琪. 食品感官品評: 理論與實務. 台北市, 台灣: 新文京開發出版股份有限公司. 2014.

# 宋代《易》學略說

## A BRIEF INTRODUCTION TO BOOK OF CHANGES OF SONG DYNASTY

康全誠 遠東科技大學行銷與流通管理系副教授

### 摘 要

宋代《易》學的發展是存在於象數與義理兩大派別之中；北宋象數派推崇〈河圖〉、〈洛書〉，義理派以「儒理」解釋《周易》原理。南宋學者李光援史入《易》，以史事證《易經》，是為史事《易》。又有楊簡以心學來詮說《周易》，是為心學《易》。本文乃從宋代象數《易》、義理《易》、史事《易》、心學《易》等方面，來探討宋代《易》學發展之概況。

**關鍵詞：**宋代《易》學、象數《易》、義理《易》、史事《易》、心學《易》

Kang Chuan-Cheng, Associate Professor Department of Marketing and Logistics Management, Far East University

### Abstract

The development of the Book of Changes at Song Dynasty lay on the Eight Diagrams and the Rationality two major schools. The Eight Diagrams School of the Northern Song Dynasty praised highly the River Book and Lo Shu Square, while the Rationality School emphasized more on Confucian rationality to explain the principles of the Book of Changes. The Southern Song Dynasty scholars Lee Kuang has applied the history into the Book of Changes which he proved the Book of Changes was explained with the historical events as evidence. There was also Yang Jian who interpreted the Book of Changes with the study of heart that was known as the Heart School for the study of the Book of Changes. This essay will explore the general condition of the development of the Book of Changes from the aspects of the Eight Diagrams School, Rationality School, History School, and Heart School of the Song Dynasty.

**Keywords:** The Book of Changes during the Song Dynasty, the Eight Diagrams School, Rationality School, History School, Heart School

## 一、前言

宋代《易》學之發展，其特色，依高懷民《宋元明易學史》所言，為推《易》道以占驗世運，收《易》道於心性存養，藉圖示以表達思想<sup>1</sup>。而從《易》學史觀之，自北宋開始，古代《易》學之發展又進入一嶄新之階段，被稱為宋《易》，宋《易》是就其形態而言，並不限於北宋，其治《易》之學風一直延續至清初，北宋則是宋《易》形成之時期。宋代《易》學，一面沿續唐《易》學之源流，王弼《易》學乃受重視，歐陽修、龔原、王宗傳等皆研王弼《易》，而由於佛道之興起，激發理學之成長，學者發明《易經》義理以闡述理學家之理想，是宋代《易》學之主流。但就《易》學而言，漢人治《易》，長於象數，而宋人言《易》，則精於明理，此為其異處。宋代義理學派則以儒家思想為基本特色之「儒理」解《易》，北宋《易》學中之義理學派，有人偏重取義，形成以程頤為代表之理學派《易》學；有偏重取象，形成以張載為代表之氣學派。義理學派之倡導者出於儒者胡瑗，其後傳至程頤，再變而為李光、楊萬里之《易》說，而程頤之理學派《易》與張載氣學派《易》學，同邵雍之數學派，成為三足鼎立之勢<sup>2</sup>，義理《易》為宋《易》之一大特色。

北宋象數學之倡導者，始於華山道士陳搏，<sup>3</sup>劉牧推崇〈河圖〉、〈洛書〉，李之才宣揚卦變說。之後，周敦頤著重講象，提出〈太極圖〉說，邵雍則著重講數，提出先天後天之學<sup>4</sup>，諸家除繼承漢

《易》中以象數解《易》，並提出各種圖式以解《易》，後人稱之為「圖」、「書」之學，「圖」、「書」之學亦為宋《易》之一大特色，《易》學二派大宗，至宋而大備矣<sup>5</sup>。

南宋時期，程氏《易》學成為《易》學發展之主流。作為義理之學代表人物為楊萬里，其《誠齋易傳》發明程氏《易》學，卻又深受張載《易》學之影響。而南宋之象數之學，亦通過程朱學派中之人物得到發展，如程頤之再傳弟子朱震對象數之學的整理，朱熹之好友蔡元定及其子蔡沈對〈河圖〉、〈洛書〉學說之闡發。朱熹則以理學派之立場，兼取義理及象數兩派，集諸儒之大成，而完成其《易》學之體系。本文乃從宋代象數《易》、義理《易》、史學《易》、心學《易》等方面來探討宋代《易》學發展之概況。

## 二、宋代象數《易》

北宋象數學的傳承始於陳搏，「陳搏以先天圖傳種放，放傳穆修，穆修傳李之才，之才傳邵雍。放以〈河圖〉、〈洛書〉傳李溉，溉傳許堅，許堅傳范諤昌，諤昌傳劉牧。穆修以〈太極圖〉傳周敦頤……雍著〈皇極經世書〉，牧陳天地五十有五之數，敦頤作《通書》。」（《宋史·朱震傳》）。這些人多為象數派《易》家，可見宋代《易》象數之盛，他們除繼承漢《易》中以象解《易》的傳統外，更為突出的是，提出各種圖式解《易》，後人稱之為「圖」「書」之學。

圖書之學是漢象數《易》的一種發展形式，它

<sup>1</sup> 參見高懷民：《宋元明易學史》，（高懷民，民國83年12月），頁11~25。

<sup>2</sup> 參見朱伯崑：《易學哲學史》第一卷，（臺北：藍燈文化事業股份有限公司，民國80年9月），頁314。

<sup>3</sup> 楊家駱主編：《新校本宋史》第十六冊，（臺北：鼎文書局，民國67年9月），頁12908。

<sup>4</sup> 劉光本：〈象數易與義理易之流變——從易學發展之角度看象數、義理、卜筮三者之關係〉云：「邵雍繼承和發展了漢《易》中的卦氣說，……以先天《易》學和後天《易》學為主要內容，建構了一套試圖囊括宇宙人生龐雜的象數學體系。邵雍對先天之學非常感興趣，他認為，以〈乾〉〈坤〉〈坎〉〈離〉為四正卦的圖式乃伏羲所畫，故稱此類圖式為先天圖，稱其學為先天學；而漢《易》中以〈坎〉〈離〉〈震〉〈兌〉為四正卦的圖式，乃文王之《易》，是伏羲《易》的推演，為後天之

學。」（《周易研究》，1992年第四期），頁34。

<sup>5</sup> 案大體而言，宋代《易》學，有承襲漢唐《易》學而來者，或宗本王弼《易》注，如歐陽修、龔原、王宗傳等。或承李鼎祚《周易集解》之緒，而沿古立說，占筮機祥之術，皆極一時之盛。然能重詁經義，自抒胸臆，堪稱首創者，一為圖書象數之學，此派蓋大昌於邵雍。然宋儒之有邵雍，猶漢《易》之有孟京，所謂《易外別傳》者是也，再者，佛道大昌於唐，激發理學之成長，援理學以入《易》，而以理解《易》，實宋《易》之主流，並由是而衍生以史學解《易》之李光、楊萬里一派！故四庫館臣所謂之兩派六宗（《四庫總目提要》卷一·《易》類總論至宋代可謂大備。兩派者，漢宋是也。六宗者，象數、機祥、老莊、圖象、儒理、史事是也。

源於道教的解《易》理論。魏伯陽《周易參同契》開始以各種圖式解釋煉丹的理論，宋陳搏始推出先天圖和河圖洛書，開創以圖書解《易》的風氣。陳搏是宋代象數之學和圖書之學的創始人。其圖式有的講陰陽奇偶之數，以後發展為數學；有的講〈乾〉〈坤〉〈坎〉〈離〉等卦象，以後發展為象學。邵伯溫評論說：「希夷《易》學，不煩文字解說，只有圖以寓陰陽之數，與卦之生變。」（《經世辨惑》）。以後，陳搏的數學傳於穆修，後傳至邵雍；其象學傳於种放，後傳至劉牧，對後世影響頗大。

邵雍繼承和發展了漢《易》中的卦氣說，但拋棄了漢代經師解《易》的煩瑣形式，是宋代象數《易》的代表人物。他以探討天地萬物的運動變化和陰陽消長為宗旨，以先天《易》學和後天《易》學為主要內容，建構了一套試圖囊括宇宙人生龐雜的象數學體系。邵雍對先天之學非常感興趣，他認為，以〈乾〉〈坤〉〈坎〉〈離〉為四正卦的圖式乃伏羲所畫，故稱此類圖式為先天圖，稱其學為先天學，而漢《易》中以〈坎〉〈離〉〈震〉〈兌〉為四正卦的圖式，乃文王之《易》，是伏羲《易》的推演，為後天之學。他以象數之學為核心，推衍出一套宇宙運動和變化的模式，並提出一個元會運世、皇帝王霸的宇宙歷史演化圖表，預測未來的事變。邵雍對《易》學的貢獻是提出加一倍法或稱一分為二法，用以解釋六十四卦卦象或卦象的形式。他把數的演變置於首位，「一變而二，二變為四，三變而八卦成矣。四變而十六，五變而三十二，六變而六十四備矣。」（《觀物外篇》）。這是邵雍的新說法。<sup>6</sup>

關於八卦的起源與六十四卦的形成，邵雍認為揲著之數，八卦與六十四卦之數，以及九六之數和〈乾〉〈坤〉卦象，都來源於天地之正數，即奇偶之數。邵雍認為揲著成卦的過程，即八卦和六十四卦的形成過程，他不取聖人觀象立卦說而主極數以定象說。據此，邵雍對八卦和六十四卦的形成過程

作了這樣的說明：「太極既分，兩儀立矣。陽下交於陰，陰上交於陽，四象生矣。陽交於陰、陰交於陽而生天之四象；剛交於柔、柔交於剛而生地之四象。於是八卦成矣。八卦相錯，然後萬物生焉。是故一分为二，二分为四，四分为八，八分为十六，十六分为三十二，三十二分为六十四。故曰分陰分陽，迭用柔剛，故《易》六位而成章也。十分為百，百分為千，千分為萬，猶根之有幹，幹之有枝，枝之有葉，愈大則愈少，愈細則愈繁，合斯為一，衍期為萬。」（《觀物外篇》）。

邵雍所說的「一」或「根」，都是指太極，八卦與六十四卦是從一分为一奇一偶，然後逐次各加一奇一偶而演成的。總之，八卦和六十四卦形成理論的基本法則是一分为二，二分为四，四分为八，如據原則，六十四卦還可以繼續無限的推演。邵雍的這一法則，程顥稱之為加一倍法，朱熹稱之為一分为二法或四分法。邵雍以此法解釋六十四卦卦數和卦象的形成，於《易》學史上可謂獨具特色。其著眼於一、二、四、八這種數的加一倍或一分为二的變化關係，這既不同於虞翻的卦變說，也不同於韓康伯的有生於无說和孔穎達的太極元氣說、五行說，成了其後數百年來象數學的基本原理之一，從而形成了新的以數學觀點解《易》的流派。

邵雍還依八卦之數推論萬物之數，他在《觀物內篇》中說：

太陽之體數十，太陰之體數十二。少陽之體數十，少陰之體數十二。少剛之體數十，少柔之體數十二。太剛之體數十，太柔之體數十二。進太陽少陽太剛少剛之體數，退太陰少陰太柔少柔之體數，是謂太陽少陽太剛少剛之用數。進太陰少陰太柔少柔之體數，退太陽少陽太剛少剛之體數，是謂太陰少陰太柔少柔之用數。太陽少陽太剛少剛之體數一百六十，太陰少陰太柔少柔之體數一百九十二。太陽少陽太剛少剛之用數一百一十二，

<sup>6</sup> 參見劉光本：〈象數易與義理易之流變——從易學發展的角度看象數、義理、卜筮三者的關係〉，《周易研究》，1992年第4期，頁24。

太陰少陰太柔少柔之用數一百五十二。<sup>7</sup>

邵雍認為，卦數有體有用。體數指本來具有之數，如八卦之體數為八，六十四卦之體數為六十四。用數指發揮其功能或作用之數，如六十四卦，〈乾〉〈坤〉〈坎〉〈離〉四正卦為不用之卦，其用數則為六十。又如八卦，〈震〉〈巽〉或〈兌〉〈艮〉為不用之卦，其用數則為六，如《觀物外篇》所說：「天體數四而用三，地體數四而用三。」他還認為，八卦中太陽、少陽、太剛、少剛即〈乾〉〈離〉〈巽〉〈艮〉之體數各為十，太陰、少陰、太柔、少柔即〈兌〉〈震〉〈坎〉〈坤〉之體數各為十二。此是取天干十地支十二之數，與陽剛和陰柔相配。按此說法，陽剛之卦的總體數為： $10+10+10+10=40$ 。陰柔之卦的總體數為： $12+12+12+12=48$ 。上文所說的「進」，指加四倍，此時取筮法中之策數，如四九為三十六，四六為二十四等。上文中的「退」，即減去。所謂「進太陽少陽太剛少剛之體數」，即陽剛之總體數加四倍，即： $40\times 4=160$ 。所謂「退太陰少陰太柔少柔之體數」，即  $160-48=112$ 。此數即「太陽少陽太剛少剛之用數」。所以稱為用數，亦取「天之體數四，而用者三，不用者一」之義。下文是說，陰柔之總數加四倍，減去陽剛之總體數，即  $192-40=152$ 。此為「太陰少陰太柔少柔之用數」。邵雍又說：

以太陽少陽太剛少剛之用數唱太陰少陰太柔少柔之用數，是謂日月星辰之變數。以太陰少陰太柔少柔之用數和太陽少陽太剛少剛之用數，是謂水火土石之化數。日月星辰之變數一萬七千二十四，謂之動數；水火土石之化數一萬七千二十四，謂之植數。再唱和日月星辰水火土石之變化，通數二億八千九百八十一萬六千五百七十六，謂之動植通數。<sup>8</sup>

「唱」、「和」皆指相乘。此是說，陽剛之用數

乘陰柔之用數， $112\times 152=17024$ 。此數即日月星辰之變數，因為日月星辰能變物之性情形體，所以稱其數為變數。下文是說，陰柔和陽剛之用數再相乘，仍為 17024，此為水火土石之化數。所以稱為化數，因為水火土石可以化育走飛草木。邵雍認為，變數即動物之數，化數即植物之數。此二類數再相乘，即  $17024\times 17024=289816576$ ，為動植之通數。邵雍此說，是由陽剛陰柔之體數導出其用數，再由用數導出日月星辰和水火土石之數，最後導出動植物之總數。其目的是通過數的推衍，說明宇宙中的個體事物的變化是從簡單到複雜的過程。

總而言之，邵雍的「象數之學」（也叫「先天學」），他認為宇宙的本原為太極，太極生出天地，天生於動，地生於靜。太極是不動的，太極顯發而有變化的功能，於是生出數、象和器。他的先天學，認為有卦無文，卻盡備天地萬物之理。繼承發展漢《易》中的卦氣說，拋棄了漢代經師以卦氣和象數解《易》的煩瑣經學形式。其八卦與六十四卦次序圖，是說明八卦的起源和六十四卦形成次序的。以加一倍法或一分為二法，解釋六十四卦數和卦象的形成，把奇偶二數的演變置於第一位，有此數學法則，方有六十四卦。這種解釋乃漢唐《易》學所未見，排斥了無生有說及漢唐《易》中取象說，創立了以數學觀點解《易》的新流派，並稱天地萬物都是按八卦生成的次序演變出來的，這是邵雍在象數學上的特色。

### 三、宋代義理《易》

宋《易》學中的義理學派，吸取了王弼派《易》學以義理解《易》的學風，剔除其以老莊道家觀解《易》的傾向，對《易》學中的理氣、道器、性命、無極、太極、陰陽諸範疇，從哲學本體論的角度，作了深入的探討，因而使宋義理學向著哲學文化的道路發展。北宋程頤專以儒家倫理道德闡說《易》義，其說兼取《十翼》及王弼《易》而廣為發揮，自成一

<sup>7</sup> 邵雍：《皇極經世書》，（鄭州：中州古籍出版社，1989年），頁539。按：《皇極經世書》包括《觀物內外篇》。

<sup>8</sup> 同註7，頁546。

派，他是北宋《易》學中義理學派的代表。程頤透過對卦爻辭的解釋，提出卦變說、當位說、相應說、隨時取義說，極有利於說明卦爻象和卦爻辭之間的聯繫，使取義說得到充分的發揮。程頤認為「隨時變易以從道」。（《伊川易傳·序》）他將變易之道置於第一位，用來統率象、數、時、位的變化。程頤提出以理或天理解釋《周易》中的變化之道，以是否合天理、順天理解釋卦爻辭的吉凶，強調吉凶變易之理的客觀規律性、規範性和可知性，排斥老莊玄學派及漢《易》象數學派以象數占算陰陽災變。引史證經，把歷史人物的活動看成是吉凶之理消長的體現者。程頤既不贊成王弼的「得意忘象」說，又不贊成邵雍的「數生象」說，又以為「有理則有氣，有氣則有數」。（《二程全書·易說·繫辭》）程頤把《周易》中的象看成是其義理的顯現，這是以其理解《易》的基本觀點，據此，提出「體用一源，顯微無間」（《伊川易傳·序》）為其《易》學的基本原則。他又認為卦象和卦義融合在一起，如體用關係，不相分離。肯定言、象、意三者合一，辭可得意，象可明理，是對漢唐以來關於言、象、意的爭論的一次總結。茲就其《易》學特點因象明理，以理解《易》，引史入《易》，以史說理，對待與陰陽，分述如下：

#### （一）因象明理，以理解《易》

程頤以為理與象之關係是體與用<sup>9</sup>、微與顯的關係。理寓於象、象包含理，理是《易》之體，象是理之用，理為至微難見，象是有形、可感知，故可觀象以明理，《易程傳》，於〈易傳序〉云：

至微者，理也，至著者，象也，體用一源，顯微無間，觀會通以行其典禮，則辭無所不

<sup>9</sup> 胡自逢：《程伊川易學述評》云：「體用說，由來已久，中國先哲尤側重於本體之探索，蓋欲以發宇宙之奧祕、究人生之極致，所謂本原之學也。體用一詞，先秦儒者罕言，二名並舉，始於王輔嗣，其《老子注》已標體用之名，後世習稱本體現象，旨在研求宇宙所以形成之原因以及生化萬有之跡象，斯二名也，宋儒稱之為體用。體，即本體，天地萬物所由生化之根源；用，則其功用，作用是也。言體者，理為實體，固有其物，言用者，生意盎然，流行無間。體必有用，即用得體，二者名固有別，實不可截然分割為二也。」（臺北：文史哲出版社，民國84年12月），頁41~42。

備。故善學者，求言必自近，易於近者，非知言者也。予所傳者辭也，由辭以得意，則有乎人焉。<sup>10</sup>

按由辭以得意，為程子《易》學之重心，蓋義理見乎辭，由辭以觀象，辭在而義理象數皆在其中，《程氏遺書》云：

張閔中問曰：「《易》之義本起於數？」程子答曰：「謂義起於數則非也。有理而後有象，有象而後有數。《易》因象以知數得其義則象數在其中矣。必欲窮象之隱微，盡數之毫忽，乃尋流逐末，術家之所尚，非儒者之所務也。」……又曰：「理無形也，故因象以明理，理見乎辭矣，則可由辭以觀象。故曰得其義，則象數在其中矣。」<sup>11</sup>

蓋象數隱微難識，論者所取，毫無理據；然以辭為說，以辭觀象，論據有得。故程子論《易》學，非摒去象數，蓋須由「辭以得意」，而此辭之內容，是為儒門精神，故其重點在切人事，因象明理，以理解《易》。

#### （二）引史入《易》，以史說理

程頤以為《周易》卦爻辭皆講人事，以明得失之理，故在程《傳》卦爻辭及《易》傳之解釋中，徵引不少歷史事件及人物，借以證明《易》理。如其釋〈蒙〉卦上九爻辭「繫蒙，不利為寇，利禦寇」時說：「九居上，剛極而不中，故戒不利為寇。治人之蒙，乃禦寇也，肆為剛暴，乃為寇也。若舜之征有苗，周公之誅三監，禦寇也。秦皇漢武，窮兵誅伐，為寇也。」此為引古代帝王用兵之事解釋「禦寇」及「為寇」。又如解〈遯〉卦「〈遯〉之時義大矣哉！」時說：「聖賢之於天下，雖知道之將廢，豈肯坐視其亂而不救？必區區致力於未極之間。強此之衰，艱彼之進，圖其暫安，苟得為之，孔孟之所屬為也，王允、謝安之於漢、晉是也。」從其引

<sup>10</sup> 程頤：《易程傳》，（臺北：文津出版社，民國79年10月），頁2。

<sup>11</sup> 陸費逵總勘：《二程全書》，（四部備要本，子部，臺灣中華書局），《遺書》卷二十一上，頁4。

史證經觀之，其引史入《易》之目的，主要從社會、政治、倫理思想發揮《易》理，以之探尋道德修養與社會治亂興衰之理，此引史入《易》之法，對往後楊萬里、李光、王夫之等人影響至鉅。

### (三) 對待與陰陽

宇內萬有之變化，每有兩相對待之現象，令人，物自然彼此間發生極密切之關聯，因而對待之律則便變化不息，生生不已。此種若為規律之自然法則，亦即天道之常，乃宇宙之所以為變，以持其常度者。故《大易》即以此精微之原理，明析宇宙萬變之情狀。觀此書中，每多對待之辭。如語天道，即有天地、乾坤、日月、動靜、剛柔、闔闢、盈虛、消息、微顯、泰否、損益之名。語人事，則有夫妻、男女、君子、小人、出處、語默、行止、出入、進退、俯仰、明晦、逆順、治亂、安危、盛衰、善惡之分。凡此對待之詞，皆有一陰一陽之義。而《伊川易傳》，每多言之，如：

天地之間皆有對，有陰則有陽，有善則有惡，君子小人之氣常停，不可都生君子。<sup>12</sup>

伊川之言對待，多先言陰陽之名<sup>13</sup>，陰陽乃大化流行一氣之兩面，屬於天道之相對者，善惡，係就人生價值而言，有此相對之二名，君子小人，專指人之行為而分，此三者為對待現象至大至顯之例，舉一概三，故曰「天地之間皆有對」。推之天下之事，事物必有對待之情狀，有對待，乃足以合和而成文明，《易程傳·損·象傳》「曷之用，二簋可用享，二簋應有時，損剛益柔有時。」句下，伊川云：

夫子特釋曷之用，二簋可用享，卦辭簡直，謂當損去浮飾。曰：何所用哉？二簋可以享也，厚本損末之謂也。夫子恐後人不達，遂以為文飾當盡去，故詳言之，有本必有末；

<sup>12</sup> 同註 11，《遺書》卷十五，頁 15。

<sup>13</sup> 〈泰·象傳〉曰：內陰而外陽，內健而外順，內君子而外小人，則是陽健而陰順，陽君子而陰小人。故伊川之言對待，亦多先言陰陽之名。參見江超平：《伊川易學研究》，（國立臺灣師範大學國文研究所碩士論文，民國 75 年 5 月），頁 113。

有實必有文，天下萬事，無不然者。<sup>14</sup>

誠以有對待乃足以成文明，然對待之理，莫尚乎陰陽，因而對待，必歸之於陰陽，兩者關係甚為密切。

綜上所述，程頤以新儒學之「理」或天「理」闡釋《周易》，提出「因象以明理」，雖不排斥物象，但就象數與義理之關係，卻認為義理為本，而確立宋《易》之義理學派，皮錫瑞以為：「程子不信邵子之數，其識甚卓。《易傳》言理，比王弼之近老氏者，為最純正。」<sup>15</sup>誠屬真言。

## 四、宋代史事《易》

史事《易》學者，乃援史入《易》，以參證《易》理之學。夫援史入《易》，古已有之，代不乏人，然尚未形成風氣。惟隨宋代義理《易》學的勃興，北宋以來胡瑗，程頤諸人注《易》，時援史事解說，迨南宋、楊萬里，更以史事證全經，而蔚為釋《易》的特色。史事《易》學是《易》學與史學的整合，蓋史事《易》家大抵均懷有淑世濟民的精神，欲使《易》為有用之學，不致淪為空談，所以援史以入《易》，俾能透過具體存在的事蹟，使原本隱微難明的《易》理，得推隱以之顯，以為民用。茲就宋代史事《易》學者李光之《易》學思想，敘述如下：

李光（西元 1078~1159 年），字泰發，號轉物居士，又自號讀易老人，越州上虞（今浙江上虞縣西北）人。少年時，知禮老成，不喜歡嬉戲，他父親稱讚說：「吾兒雲間鶴，其興吾門乎！」北宋崇寧五年（西元 1106 年）進士。事師劉安世，除太常博士，遷司封，曾論士大夫佞諛成風，言辭切至，被權臣王黼所嫉惡，貶知陽朔縣。入南宋，於高宗時累遷至吏部尚書，參知政事，向朝廷論諫的均是復國統一的根本大計。彼時秦檜欲用其名壓削反對和議者，及檜議撤守備，謀削兵權，他面斥檜「懷奸誤國」。和議成，安置藤州，移瓊州，論文考史，

<sup>14</sup> 同註 10，頁 364。

<sup>15</sup> 參見皮錫瑞：《經學歷史》八，〈經學變古時代〉，（臺北：藝文印書館，民國 76 年 10 月），頁 247。

怡然自通。檜死，復官。李光主張解《易》不應拘泥於象數，而應明人事。其解《易》往往依經立義，因事抒忠。引史入《易》，以史證《易》，因反對秦檜和議，假借《易》學道出其政治觀點，所論大都切實近理，著有《讀易詳說》、《莊簡集》。

李光嘗作《胡銓易解·序》云：

《易》之為書，凡以明人事，學者泥於象數，  
《易》幾為無用之書，邦衡說《易》，真可  
與論天人之際。<sup>16</sup>

李光於紹興十年，論和議忤秦檜，遂謫嶺南，自號讀易老人，因據其所得以作是書，故於當世之治亂，一身之進退，觀象玩辭，恆三致意，如解〈比〉卦之象傳：「先王以建萬國、親諸侯。」李光云：

聖人觀此象，故建萬國、親諸侯、小大強弱，不相陵犯，或以德懷，或以力制，咸親比于我矣，自堯舜三代不敢廢也。至秦并吞諸侯，而郡縣之一夫叫號，天下響應，孰有親比于我者？王氏論本朝罷侯置守，則曰萬一有秦之變，豈可諱哉？靖康之禍，金人長驅如入無人之境，諸路守臣奔竄迎降之不暇，其間能仗節死難者，不過數人，何補于治亂哉？然則眾建諸侯，或大封同姓，以復唐虞三代之制，豈非今日之先務哉？<sup>17</sup>

又如解〈蠱〉之初六：「幹父之蠱，有子，考无咎，厲終吉」注云：

天下蠱壞非得善繼之子，堪任大事，曷足以振起之？宣王承幽王後，脩車馬，備器械，復會諸侯於東都，卒成中興之功，可謂有子矣，故考可以无咎，然則中興之業，難以盡付之大臣，故〈蠱〉卦特稱父子者以此。<sup>18</sup>

由以上二例觀之，李光舉靖康之難以明王室孤立之禍，並以中興大業，難盡付大臣，實深寄其意。蓋

李光由靖康之禍，深感金人長驅如入無人之境者，以無大封同姓，眾建諸侯為屏藩故也，所以藉秦廢封建立郡縣，與宋之未眾建諸侯；以申明〈比〉卦象傳「先王以建萬國、親諸侯」之意，而引為本朝當務之急。

李光的史事《易》特點在稱引史事，參論《易》理上，有其突出的論說。如〈師〉卦六三爻辭「師或輿屍，凶」，李光結合本卦九二爻之象論曰：

九二以剛而居柔，故為上所信倚，託不御之權，專閫外之寄，戰可必勝，功可必成也。六三體柔而居剛，體柔則其才不足仗也，居剛則其任不可專也。九二為眾陰所歸，三當退聽而受其節制，今乃欲共主其事以分權，其無功必矣。自古將相委任不專，則號令不一；號令不一，則眾莫知所從，如此鮮有不敗北者。漢祖登壇拜韓信，使盡護諸將，故能下齊破趙，卒成大功。唐肅宗大舉節度之師以當安、史，而無主師，進退相顧望，雖郭汾陽、李臨淮不免奔潰。將之成敗，在委任之專與不專之間耳。<sup>19</sup>

〈師〉卦象徵「兵眾」，其旨在於揭示用兵行師的規律。全卦之中，九二以陽剛居於柔中之位，最獲六五「君王」之應，為軍中主師而戰必獲勝之象。六三則與之相反，以陰爻而居於陽位，柔弱失正，上無陽應，下又乘剛，為力微任重、貪功冒進之象，戰必取敗，故爻辭謂之「師或輿屍」，並斷其必「凶」。李光所釋，乃在分析了六三與九二爻象之不同之後，指出九二為「戰可必勝」的象徵，六三為「無力」必敗的象徵。同時援引漢唐史事以印證這兩爻的義理：一是漢高祖劉邦於西元前 206 年拜韓信為大將，遂創「下齊破趙」之功，五年內全殲了項羽軍隊，建立起西漢王朝；二是唐肅宗乾元元年（西元 758 年），命郭子儀、李光弼等九節度使攻擊安慶緒、史思明叛軍，卻不立元帥，以宦官魚朝恩為觀軍容使，以致雖有郭、李之賢，也不免兵潰無功。這兩

<sup>16</sup> 見《四庫提要·經部·易類》卷二，頁 16。清紀昀等撰，（台北：藝文印書館，民國 68 年 12 月）。

<sup>17</sup> 李光：《讀易詳說》卷二。《中國古代易學叢書》第四冊，（中國書店，1992 年 7 月），頁 414。

<sup>18</sup> 同註 17，《讀易詳說》卷三，頁 441。

<sup>19</sup> 同註 17，《讀易詳說》卷二，頁 412。

件史事，一正一反，與〈師〉卦九二、六三喻義適相吻合。故李光最後得出「將之成敗，在委任之專與不專之問」的結論。

宋代之史事《易》家頗多，然其易傳或存或闕，或殘或佚，就現今所見，大體完好尚存，猶能見其梗概者，有李光、楊萬里、李杞、李中正諸人易傳。縱觀李光《易》學之精神為儒家，是以其援理釋《易》、引史證《易》，及至於以君臣論《易》，莫不在闡述儒家之道德史觀與政治哲學。至於《讀易詳說》每以君臣立論者，其因厥有數端，一為依經立義，藉《易》以申論其政治主張，一為因事抒忠，於論述君臣之際，每每流露其耿耿孤忠。一為微託諷諫，於文字之間，暗指高宗與秦檜也。大體而言，《讀易詳說》一書，實寓有李光積極用世之精神，非純然解《易》而已，觀其所云：「聖人作《易》之意，首立〈乾〉〈坤〉兩卦，以明君臣大分」（〈乾〉卦卦辭注），即已涵括全書之旨矣。而其援史以證《易》，亦不外申說此一君臣大義，正因其拘執如此，故其釋《易》或不免失之太隘。

## 五、宋代心學《易》

心學《易》是指以心學來詮說《周易》的易學<sup>20</sup>，而所謂心學，是以儒家的「道德心」為本所開出來的學問。南宋心學《易》肇始於陸象山的心學，但象山並無《易》學的專著，只有散見於書、記、序贈、雜著、講義、程文、語錄……等的論《易》文字。據《宋元學案》卷五十八、七十四、七十五、七十六、七十七諸卷，象山有弟子八十二人，這些弟子有《易》學著作的，不乏其人<sup>21</sup>，但於今留傳下來的，只有楊簡的《慈湖易傳》與《己易》。至於南宋心學《易》的思想淵源有孔子的仁學、孟子的心性論、《易》傳的本體宇宙論、程頤的體用觀以及佛學的心性觀等，茲以楊簡的《易》學說明如

<sup>20</sup> 參見張其成主編：《易學大辭典》，頁 39「心學易」條。（北京：華夏出版社，1992 年 2 月）。

<sup>21</sup> 參見徐紀芳：《陸象山弟子研究》附表一，頁 67~72。（臺北：文津出版社，民國 79 年 4 月）。

下：

楊簡，字敬仲，明州慈湖（今浙江寧波西北）人。因築室德潤湖（慈湖）畔，世稱慈湖先生。乾道進士，久任地方小官，後官樂平知縣、國子博士，嘉定元年（西元 1208 年）授著作郎，出知溫州，官至寶謨閣學士、太中大夫。著有《楊氏易傳》、《慈湖貴書》、《己易》。

楊簡為陸九淵大弟子，「簡之學出於陸九淵，故其解《易》，惟以人心為主，而象數事物，皆在所略。」（《四庫全書總目》）。楊簡發揮程頤和陸九淵的天人一本的思想，以一之本解釋六十四卦的卦爻象和卦爻辭以及《象》、《象》、《文言》三傳，建立起心學派的《易》學哲學體系。《己易》一書通論《周易》的原則，集中代表其《易》學觀。楊簡《易》學哲學的方向是將程頤和陸九淵的觀點引向以自我意識為核心的本體論。他認為《易》之道，即人，即人之心，即天地，即萬物，即萬事；即萬理。。」（《楊氏易傳·復》）。楊簡解《易》不似程朱派以天理為出發點，而以道心為出發點。他認為《易》即道心，其所謂「道心者，人之本心也。」（《楊氏易傳·无妄》）此即不起意念無思無慮、寂然不動之人之生來就有的良知良能之心。此說不僅出於陸氏之學，而且受佛教大乘性宗和禪宗學說的影響。楊簡認為卦爻名殊而道一。「乾坤之名不同，而用則無二也。故曰通乎一，萬事畢。」（《楊氏易傳·乾》）他否定外界事物的差異、變化，追求無差別的境界，是對程頤的「仁者天地萬物為一體」和陸九淵的「此理充塞宇宙」說的新發展。楊簡又以為心學從人心出發，以本心或道心為事物之本原，視卦爻象和事物的差別為人心的產物，不區別道和器、理和事，即不以理為本、事為末。此論受佛教影響，將事物的同一性片面誇大，否定了事物之間存在本質差別。而提出「天人本一」、「天人一致」和「三才一體」說，作為其《易》學哲學的基本原則。他將天道和《易》的法則歸之於個人之心，特別是心理學和倫理講的「心」。此說對明代王守仁

影響較大。

楊簡《易》學的本體思想，得之於心靈的開悟，其悟道的境界是《易大傳》，心體是楊簡思想的中心，楊簡承象山之指點，以心為思想的核心，心具本體義和主觀義，而心又通於客觀的本體，在表述此客觀的本體時，楊簡名之為「道」，楊簡說：

夫道一而已矣，三才一，萬物一，萬事一，萬理一。<sup>22</sup>

道是唯一的本體，道是《易》，《易》有無窮的變化，《易》是創造天地人與萬物的本體，是變化的原動力，是言行動作的主體，是倫理、政治的原理，是我們日用常行的大道。道之為本體，並非孤立懸絕的存在，而是在創造變化中顯現其意義，《周易》即從變易中闡明道的意義。因此，楊簡談道的變易，實貫通存在界與價值界，其釋〈剝〉卦「上九，碩果不食，君子得輿，小人剝廬。」云：

陽實有碩果之象，碩，本也。陽為大，君子為大。陽極衰而復生，陰陽無偏絕之理，故碩果不食，復於下生。當是時，小人盛極勢衰，君子衰極勢將復，故曰君子得輿，小人剝廬。」<sup>23</sup>

陰陽消息變易，以維持生生不息的現象。在人世間，君子為道德生機之所寄，故君子之道，絕無消失之理，所以衰極則將復。

楊簡以為宇宙本體是唯一的道，所以天人一體，而人道與天道是相通的，楊簡說：

節，止也，止其過也。……天下無二道也，內以節己，外以節物，凡天下之有所謂節止也。……天地亦有節，夏暑之極，秋節之；冬寒之極，春節之，故四時成。為國則節以制度，有制度則財不妄用，不妄用則不橫斂害民。言天地似無與乎人，而聖人必並言之，何也？人道即天地之道，節以制度即四時寒暑暄涼之宜。聖人以此開萬世之明，其曰不

無小異焉者，不惟不知天地，亦不知人，實不識節以制度。天下無二道，一通則無所不通，一有不通則皆不通。<sup>24</sup>

暑熱冬寒至極，則有秋涼春暄加以節止，形成春夏秋冬暄熱涼寒調節循環的規律。聖人由天道的規律而推論人事的規律，闡明人道與天地之道相通，治國的制度，即四時的調節。

楊簡從悟道的經驗來說，人心即道，此一意義即為動靜一知。他認為道心非有形、有跡可把握的物或意念，不能以動靜、行止來描述它，它的變化作用，像四時的循環，像水鑑映照萬象，動而非動，靜而非靜；道心的發用，是不動而動，靜而不靜，如日月的光照天下，大禹的功業事蹟，就是這種境界的寫照。他又說聖人作《易》，就是闡發道的體用意義，善學《易》理的人，是從自身上求，而不是從書本的文字上去找，因為聖人作《易》，不過是在闡發我們心中的道德本體而已。神、易、心都是指同樣的本體，聖人就是本體的形象，聖人之德是與天地、日月、四時、鬼神一致的，因此聖人證道是他本體論的總結。

楊簡身為「象山弟子之冠」，在陸王心學的產生和傳承中影響巨大，舉足輕重，是心學發展歷程中不可缺少的關鍵人物，如朱門之黃幹。楊簡既承襲陸氏，又別有發揮，他消除象山的「沿襲之累」，宏闡心之即道，彰顯易之為己，將心學徹底化，形成了其一以貫之的惟心觀和徹底的心本論。心學創始人陸象山和心學集大成者王陽明均無專門解《易》的著作，楊簡著《楊氏易傳》和《己易》，是南宋時期乃至整個中國古代心學解《易》派的典範。楊簡以心解《易》，以此為其心學理論體系的建立和展開尋找到經典根據，其心學特色充分體現在其《易》學思想中。<sup>25</sup>

<sup>22</sup> 參見《楊氏易傳》卷一，同註17，第八冊，頁5。

<sup>23</sup> 同註22，《楊氏易傳》卷九，頁94~95。

<sup>24</sup> 同註22，《楊氏易傳》卷十九釋〈節〉卦卦辭·彖傳，頁195~196。

<sup>25</sup> 王忠軍：《歷代易學名著研究》下冊，（山東：齊魯書社，2008年5月），頁638~639。

## 六、結語

綜上所述，宋代《易》學的發展是存在象數與義理兩大派別中。在北宋首先流行的象數派推崇〈河圖〉〈洛書〉的《易》學。象數派《易》學至周敦頤和邵雍開始把象數與理聯繫起來，形成了真正具有宋代特色的象數學。程頤的《易》學標誌著宋代義理派《易》學的形成，此後義理派的《易》學逐漸取得了支配地位。南宋時則出現了象數派和義理派《易》學相互吸引的傾向，出現了像朱熹那樣兼收象數派《易》學觀點和朱震那樣兼收義理派《易》學觀點的人物。特別是朱熹繼承了程頤《易》學的傳統，並對周敦頤、邵雍、張載、朱震等重要《易》學家的觀點都能批判吸收，因而實際上，他的《易》學是對北宋以來《易》學發展的一個總結。又北宋義理派開創了以「儒理」解釋《周易》原理的《易》學體系，並藉此構建了宋代理學的哲學體系。南宋時期李光、楊萬里，雖不廢胡瑗、程頤以儒理解《易》的舊風，但更注意援引歷代史實，與六十四卦、三百八十四爻的義理相互應證，以揭明各卦、各爻的象徵旨趣。這種方法，又自成一派，對後代《易》學也頗有影響。<sup>26</sup>而南宋的理學《易》也取代了舊的玄學《易》學的地位。理學《易》又分化出心學一派，這對於往後宋明理學的發展，有重大的影響。

## 參考文獻

- [1] 高懷民：《宋元明易學史》，（高懷民；民國 83 年 12 月）。
- [2] 朱伯崑：《易學哲學史》第一卷，（臺北：藍燈文化事業股份有限公司，民國 80 年 9 月）。
- [3] 楊家駱主編：《新校本宋史》第十六冊，（臺北：鼎文書局，民國 67 年 9 月）。
- [4] 胡自逢：《程伊川易學述評》，（臺北：文史哲出

版社，民國 84 年 12 月）。

- [5] 程頤：《易程傳》，（臺北：文津出版社，民國 79 年 10 月）。
- [6] 陸費逵總勘：《二程全書》，（四部備要本·子部，臺灣中華書局）。
- [7] 皮錫瑞：《經學歷史》，（臺北：藝文印書館，民國 76 年 10 月）。
- [8] 《四庫提要·經部易類》。清紀昀等撰，（臺北：藝文印書館，民國 68 年 12 月）。
- [9] 張其成主編：《易學大辭典》，（北京：華夏出版社，1992 年 2 月）。
- [10] 徐絕芳：《陸象山弟子研究》，（臺北：文津出版社，民國 79 年 4 月）。
- [11] 張善文：《象數與義理》，（臺北：洪葉文化事業有限公司，1997 年 1 月）。
- [12] 劉光本：〈象數易與義理易之流變——從易學發展之角度看象數、義理、卜筮三者之關係〉，《周易研究》，1992 年第四期）。
- [13] 江超平：《伊川易學研究》，（國立臺灣師範大學國文研究所碩士論文，民國 75 年 5 月）。
- [14] 王忠軍：《歷代易學名著研究》下冊，（山東：齊魯書社，2008 年 5 月）。
- [15] 邵雍：《皇極經世書》，（鄭州：中州古籍出版社，1989 年）。
- [16] 李光：《讀易詳說》，《中國古代易學叢書》第四冊，（中國書店，1992 年 7 月）。
- [17] 楊簡：《楊氏易傳》，《中國古代易學叢書》第八冊，（中國書店，1992 年 7 月）。

<sup>26</sup> 張善文：《象數與義理》，（臺北：洪葉文化事業有限公司，1997 年 1 月），頁 72。

## 省力奶瓶刷

### SAVE EFFORT BOTTLE BRUSH

吳祥祺 遠東科技大學工業設計系助理教授

謝忠憲 遠東科技大學工業設計系學生

江潮憲 遠東科技大學工業設計系學生

葉志祥 遠東科技大學工業設計系學生

楊宗翰 遠東科技大學工業設計系學生

陳品仰 遠東科技大學工業設計系學生

#### 摘 要

本專題係有關一種省力奶瓶刷，主要包含驅動裝置與洗刷桿所構成，該驅動裝置之殼體內部樞設有主動齒盤及從動齒盤，且主動齒盤的齒數較於從動齒盤的齒數多，而主動齒盤結合有一握柄向上貫通至殼體外部，而從動齒盤則以連接桿與一洗刷桿之軸桿相互接合，而洗刷桿之軸桿佈設有大量之刷毛，係藉由握柄帶動較多齒數的主動齒盤轉動時，則可一併嚙合帶動另一個較少齒數的從動齒盤進行轉動，因此，當較多齒數的主動齒盤一圈時，較少齒數的從動齒盤則已被主動齒盤帶動旋轉數圈，以達到快速且省力轉動洗刷桿之效果，進而提昇清潔奶瓶上的方便性，係一誠為相當符合產業利用性之產品。

**關鍵詞：**省力、奶瓶刷、齒輪

Hsiang-Chi Wu, Assistant Professor, Depart. of Industrial Design, Far East University

Zhong-Xian Xie, Depart. of Industrial Design, Far East University

Chao-Xian Jiang, Depart. of Industrial Design, Far East University

Zhi-Xiang Ye, Depart. of Industrial Design, Far East University

Zong-Han Yang, Depart. of Industrial Design, Far East University

Pin-Yang Chen, Depart. of Industrial Design, Far East University

### **Abstract**

This project is to introduce a device " **SAVE EFFORT BOTTLE BRUSH** ", which includes a drive unit and brush rod. Inside the drive unit are an active and subsidiary tooth disc. And the number of the active tooth disc is more than that of the subsidiary tooth disc. The active tooth disc is combined with a grab handle linked up to the outside part of the rod. For the subsidiary tooth disc, the connection rod is linked with the shaft stick of the brush rod. Around the shaft stick are bristles. When the grab handle makes the active tooth disc rotate, the subsidiary tooth disc can rotate at the same time. As a result, as soon as the active tooth disc turn around for a circle, the subsidiary tooth disc can turn around more. This will make brushing quicker and effort-saving. Furthermore, cleaning babies' bottles will also become more convenient. This is really a device with Industrial applicability.

**Keywords:** labor-saving, bottle brush, gear

## 一、前言

一般在市面上所看見的奶瓶刷，大多都是相同的類型，但通常民眾購買奶瓶刷回家使用後，會有感覺到費時費力，甚至覺得不太好使用，而市面上的奶瓶刷總是覺得刷毛轉太慢，因為大多是手把上轉一圈，下面的毛刷最多只是轉一圈，因此我們覺得奶瓶刷有必要改進的空間，進而讓奶瓶刷能更有效率的使用。為此，我們為了能讓奶瓶刷能夠更有效率與省力的使用，故而想到利用我們所學齒輪相關原理，來使用齒輪原理與奶瓶刷結合，進而可以讓奶瓶刷能夠使用起來達到省力更有效率之效果。

## 二、文獻探討

刷子奶瓶刷顧名思義就是清潔用品，刷子的用途非常的廣有的是拿來刷馬桶刷地板等等，而奶瓶刷是清洗奶瓶的必備工具。而且清洗奶瓶必須用專用的奶瓶刷，有的媽媽用牙刷或者別的工具來刷小孩子的奶瓶，這種做法是不對的。牙刷是用來刷牙的，而不是用來刷奶瓶的，奶瓶刷在使用完畢後要嚴格的消毒，如同奶瓶一樣，而牙刷沒辦法承受高溫的消毒。再來就是牙刷的設計和奶瓶刷的設計構造不一樣，使用不當會對奶瓶有損傷，而且也會縮減奶瓶的使用時間。市面上販售的主要有四種（如表 1）：

表 1 現有市售刷子

刷子種類	材質	使用方式
旋轉尼龍奶瓶刷	刷毛:尼龍 刷柄:PP 塑膠、 刷軸:不鏽鋼	因為刷柄可以 360 度旋轉手不必特意彎曲，所以用起來粉輕鬆。
旋轉海綿奶瓶刷	刷毛:海棉 刷柄:PP 塑膠	奶瓶不容易留下刮痕，小細節也比較容易刷乾淨。
清潔刷	奶瓶刷組合不同而有所不同。	可以刷較小的地方。
傳統刷子	刷毛:尼龍 刷柄:PP 塑膠	只能上下移動和用手轉動，用起來比較費時費力。

### 1.旋轉尼龍奶瓶刷：

這種奶瓶刷主要用於奶瓶內部的刷洗，刷頭採用高密度刷毛能徹底去除頑固的污漬，可以自由旋轉或

直刷，適用於玻璃奶瓶。如: Basilic 貝喜力克 D095 旋轉式奶瓶刷、艾比熊 AB-13196 兩用造型奶瓶刷) [1] [2]。



圖 1 旋轉尼龍奶瓶刷

### 2.旋轉海綿奶瓶刷：

與瓶身接觸的密合度比較高，洗淨的效果也相對提高，其形狀設計連不容易清洗到的瓶肩部分都可洗得比較乾淨，適用於塑料奶瓶。如【美國 Born free】奶嘴奶瓶刷組合[3]、360°旋轉式/抗菌/細緻/海綿/奶瓶刷/奶嘴刷) [4]。



圖 2 旋轉海綿奶瓶刷

### 3.清潔刷：

因為比較小，適合清洗奶瓶蓋。(清潔刷大部分都是和奶瓶刷組合一起賣)



圖 3 清潔刷

#### 4.傳統刷子:

功用和普通的刷子一樣是清潔的工具但不具省力裝置。



圖 4 傳統刷子

一般在市面上所看見的奶瓶刷，大多都是相同的類型，但通常民眾購買奶瓶刷回家使用後，會有感覺到費力，甚至覺得不太好使用，而市面上的奶瓶刷大多是手把上轉一圈，下面的毛刷也是只是轉一圈，因此我們覺得奶瓶刷有必要改進的空間，進而讓奶瓶刷能更有效率的使用。為此，我們為了能讓奶瓶刷能夠更有效率與省力的使用，故而想到利用我們所學齒輪相關原理，來使用齒輪原理與奶瓶刷結合，進而可以讓奶瓶刷能夠使用起來達到省力更有效率之效果。

在我國有關奶瓶刷方面的專利申請有好幾類。以改變刷頭申請專利的有七種，分別是「自動伸縮奶瓶刷（附防滴水盒）」[5]公告號為 M465825、「奶瓶刷結構改良」[6]公告號為 M371465、「奶瓶刷之刷頭結構」[7]公告號為 M363837、「可替換刷頭之奶瓶刷」[8]公告號為 M352289、「奶瓶刷」[9]公告號為 M280700、「奶

瓶刷」[10]公告號為 497399 及「奶瓶清潔刷」[11]公告號為 M449520，這類是以改變刷頭為主，達到清潔奶瓶之功用，但是手轉動刷柄一圈，刷毛也是只有轉一圈，所以並無省力效果。

把奶瓶刷和清潔刷結合在一起的有五種，分別是「奶瓶刷結構」[12]公告號為 M420235、「具有奶嘴刷之奶瓶刷」[13]公告號為 M285959、「奶瓶刷構造改良」[14]公告號為 549031、「子母相連之奶瓶刷」[15]公告號為 244448 及「子母相連之奶瓶刷(追加一)」[16]公告號為 258885，這類是為方便，而將兩者合在一起，但因為將兩者合起來，奶瓶刷可能變得比較難轉，反而更費力。

「奶瓶刷之刷柄」[17]公告號為 D128335，這是改變刷柄，讓奶瓶刷能夠做裝飾，純粹為了美觀，並無省力效果。

「免用奶瓶刷之組合式奶瓶」[18] (如圖 5)公告號為 151225，這個專利的想法是乾脆不用奶瓶刷，直接將奶瓶分段拆開，以方便清洗，但是用久了連接處可能鬆開導致奶瓶中的牛奶從連接處滲出。

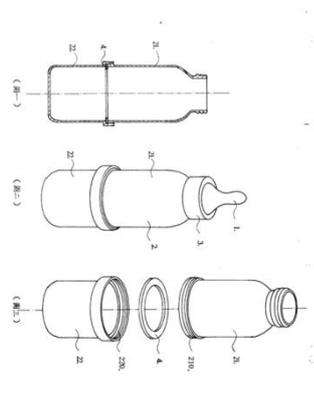


圖 5 免用奶瓶刷之組合式奶瓶

接下來這幾種申請專利的奶瓶刷，應該算是具有省力效果的奶瓶刷，分別是「電動奶瓶刷」[19]公告號為 M256711、「奶瓶刷」[20]公告號為 563459、「奶瓶刷結構改良」[21]公告號為 271564 及「奶瓶刷結構」[22]公告號為 201036573。

「電動奶瓶刷」(如圖 6)，其內部設有電動裝

置之刷柄，其桿體一端則與刷柄一端相互樞組，而此結構之桿體雖可藉電動裝置進行轉動，讓桿體上的刷毛體來刷洗奶瓶，雖然具有省力的效果，但會造成浪費電源的情形，不具有現今提倡之環保效應。

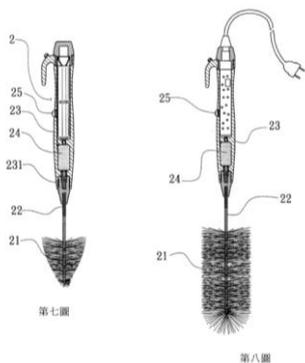


圖 6 電動奶瓶刷

「奶瓶刷」(如圖 7)及「奶瓶刷結構」(如圖 8)以上兩者都一樣，在瓶口上作個蓋子在刷洗以防噴出來，前者有作多加槓桿原理好施力，但是刷柄轉一圈，刷毛也是只有轉一圈，後者刷毛和握柄成一直線，利用補助蓋結可旋轉上下刷洗，但至轉動時只能靠手腕，轉久了手也會痠，所以兩者無法達到省力效果。

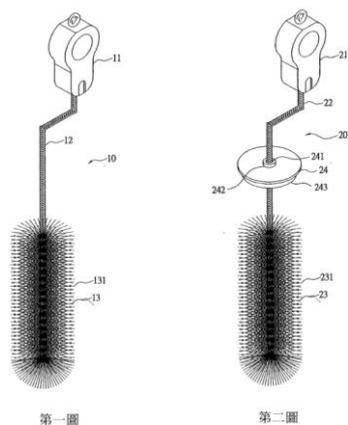


圖 7 奶瓶刷

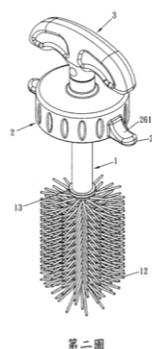


圖 8 奶瓶刷結構

「奶瓶刷結構改良」(如圖 9)此奶瓶刷可以藉由握柄上下拉推時，其導引螺紋藉由瓶口蓋之螺旋導槽導引產生自轉而可上下旋轉清洗奶瓶內部，螺旋的清理時需要花費較多時間，而且清洗時必須使用適合奶瓶的上蓋，否則無法順利固定螺旋導槽，因此使用並不方便。

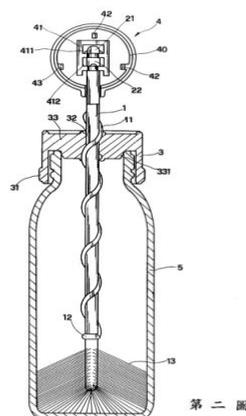


圖 9 奶瓶刷結構改良

### 三、研究方法與目的

為何我們要製作省力的奶瓶刷，原因很簡單因為現在市面上所販售的奶瓶刷，刷柄轉一圈刷毛也是只能轉一圈，雖然有達到一點點省力的效果，但我們想把它省力的效果更加改進，希望能夠再多增加幾圈使得奶瓶刷刷起來更加的省力。

我們製作的方法是將原有的奶瓶刷進行改造，把他的刷頭和刷柄分開，在將他們分別裝上齒輪機構，使刷柄轉一圈，刷頭能夠達到多轉圈數的

效果，使用起來更加省力方便。

1.公式推導[23]

單式周轉輪系(如圖 10)，有一旋臂  $m$  支持  $B$  軸繞  $A$  軸迴轉，因所有軸皆只有一個齒輪，故為單式周轉輪系。

$B$  軸之切線速度

$$V_B = \omega_m \times AB = \omega_m \times (R_A + R_B) \dots(3-2)$$

節點  $P$  之切線速度

$$V_P = \omega_A \times R_A \dots(3-3)$$

$$\omega_B = \frac{V_B - V_P}{R_B} \dots(3-4)$$

$$\frac{\omega_B - \omega_m}{\omega_A - \omega_m} = -\frac{R_A}{R_B} = -\frac{T_A}{T_B} \dots(3-5)$$

$$\Rightarrow \frac{N_B - N_m}{N_A - N_m} = -\frac{T_A}{T_B} \dots(3-6)$$

輪系值

$$i_{AB} = \frac{N_B - N_m}{N_A - N_m} = \frac{-T_A}{T_B} \dots(3-7)$$

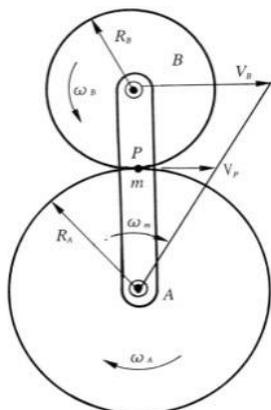


圖 10 單式周轉輪系[23]

上式中  $N$  若順時針，則為正，反之則為負。

推導 3 齒輪公式：

$$\frac{N_A - N_m}{N_B - N_m} \times \frac{N_B - N_m}{N_C - N_m} = \frac{T_B}{T_A} \times \frac{T_C}{T_B} \dots(3-8)$$

$$\Rightarrow \frac{N_A - N_m}{N_C - N_m} = \frac{T_C}{T_A} \dots(3-9)$$

$\omega_A$ :A 齒輪角速度       $\omega_B$ :B 齒輪角速度

$\omega_m$ :旋臂角速度       $N_A$ :A 齒輪轉速

$N_B$ :B 齒輪轉速       $N_C$ :C 齒輪轉速

$N_m$ :手搖圈數       $T_A$ :A 齒輪齒數

$T_B$ :B 齒輪齒       $T_C$ :C 齒輪齒數

2.繪製模型

我們提出五種不同比例的模型，分別為編號 1 至 5 號奶瓶刷，並使用 Solid works 繪製出我們所需的模型。

1 號和 2 號奶瓶刷齒輪比例都一樣是 2:1，都是二齒輪奶瓶刷，但是齒輪的尺寸大小並不相同。

3 號、4 號和 5 號奶瓶刷，都是三齒輪奶瓶刷，3 號和 4 號三個齒輪的尺寸相同，但是排列順序不同，5 號與其他兩者的尺寸不相同。

表 2 齒數比 2:1(零件)

上蓋	下蓋
大齒輪(R=24mm, m=1)	小齒輪(R=12mm, m=1)

1 號奶瓶刷：齒數比 2:1，模數  $m=1$ ，2 個齒輪。

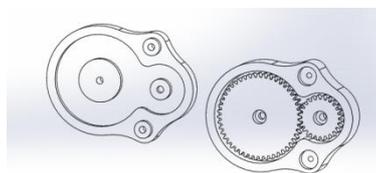


圖 11 齒數比 2:1(大)上蓋下蓋組合圖

表 3 齒數比 2:1(零件)

上蓋	下蓋
大齒輪(R=15mm, m=1)	小齒輪(R=7.5mm, m=1)

2 號奶瓶刷：齒數比 2:1，模數  $m=1$ ，2 個齒輪。

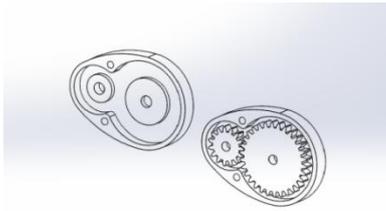


圖 12 齒數比 2:1(小) 上蓋下蓋組合圖

表 4 齒數比 1:0.5:1(零件)

上蓋	下蓋
大齒輪(R=10mm, m=1)	小齒輪(R=5mm, m=1)

3 號奶瓶刷：齒數比 1:0.5:1，模數  $m=1$ ，3 個齒輪。

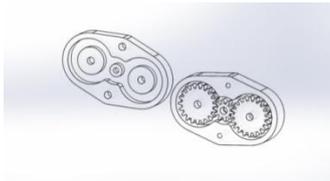


圖 13 齒數比 1:0.5:1 上蓋下蓋組合圖

表 5 齒數比 1:1:0.5(零件)

上蓋	下蓋
大齒輪(R=10mm, m=1)	小齒輪(R=5mm, m=1)

4 號奶瓶刷：齒數比 1:1:0.5，模數  $m=1$ ，3 個齒輪。

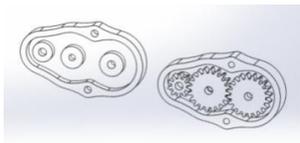


圖 14 齒數比 1:1:0.5 上蓋下蓋組合圖

表 6 齒數比 1.5:0.8:0.5(零件)

上蓋	下蓋	
大齒輪 (R=15mm, m=1)	中齒輪 (R=8mm, m=1)	小齒輪 (R=5mm, m=1)

五號奶瓶刷：齒數比 1.5:0.8:0.5，模數  $m=1$ ，3 個齒輪。

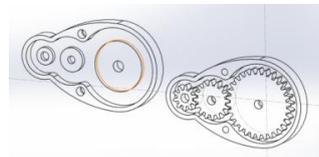


圖 15 齒數比 1.5:0.8:0.5 上蓋下蓋組合圖

## 四、展示成果

以 3D 列印機製作齒輪組及上下蓋，製作流程如圖 16。



圖 16 製作流程圖

1 號奶瓶刷：體積雖然過大，外觀也不太好，但是很好使用。

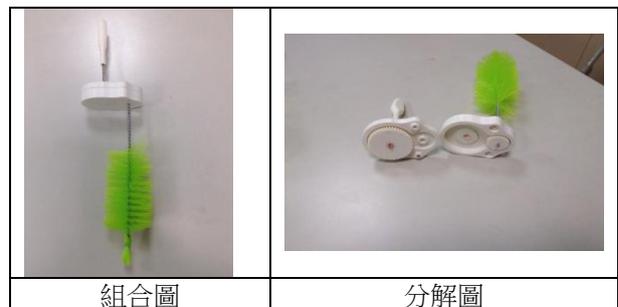


圖 17 1 號奶瓶刷成品圖

由公式 3-7

$$N_A=0 \quad N_m=1 \quad T_A=48 \quad T_B=24$$

$N_A$ :刷柄轉動圈數  $N_B$ :刷毛轉動圈數  $N_m$ :殼轉動圈數

代入公式  $\Rightarrow N_B = 3$

刷柄轉一圈，刷毛轉三圈。

刷柄與刷毛的軸距為 36mm，因此在相同力矩下，力臂較長者，較為省力，因此很好使用。

2 號奶瓶刷：效率雖然有提高，但因為齒輪間的距離短了幾公分，所以用起來感覺卡卡的。



圖 18 2 號奶瓶刷成品圖

由公式 3-7

$$N_A=0 \quad N_m=1 \quad T_A=30 \quad T_B=15$$

$N_A$ :刷柄轉動圈數  $N_B$ :刷毛轉動圈數  $N_m$ :殼轉動圈數

代入公式  $\Rightarrow N_B = 3$

刷柄轉一圈，刷毛轉三圈。

刷柄與刷毛的軸距為 22.5mm，因此在相同力矩下，力臂較短者，較為費力，因此用起來感覺卡卡的。

3 號奶瓶刷：因為刷毛未旋轉，無法達到我們此次專題的研究目的。



圖 19 3 號奶瓶刷成品圖

由公式 3-9

$$N_A=0 \quad N_m=1 \quad T_A=20 \quad T_B=10 \quad T_C=20$$

$N_A$ :刷柄轉動圈數  $N_C$ :刷毛轉動圈數  $N_m$ :殼轉動圈數

代入公式  $\Rightarrow N_C = 0$

刷柄轉一圈，刷毛轉零圈。

刷柄與刷毛的軸距為 30mm。

4 號奶瓶刷：使用起來很順，但實際旋轉之後，刷柄轉的圈數和刷毛轉的圈數一樣，所以無法達到我們理想的做動方式。

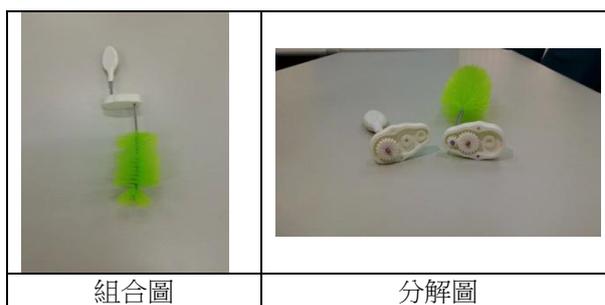


圖 20 4 號奶瓶刷成品圖

由公式 3-9

$$N_A=0 \quad N_m=1 \quad T_A=20 \quad T_B=20 \quad T_C=10$$

$N_A$ :刷柄轉動圈數  $N_C$ :刷毛轉動圈數  $N_m$ :殼轉動圈數

代入公式  $\Rightarrow N_C = -1$  (反方向)

刷柄轉一圈，刷毛轉一圈，而且方向相反。

刷柄與刷毛的軸距為 35mm

5 號奶瓶刷：轉動時較順，而且旋轉的圈數有達到我們預期的使用效果。



圖 21 5 號奶瓶刷成品圖

由公式 3-9

$$N_A=0 \quad N_m=1 \quad T_A=30 \quad T_B=16 \quad T_C=10$$

$N_A$ :刷柄轉動圈數  $N_C$ :刷毛轉動圈數  $N_m$ :殼轉動圈數

代入公式  $\Rightarrow N_C = -2$ (反方向)

刷柄轉一圈，刷毛轉兩圈，而且方向相反。

刷柄與刷毛的軸距為 36mm，因此在相同力矩下，力臂較長者，較為省力，因此很好使用。

綜合比較：

當我們實驗完之後，在檢討時的過程中，我們發現了幾項問題與解決的方法。

- 1.齒輪蓋與齒輪座外觀做的體積大小，不是很美觀，因此又做幾個齒輪比較小的實驗品。
- 2.齒數比沒辦法抓到較準確的比例，等於無達到我們所預期的目標。
- 3.當齒輪與齒輪相互抵消時，應當改變齒數比或齒輪的排列。
- 4.齒輪蓋與齒輪底中為了奶瓶刷刷軸預留的孔洞大小適中就好，孔太大會沒有支撐力，孔太小轉起來會不太順。
- 5.刷柄與刷毛的距離不宜太短，不然轉起來會卡卡的。因為在相同力矩下，若力臂較長者，較為省力；反之，若力臂較短者，較為費力。

表 7 實驗記錄

編號	齒數比	旋轉圈數		刷柄和刷毛的距離
		刷柄	刷毛	
1	2:1(大)	1 圈	3 圈	36.0mm
2	2:1(小)	1 圈	3 圈	22.5mm
3	1:0.5:1	1 圈	0 圈	30.0mm
4	1:1:0.5	1 圈	1 圈	35.0mm
5	1.5:0.8:0.5	1 圈	2 圈	36.0mm

由表 7 實驗紀錄中比較 1 至 5 號奶瓶刷後得到以下 3 個結論。

1. 齒數比 2:1(大)有達到想要的目標，刷柄與刷毛的軸距適當，轉動起來很順，但因為加裝齒輪的地方體積比較大，可能有些人會覺得不喜歡。
2. 齒數比 2:1(小)有達到想要的目標，體積也比較小，但是因為刷柄與刷毛的軸距比較短，所以轉起來有點卡卡的。

3. 齒數比 1.5:0.8:0.5 有達到想要的目標，而且體積剛好，刷柄與刷毛的軸距適當，用起來也蠻順的。

## 五、結論未來與展望

我們要製作省力奶瓶刷，其原因很簡單就是現在市面上販售的奶瓶刷最多只能旋轉一圈，雖然有達到一點點省力及省時的效果，但是大多數的奶瓶刷使用起來都大同小異，所以我們想把省力省時效果更加改進，希望能夠再多增加幾圈是為了讓奶瓶刷刷起來更加的省力。突破現有的奶瓶刷，將齒輪套用在奶瓶刷上，進而達到我們理想中的成果，甚至能夠比一般市面上的奶瓶刷更優秀與完美。希望能夠讓全天下使用奶瓶刷的人，在使用起來時感覺省時又省力，這也達到我們所想要實現的最大目標。本奶瓶刷結構已申請專利。

## 參考文獻

- [1] Basile 貝喜力克 D095 旋轉式奶瓶刷 <http://goods.ruten.com.tw/item/show?21208306278548>
- [2] 艾比熊 AB-13196 兩用造型奶瓶刷 ~ 可 360 度旋轉，尼龍材質 - 輕鬆清潔奶瓶 <http://goods.ruten.com.tw/item/show?21444573967552>
- [3] 【美國 Born free】奶嘴奶瓶刷組合 [http://www.books.com.tw/products/N010569703?loc=025\\_002](http://www.books.com.tw/products/N010569703?loc=025_002)
- [4] 360°旋轉式/抗菌/細緻/海綿/奶瓶刷/奶嘴刷 <http://goods.ruten.com.tw/item/show?21501165142491>
- [5] 中華民國專利公告號：M465825，專利名稱「自動伸縮奶瓶刷（附防滴水盒）」。
- [6] 中華民國專利公告號：M371465，專利名稱「奶瓶刷結構改良」。
- [7] 中華民國專利公告號：M363837，專利名稱「奶瓶刷之刷頭結構」。

- [8] 中華民國專利公告號：M352289，專利名稱「可替換刷頭之奶瓶刷」。
- [9] 中華民國專利公告號：M280700，專利名稱「奶瓶刷」。
- [10] 中華民國專利公告號：497399，專利名稱「奶瓶刷」。
- [11] 中華民國專利公告號：M449520，專利名稱「奶瓶清潔刷」。
- [12] 中華民國專利公告號：M420235，專利名稱「奶瓶刷結構」。
- [13] 中華民國專利公告號：M285959，專利名稱「具有奶嘴刷之奶瓶刷」。
- [14] 中華民國專利公告號：549031，專利名稱「奶瓶刷構造改良」。
- [15] 中華民國專利公告號：244448，專利名稱「子母相連之奶瓶刷」。
- [16] 中華民國專利公告號：258885，專利名稱「子母相連之奶瓶刷(追加一)」。
- [17] 中華民國專利公告號：D128335，專利名稱「奶瓶刷之刷柄」。
- [18] 中華民國專利公告號：151225，專利名稱「免用奶瓶刷之組合式奶瓶」。
- [19] 中華民國專利公告號：M256711，專利名稱「電動奶瓶刷」。
- [20] 中華民國專利公告號：563459，專利名稱「奶瓶刷」。
- [21] 中華民國專利公告號：271564，專利名稱「奶瓶刷結構改良」。
- [22] 中華民國專利公告號：201036573，專利名稱「奶瓶刷結構」。
- [23] 書名:機構學 作者:吳明勳 出版社:全華科技書股份有限公司 出版日期:2005 年 9 月。  
P38、P41~P43。

# 具熱配元件之高速轉軸建模及其於轉子動力學分析之應用

## Modeling of a High Speed Shaft with Hot-fit Parts and its Application on Rotor Dynamic Analysis

陳烱鏞 遠東科技大學自動化控制系教授

曹晉瑜 遠東科技大學機械工程研究所研究生

### 摘 要

馬達內藏式高速主軸其特點為高轉速的切削加工，而主軸構造重點之一為將馬達轉子利用熱配的方式直接與心軸結合，成為一新的心軸-轉子系統。本研究以接觸元素分析熱配轉子於轉軸動態剛性上的效應，並探討心軸-轉子系統處於旋轉狀態下及轉子因感應電流導致與心軸間產生溫差等因素對心軸-轉子系統動態特性的影響。藉由接觸元素靜態分析，求出心軸與轉子接觸面之應力/應變關係，再以此具預應力效應之模型進行有限元素模態分析。由分析結果顯示：轉速與溫差對於心軸與轉子接觸面之應力與變形量有著一定的影響，且溫差的影響大於轉速的影響。最後再以實體建模分析之結果，加入軸承剛性，透過最佳化等效楊氏係數之方法，建立與轉速相關之等效線元素直接建模模型，以進行於特定溫差下之轉子動力學分析。

**關鍵詞：**馬達內藏式高速主軸、溫差、轉速、轉子動力學分析

Shin-Yong Chen, Professor, Department of Automation and Control Engineering, Far-East University  
Chin-Yu Tsao, Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Far-East University

### **Abstract**

The motor built-in high speed spindle is featured in high speed cutting. One of the spindle construction keys is to directly combine a motor rotor with a shaft via hot-fit method to form a new rotor-shaft system. In this paper, the contact element analysis is used to study the effect of the hot-fit rotor on the dynamic stiffness of the shaft. The influence on the rotor-shaft system dynamic features due to factors as rotating shaft speed and temperature difference of motor rotor by induced current will also be considered. Through contact element static analysis by considering the rotating speed and temperature difference, the contact stress/strain relationship between shaft and rotor can be obtained. Then, the finite element modal analysis with the effect of pre-stress is performed. The analysis results show that the rotating speed and temperature difference have certain influence on contact stress and deformation between the shaft and the rotor, among which the influence of temperature difference is higher than that of rotating speed. Finally, based on the solid modeling analysis, adds up bearing rigidity, the optimal equivalent Young's modulus method is utilized to establish the equivalent speed-dependent line element models by induced rotating speed to conduct the rotor dynamic analysis under certain temperature difference.

**Keywords:** motor built-in high speed spindle, temperature difference, rotating speed, rotor dynamic analysis

## I. Introduction

As the modern world progresses, the processing technology of products of industry is more superior, except for the fine appearance and the practical functionality, the precision of dimension has asked more. In general, it is a good choice to use CNC machining center to achieve the requirement of precision. Spindle is an important component of CNC machining center, and its performance will affect the processing efficiency and the product precision. The design of motor built-in high speed spindle is one of the key technologies of machining spindle. In general engineering practice, one key factor in designing a motor built-in high-speed spindle is to assemble the motor rotor and shaft by means of hot-fit to form a new rotor-shaft assembly. However, in the operation of motor built-in high-speed spindle, rotor-shaft system subjects to the centrifugal force of high rotating speed and the heat of inducted current of motor and are more likely to produce errors on machining precision.

For the development of rotor-shaft system, most of the studies were conducted in a numerical way. The finite element method (FEM) is a powerful tool and has been applied to numerous analyses. Therefore, how to effectively and accurately establish the finite element models of rotor-shaft system is a subject worthy of study. Make a comprehensive survey of the domestic and foreign researches, most previous studies focused on the design and functionalities of the spindle system as a whole, few were on the structural behavior of the rotor-shaft assembly [1-6]. These studies adopted finite element tool to build the rotor-shaft assembly with solid elements. Contact conditions in the interface of rotor and shaft were not considered. The accuracy of the results was yet to be verified. Chen [7-8] indicated that the overall stiffness of a spindle was considerably influenced by the fitted rotor. The natural frequencies tend to increase with the rotor

mounted on the shaft by hot-fit. In the recent study by Chen [9-10], an approach using contact elements was suggested. Both numerical simulation and modal testing were conducted. The numerical simulation includes constructing the finite element model with contact elements and performing a pre-stressed modal analysis. The modal testing results are used as verifications to the numerical results.

On the other hand, for the rotor-shaft system, the rotor dynamics analysis has to be used when the rotating speed is taking into account. The degree of freedom and the gyroscopic effect need to be considered when the rotor dynamics analysis is performed. Shanmugam [11] proposed a fixed-free interface component mode synthesis method for the rotor dynamic analysis. Singh and Gupta [12] utilized equivalent modulus beam theory (EMBT) and layerwise beam theory (LBT) to perform the rotor dynamic analysis of a composite rotor. The results indicate that the difference between the two theories is not large, but for unsymmetric stacking sequences with bending stretching couplings present, the EMBT may result in inaccurate predictions of rotor dynamic behavior. For a rotating rotor-shaft system, the supported bearing stiffness is another fact of influence upon the rotor dynamic characteristic [13-15].

Many examples of temperature field in all aspects of the application, mostly using a thermocouple or infrared photography methods for the measurement of cutting temperature. Hou etc. [16] applied infrared temperature measurement methods to measure the cutting temperature. The cutting temperature will change regularly with the change of cutting, and the ANSYS, finite element software, is adopted to simulate the temperature field in cutting. Yen etc. [17] utilized thermocouple to artificially measure the cutting temperature for the high-speed milling of aluminum alloy, and the

feasibility and reliability of model and analyzed results of finite element method are proved by the comparisons of experimental data. Wang etc. [18] established the model of bearing with SOLID87 element by using ANSYS. The solid 3-D temperature field is calculated to simulate of temperature field of high speed electrical spindle. Then the heat transfer coefficients of spindle subsystems can be obtained and be used to improve the heat dissipation problem of spindle.

In the structural analysis, Chen etc. [9-10] suggested an approach using contact elements to deal with the hot-fit problem. The contacting bodies are a hollow shaft and a rotor. The rotor is mounted onto the shaft by hot-fit to form an assembly as a rotor-shaft system. Both numerical simulation and modal testing were conducted. The numerical simulation includes constructing the finite element model with contact elements and performing a pre-stressed modal analysis. The modal testing results are used as verifications to the numerical results. The approach is an application to the design phase rather than a posterior improvement. Song etc. [19] utilized a two-dimensional finite element model supported in ANSYS to analyze static stiffness and deformation of spindle. Subspace method and Harmonic analysis are used to obtained different dynamic responses. Yang etc. [20] proposed a modified pseudo mode shape method to reduce the models of bladed-disk. The frequency response functions of bladed-disks obtained at the joints with the shafts are used to derive the condensed mass, damping, and stiffness matrices for the bladed-disks. The theory of pseudo mode shape method developed previously was extended to include rigid body modes and deformation modes of the bladed-disks. The feasibility and effectiveness of the extended pseudo mode shape method are justified by using a solid-modeled shaft and bladed disk.

In this paper the 3-D solid contact element

analysis will be used to study the effects of the hot-fitted rotor on the dynamic stiffness of shaft under different rotating speeds and based on the solid modeling analysis results, the equivalent speed-dependent line element models included the bearing stiffness will be developed to conduct the rotor dynamic analysis.

## II. Study Approaches

In this paper, the finite element method is used to establish the solid model of the rotor-shaft assembly. The contact analysis is adopted to study the effects of the hot-fit rotor on the dynamic stiffness of shaft. SOLID185 (8-node) provided by ANSYS software is selected as the element of solid modeling, and CONTA174 (8-node) and TARGE170 corresponding to element SOLID185 are chosen as the contact elements. In the contact analysis of the rotor-shaft assembly, because the contact status between motor rotor and shaft will change with the change of rotating speed and the temperature difference existed in the motor rotor and shaft, the contact stresses and the dynamic stiffness of the shaft will be different. Therefore, in this paper the effects of the rotating speed and the temperature difference on the dynamic stiffness of shaft are mainly considered. From the specification for the commercial spindle studied in this paper, the rotating speed is set from 0 to 36,000 rpm and the maximum temperature difference between the shaft and the rotor is set to be 15°C. Under these conditions, the dynamical characteristics and the effects on the contact surface stress/strain of the rotor-shaft assembly are analyzed. After these contact analyses, the rotor dynamic analysis then is performed, and the solid modeling is simplified to a direct modeling for saving the computer resources and computing time. For the traditional rotor dynamic analysis, the equation of motion can be expressed as

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}}(t) + [\mathbf{C} + \mathbf{G}(\Omega)]\dot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{q}(t) = \mathbf{f}(t) \quad (1)$$

where  $\mathbf{G}(\Omega)$  is the gyroscopic damping matrix and is a function of rotating speed  $\Omega$ . The stiffness matrix  $\mathbf{K}$  is a constant matrix. However, in this study, the line element PIPE16 is used for the direct modeling of the shaft and the equivalent direct modeling proposed by Chen [21] is used to determine the optimal equivalent Young's modulus ( $E_e$ ) corresponded to the location on the shaft of the hot-fit rotor for each different rotating speed. As above-mentioned, the stiffness changes with the change of the rotating speed. Therefore, the equation of motion could be expressed as

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}}(t) + [\mathbf{C} + \mathbf{G}(\Omega)]\dot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{K}(\Omega)\mathbf{q}(t) = \mathbf{f}(t) \quad (2)$$

The models herein change with the change of the rotating speed are referred as the equivalent speed-dependent line element models (or the speed-dependent models for abbreviation). Finally, the speed-dependent models included the bearing stiffness are adopted in the rotor dynamic analyses and the Campbell diagrams are obtained. The detailed flow chat in this study is shown in Figure 1.

### III. Application and Results

The shaft and the rotor studied in this paper are shown in Figure 2, and the sectional dimensions are listed in Table 1. The interference between the shaft and the rotor is set to be 0.025 mm, and the coefficient of friction ( $\mu$ ) is 0.0745. From the previous studies[9-10], it had been verified that it is accurate and effective in analyzing the dynamic behavior of a rotary shaft system with a hot-fit component by using contact element, and from our recent work[22], the rotating speed and the temperature field of the rotor-shaft assembly are added into the original finite contact element model to investigate their effects on the contact stress, strain and system modes. The meshed shaft and rotor models are shown in Figure 3, and are summarized as below. To facilitate subsequent contact analyses, the FE model is manually meshed in a uniform

pattern with 4 divisions radially, 28 divisions circumferentially, and the divisions longitudinally are shown in Table 2. The material properties are the same for both shaft and rotor with Young's modulus  $2.1 \times 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>, density 7950 kg/m<sup>3</sup>, and Poisson's ratio 0.333, respectively. Under these conditions of the temperature difference ( $\Delta T$ ) 15°C, interference ( $\Delta d$ ) 0.025 mm, and coefficient of friction ( $\mu$ ) 0.0745, the average surface contact stresses of the shaft for different rotating speeds are shown in Table 3. More detailed results for the modeling, mesh, contact stress/strain between the shaft and the rotor and the modes of the rotor-shaft assembly can be found in Ref. [22]. The analysis results show that rotating speed and temperature difference have certain influence on contact stress and deformation between shaft and rotor, among which the influence of temperature difference is higher than that of rotation speed.

In this study, in order to save the computer resources and computing time, the solid modeling established in [22] is simplified to a direct modeling with line elements for performing the rotor dynamic analysis with speed-dependent models. In the direct modeling, the line element PIPE16 is used for the modeling of shaft and MASS21 is selected to simulate the mass effects of rotor. Under the conditions of  $\Delta T=15^\circ\text{C}$ ,  $\Delta d=0.025$  mm, and  $\mu=0.0745$ , the optimal equivalent Young's modulus ( $E_e$ ) for each different rotating speed are listed in Table 4. Because only the first natural frequency obtained by the solid contact element model is set to be the optimized goal, there is no error on the first natural frequency obtained by the direct line element model with  $E_e$  for each rotation speed. And the errors on the second natural frequencies are all less than 0.5%. The direct line element model is changed by  $E_e$  corresponded to the rotating speed to form a speed-dependent model when the rotor dynamic analysis is performing.

For the rotor dynamic analysis, element MATRIX27 provided by ANSYS is used to simulate the gyroscopic effects of the rotor-shaft system and the stiffness of the bearings. Figure 4 shows the schematic configuration of the rotor-shaft-bearing system. The two nodes for label B are used to establish the x and y direction stiffness of front bearings, KXX and KYY, with the value of 34.1 N/ $\mu$ m. Label C is the location of rear bearings with the stiffness 23.1 N/ $\mu$ m. The natural frequencies calculated from the rotor dynamic analysis with the speed-dependent models of the rotor-shaft-bearing system are listed in Table 5.  $f_f$  and  $f_b$  labeled in Table 5 are denoted as the forward modes and the backward modes, respectively. The Campbell diagram of the rotor-shaft-bearing system under the conditions of  $\Delta T=15^\circ\text{C}$ ,  $\Delta d=0.025$  mm and  $\mu=0.0745$  is shown in Figure 5. Figure 6 shows the local Campbell diagram focused on the first critical speed. It can be found from Figure 6 that if the concentricity between the front bearing and rear bearing is not good, the rotor-shaft-bearing system will produce the resonance phenomena due to the relation of twice of frequency (1184.4 Hz) when the rotor-shaft-bearing system is rotating at 592.2 Hz (35532 rpm). Figures 7 and 8 show the first two mode shapes of the rotor-shaft-bearing system, respectively. It is obvious that the first mode is a bending mode, and the second mode is a rigid body mode due to the stiffness of bearings.

#### IV. Conclusions

In this paper, the contact element analysis was used to study the effects of the hot-fit rotor on the dynamic features of the rotor-shaft system under the considerations of the rotating speed and temperature difference. Through contact element static analysis, the contact stress/strain relationship between shaft and rotor can be obtained. Also, based on the solid modeling analysis results, the equivalent

speed-dependent line element models included the bearing stiffness was developed to conduct the rotor dynamic analysis under certain temperature difference. From these studied results, two conclusions can be drawn:

- (1) The rotating speed and temperature difference have a certain impact on the contact stress between the shaft and the rotor.
- (2) In this paper, the effects of a hot-fit rotor on the local stiffness of the shaft induced by rotating speed and temperature difference were considered and an equivalent speed-dependent line element model included the bearing stiffness was developed to conduct the rotor dynamic analysis such that more accurate Campbell diagrams can be obtained than those obtained from the conventional rotor dynamic analysis which is based on a fixed model.

#### Acknowledgements

This support of the Ministry of Science and Technology under the Grant No. MOST 104-2221-E-269-009 in Taiwan is gratefully acknowledged. Also the authors are grateful to the assistance by Parfaite Company on offering the drawings, parts/components, and working assemblies.

#### References

- [1] Jiun-Jye Liu, Yuan Kang, "Dynamic analysis and design of rotor-bearing-foundation system," Master's thesis of the Institute of Mechanical Engineering, Chung Yuan Christian University, 1996.
- [2] Chia-Chun Chu, Yuan Kang, "The Modification of Finite Element Model and Modal Analysis for Motor Rotor-Bearing System," Master's thesis of the Institute of Mechanical Engineering, Chung Yuan Christian University, 2002.
- [3] Nelson, H. D. and Mcvaugh, J. M., "The

- Dynamics of Rotor-Bearing Systems Using Finite Elements," ASME J. Engineering for Industry, 98(2), pp. 593-600, May 1976.
- [4] Zorzi, E. S. and Nelson, H. D., "Finite Element Simulation of Rotor-Bearing Systems with Internal Damping", ASME J. Engineering for Power, Vol. 99, pp. 71-76, 1977.
- [5] Zorzi, E. S. and Nelson, H. D., "The Dynamics of Rotor-Bearing Systems with Axial Torque- a Finite Element Approach," ASME J. Mechanical Design, 102, pp.158-161, Jan. 1980.
- [6] Kang, Y., Chen, H. C., and Liu, J. J., "Dynamic Analysis of Rotor-Bearing System Using ANSYS," ANSYS Users Conference, Tau-Yuan, Taiwan, 1995.
- [7] Shin-Yong Chen, Rong-hwa Huang, Shyi-kae Yang, "The Effect on the Dynamic Characteristics of a Rotating Shaft by Interference Fitting the Motor Rotor and Its Finite Element Modeling, " Journal of Technology, Vol.21, No. 1, pp. 61-67, 2006.
- [8] Shin-Yong Chen, Chieh Kung, Te-Tan Liao and Yen-Hsien Chen, "Dynamic Effects of the Interference Fit of Motor Rotor on the stiffness of a High Speed Rotating Shaft, "Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, Vol.34, No.2, pp.243-261, 2010.
- [9] Chen, S.Y., Kung, C. and Hsu, J. C., "Dynamic analysis of a rotary hollow shaft with hot-fit part using contact elements with friction," Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, Vol.35, No. 3, pp. 461-474, 2011.
- [10] Shin-Yong Chen, "The Dynamic Analyses and Verifications of a Hollow Shaft with Hot-fit Component Using 3D Finite Contact Element," Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, Vol.37, No.1(Sep.), pp. 21-38, 2013.
- [11] A. Shanmugam and C. Padmanabhan, "A fixed-free interface component mode synthesis method for rotordynamic analysis," Journal of Sound and Vibration, Vol.297, pp. 664-679, 2006.
- [12] S. P. Singh and K. Gupta, "Composite Shaft Rotordynamic Analysis Using a Layerwise Theory," Journal of Sound and Vibration, Vol.191, No. 1,1996, pp.739-756.
- [13] Wang Xiping, Zhu Lijing and Yu Liang, "Investigation on Dynamic Performance of Active Magnetic Bearing Rotor System," Chinese Journal of Mechanical Engineering, Vol. 37, No. 11, 2001.
- [14] Yang Guo-Jun and Yu Su-Yuan, " Preliminary Study on Rotor Dynamics of Magnetic Bearing for 10MW High Temperature Gas-cooled Reactor," Nuclear Power Engineering, Vol.24, No.6, 2003.
- [15] Li Sung-Sheng, Yang Liu-Hsin and Wang Ping-Hua, "Dynamics Characteristic Analysis of High Speed Electric Spindle Shaft Rotors," Bearing, No. 2, 2002.
- [16] Hou Hsueh-Yuan and Jen Chung, "Research on Cutting Force and Deformation of Vertical Milling Cutter in High Speed Milling Based on ANSYS," Master's Thesis, Inner Mongolia University of Science and Technology Mechanical and Electronic Engineering, 2008.
- [17] Yen Hai-Peng, Li Ying, "Study on High Speed Milling Lu alloy cutting temperature," Master's Thesis, Nanjing University of Technology and Engineering Mechanical Manufacturing and Automation Engineering, 2004.
- [18] Wang Chih-Chiang and Jui Chih-Yuan, "Temperature Field Analysis of Motorized Spindle Based on ANSYS," Master Thesis, Lanzhou University of Technology, 2011.
- [19] Song Chun-Ming, Zhao Ning, Zhang

Shi-Yong and Zhang Zheng-wu, "Research of Static & Dynamic Characteristics of High-speed Electric Spindle Based on ANSYS," Coal Mine Machinery, Vol. 28, No.4, 2007.

- [20] Ta-Chung Yang, Wen-Yuan Cheng and Kwang-Lu Koai, "Model Reduction of Bladed-Disks Using Pseudo Mode Shape Method," Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation, Series B, Vol.40, No.1, pp.035-044, 2008.
- [21] Shin-Yong Chen, "An equivalent direct modeling of a rotary shaft with hot-fit components using contact element modal analysis results," Computers & Mathematics with Applications, Vol.64, No.5, 2012, pp. 1093-1099.
- [22] Shin-Yong Chen and Chin-Yu Tsao, "The effects of rotating speed and temperature difference on the dynamic characteristics of a high speed shaft with hot-fit part," Journal of Far East University, Vol.31, No.3(Dec.), pp. 235-243, 2014. (in Chinese)

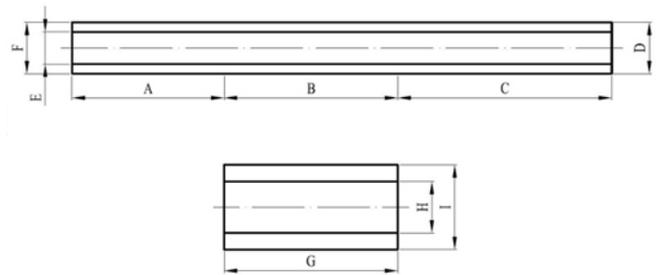


Figure 2 Schematic diagram of the shaft and the rotor

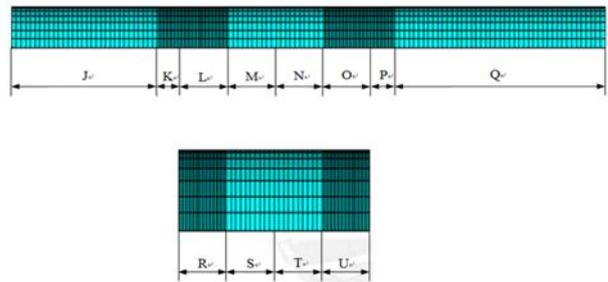


Figure 3 The meshed shaft and rotor models

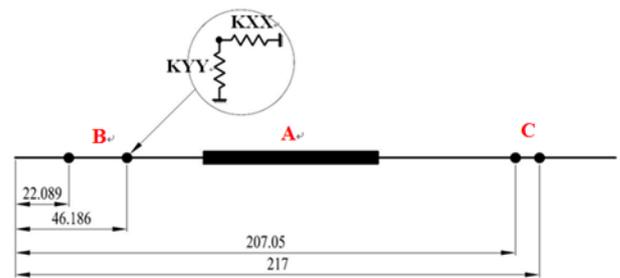


Figure 4 Schematic diagram of the rotor-shaft-bearing system.

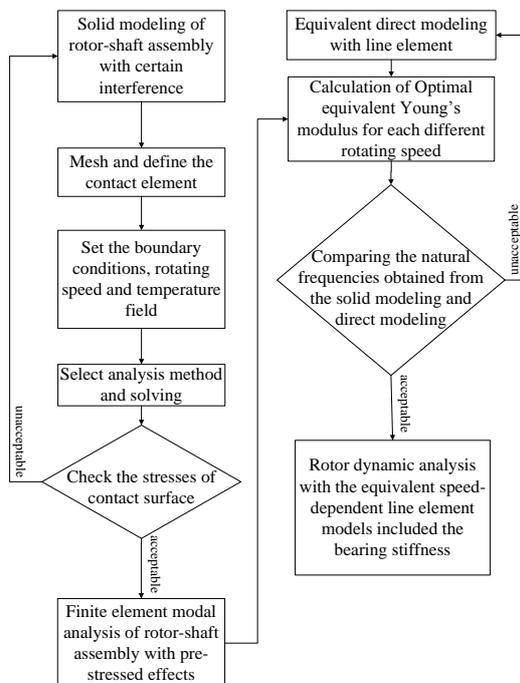


Figure 1 Flow chat in this study

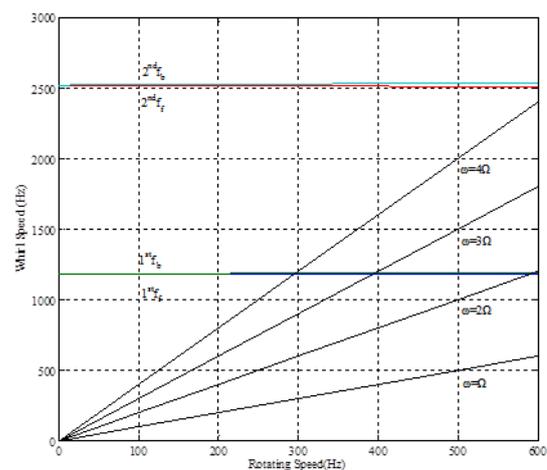


Figure 5 The Campbell diagram of the rotor-shaft-bearing system ( $\Delta T=15^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta d=0.025\text{ mm}$ ,  $\mu=0.0745$ )

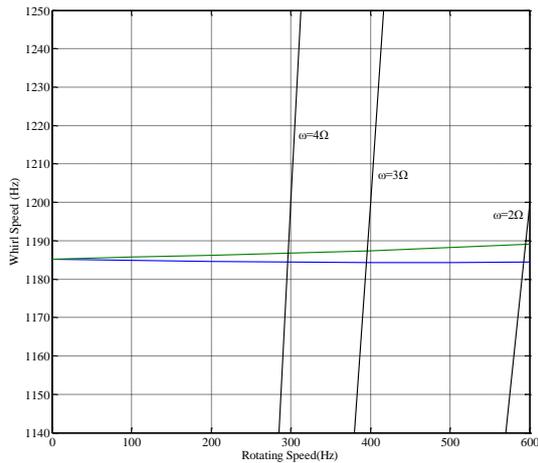


Figure6 The local Campbell diagram focused on the first critical speed

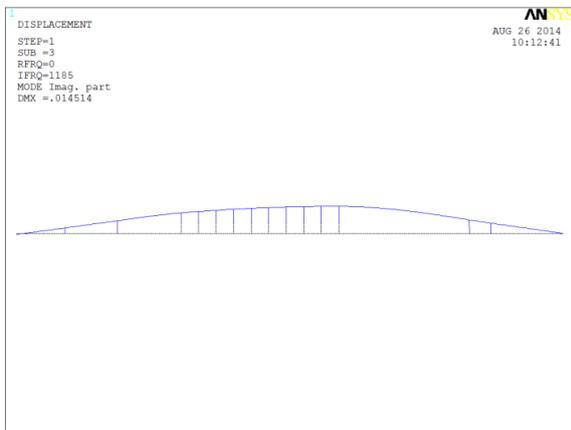


Figure7 The 1<sup>st</sup> mode shape of the rotor-shaft-bearing system (0 rpm,  $\Delta T=15^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta d=0.025\text{ mm}$ ,  $\mu=0.0745$ )

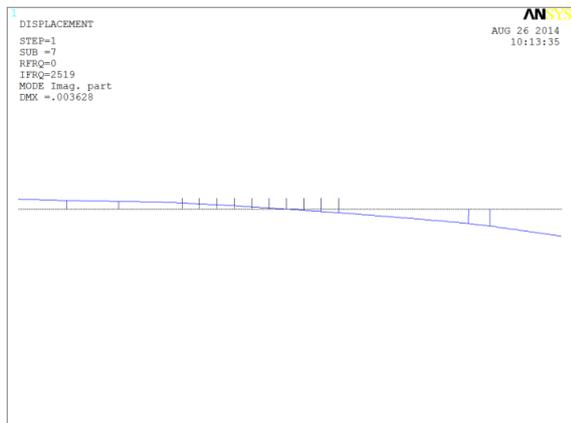


Figure8 The 2<sup>nd</sup> mode shape of the rotor-shaft-bearing system (0 rpm,  $\Delta T=15^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta d=0.025\text{ mm}$ ,  $\mu=0.0745$ )

Table1 Sectional dimensions of the shaft and the rotor

Segment labels	Dimensions (mm)
A	71.287
B	80.040
C	98.500
D	23.963
E	15.043
F	24.005
G	80.040
H	23.980
I	39.508

Table2 The longitudinal mesh of the shaft and the rotor

Locations	Length (mm)	Longitudinal meshed number
J	61.281	31
K	10.006	20
L	20.010	40
M	20.010	10
N	20.010	10
O	20.010	40
P	10.006	20
Q	88.494	44
R	20.010	40
S	20.010	10
T	20.010	10
U	20.010	40

Table3 The average surface contact stresses of the shaft under different rotating speeds ( $\Delta T=15^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta d=0.025\text{ mm}$ ,  $\mu=0.0745$ )

Rotating speed (rpm)	Average surface contact stresses of the shaft ( $\text{N/m}^2$ )
0	-4.01E+07
12000	-3.99E+07
24000	-3.68E+07
36000	-3.27E+07

Table4 The optimal equivalent Young's modulus ( $E_e$ ) and natural frequencies of the rotor-shaft system for different rotating speeds ( $\Delta T=15^\circ\text{C}$ ,  $\Delta d=0.025\text{ mm}$ ,  $\mu=0.0745$ )

Rotating speed (rpm)	$E_e$ used in direct line element model ( $\text{N/m}^2$ )	Natural Frequency (Hz)			
		Obtained by direct line element model		Obtained by Solid contact element model	
		$1^{\text{st}} f$ (Error %)	$2^{\text{nd}} f$ (Error %)	$1^{\text{st}} f$	$2^{\text{nd}} f$
0	9.1708 E+11	2394.4 (0%)	4866.4 (-0.49%)	2394.4	4890.2
12000	9.1829 E+11	2394.9 (0%)	4867.1 (-0.48%)	2394.9	4890.8
24000	9.2223 E+11	2396.7 (0%)	4869.4 (-0.48%)	2396.7	4892.7
36000	9.2882 E+11	2399.6 (0%)	4873.1 (-0.47%)	2399.6	4895.9

Table5 The natural frequencies calculated from the rotor dynamic analysis with speed-dependent line element model of rotor-shaft-bearing system ( $\Delta T=15^\circ\text{C}$ ,  $\Delta d=0.025\text{ mm}$ ,  $\mu=0.0745$ )

Rotating speed (rpm)	Natural frequency (Hz)			
	$1^{\text{st}} f_f$	$1^{\text{st}} f_b$	$2^{\text{nd}} f_f$	$2^{\text{nd}} f_b$
0	1185.2	1185.2	2519.1	2519.1
12000	1184.6	1186.2	2514.3	2524.0
24000	1184.3	1187.4	2509.5	2529.0
36000	1184.4	1189.1	2504.9	2534.1

**Journal of Far East University** Vol.33 No.3

Publisher: Yen Ren Wang

Published by Far East University

Editor: Synthetic Affairs Section of Far East University

Address: No.49, Zhonghua Rd., Xinshi Dist., Tainan City 744-48, Taiwan

(R.O.C.)

Telephone: (06) 597-9566 ext 7006

Fax: (06) 597-7010

Published in December 2016

ISSN: 1811-816X

Copyright Reserved 2016

**遠東學報 第三十三卷第三期**

發行人：王元仁校長

發行單位：遠東科技大學

編輯：教務處綜合業務組

地址：744-48台南市新市區中華路49號

電話：(06) 597-9566 分機 7006

傳真：(06) 597-7010

出版日期：2016年 12月

I S S N：1811-816X

版權所有、禁止翻印