

離合器薄片之缺陷檢測技術

江文旺

工業技術研究院量測技術發展中心 研究員

新竹市光復路二段 321 號 16 館

電話：03-5732245 Fax：03-5735747

E-mail：JackieJiang@itri.org.tw

摘要

本文主要是針對無段變速離合器的動力傳遞環形疊片，進行缺陷檢測技術研究。首先分析該環形疊片的結構，發現是由一個金屬片，再加上兩側緊密貼附著摩擦墊片所構成的。而且發現，當金屬片和墊片的貼附面之間，有任何「膠著」缺陷時，例如黏著層不均勻、有氣泡存在等現象，都會造成該環片的「最大動力傳遞規格值」下降，因此稱這樣的環形疊片為「不良品」。緊接著，以環形疊片的自然頻率，會因為膠著缺陷而產生變化的理論架構，設計出一個線上檢測系統；同時提出兩個判別良品的參考指標，以及訂出相對應判別門檻數值。最後，利用這個參考指標和判定門檻，進行實際試片檢測作業，發現確實可以成功判別出好的環形疊片，而且和超音波檢結果的吻合率，達到 95% 以上。

關鍵字：疊片 (multi-layer)、自然頻率 (natural frequency)、動力傳遞 (power transfer)

一、前言

任本文所探討的「傳動環形疊片」之構造，如圖一所示；它主要是用在無段變速離合器系統中的動力傳動組件上。從圖一中可以知道，它的構造，主要是中間層的金屬主動環，和黏附在金屬環兩側的墊片被動環。當中心傳動軸轉動時，透過金屬環的咬合齒，可以使得金屬環轉動；而當金屬環轉動時，透過墊片和金屬環之間的黏著劑，可以使得墊片環跟著金屬環轉動；最後再透過墊片環的表面磨擦力，將動力傳遞到墊片上的接觸組件上。至於能夠傳遞出去多少動力（扭力）是由墊片上的接觸組件所施加的正向壓力大小來決定。

由以上的說明可以知道，如果在金屬環和墊片環之間的膠合層，有任何缺陷發生，例如塗膠不均勻、有氣泡、有縫隙發生的時後，那麼金環和墊片環之間的「剪切」剛性就會下降，使得墊片環因為傳動軸的旋轉扭力而產生剝離、脫落，最後造成整組離合器的損壞。所以說，一個傳動環形疊片的好壞，除了看膠合力量大小（決定最大傳動扭力）之外，更要注意的是在膠合過程中，是否會產生任何作業疏失（品質穩定性），例如塗膠不均勻、塗膠速度過快過慢而造成氣泡和縫隙，都會讓最大規格扭力值變的不確定。

傳統上的檢測方法有兩種：第一，是在一批產品中，抽驗一些樣本，再由品管人員將傳動疊片對折、再對折，然後檢測已經剝離的墊片環和金屬環之間，是否有「未著膠」的痕跡，然後來判定這批產品是否合格。這樣的檢測方法有一個盲點存在，那就是還沒有剝離的墊片環和金屬環之間，還是有存在氣泡和縫隙的可能，所以這種方法，只可以告訴品

管人員，檢測 NG 代表這片試片確實是不良品，可是檢測 OK 卻有可能也是不良品。這樣的結果，是違反品管從嚴的精神！

第二種檢驗方法，是透過超音波檢測方法，來檢測墊片環和金屬環之間的是否有空氣層的現象。在實際檢測過程中，要先訂製比墊片環的「環切徑寬」還要小的超音波探頭，再將該探頭沿著墊片環表面，完全掃過所有墊片環面積，這樣才能夠完全檢測該疊片是否有氣泡缺陷存在。這樣的檢測方式，雖然很完全，可是很耗時、也很昂貴，所以並不是常規檢測方法。

在本文中嘗試提出另一種檢測方法，就是「自然頻率檢測法」^[1]。它的測試方法，是透過測試試片的自然頻率響應曲線，再根據自然頻率的大小，和自然頻率點上的振幅大小，來決定這個試片是否有缺陷。整個測試程序只要一個敲擊動作，就可以快速判讀產品良劣，同時對該試片又沒有任何損傷，所以是很適合在生產線上快速檢驗的。

二、環形疊片「自然頻率檢測法」的架構及原理

1. 測試系統架構

整個環形疊片的測試架構，如圖二所示。首先將要檢測的環形疊片，安裝在夾座上，其中環形疊片的內環邊緣，剛好和夾座的上邊緣相對齊；再將小型加速規，黏附在環形疊片的最上端位置；測試的時候，將衝擊槌固定敲打環形疊片的下緣(位置正好距離夾座上邊緣 15mm)，然後將加速規的輸出訊號，和衝擊槌的輸入訊號，一併送入頻譜分析儀中，計算出該環形疊片的自然頻率響應曲線，再針對最主要的自然頻率(三個)數值和和該頻率點上的振幅大小，去計算決定出這個試片是否為不良品。整個測試架構和程序，可以建構成一個生產線上的自動測試設備。也就是說，現場工作人員，只要將試片安裝在測試座上(當然也可以花更多錢做成自動安裝機構)，然後按下按鈕，系統就會自動衝擊試片、收集訊號、計算、最後決定告知該產品是否為良品，並且進行後續的統計作業^[2]。

2. 測試系統原理

由圖一所示可以知道，環形疊片主要是一個金屬環片，兩邊黏附墊片所構成。如果說墊片層的效果，主要是增加金屬環的剛性，那麼金屬環的自然頻率將會因為黏上墊片層而提高，而振幅則會因為黏上墊片層而降低；反過來說，如果墊片層的效果，主要是增加金屬環的質量和阻尼，那麼金屬環的自然頻率將會因為黏上墊片層而降低，而振幅則會因為黏上墊片層而降低。總而言之，金屬環的自然頻率和振幅，是一定會因為黏上墊片層而改變的。所以整個環形疊片的自然頻率和振幅，也應該會因為墊片層的黏著程度不同，而產生些微變化。

另外，因為墊片黏著層裡的氣泡，可能是發生在第一共振模態的節點上，也可能發生在第一共振模態的最大振動點上，那麼這兩種情況對第一自然頻率所造成的影響是不同的。同樣道理，第二、第三自然頻率，也會因為氣泡所在位置不同，而有所改變。

由以上兩點說明，可以得到一個結論：自然頻率跟振幅的改變，可以預測在黏著層裏是否有氣泡存在；而計算多個自然頻率點，則是可以將氣泡在黏著層裏的位置可能性，給

一併考慮進來。

根據這個結論，同時考慮實務應用上可行性，在本文中先以前三個主要自然頻率點為依據，提出下列兩個參考指標：

$$\Delta f_{Test} = \sum_{n=1}^3 (f_{Good_Avg,n} - f_{Test,n})$$

$$\Delta A_{Test} = \sum_{n=1}^3 (A_{Good_Avg,n} - A_{Test,n})$$

其中， Δf_{Test} ：代表某一個試片的頻率變化指標，單位 Hz

ΔA_{Test} ：代表某一個試片的振幅變化指標，單位 dB

$f_{Good_Avg,n}$ ：代表一批好的環片在第 n 個頻率點上，頻率的平均值

$f_{Test,n}$ ：代表某一個試片在第 n 個頻率點上的頻率值

$A_{Good_Avg,n}$ ：代表一批好的環片在第 n 個頻率點上，振幅的平均值

$A_{Test,n}$ ：代表某一個試片在第 n 個頻率點上的振幅值

n：代表第幾個頻率點

然後再以這兩個參考指標的大小，去決定某個試片是否為不良品。

三、參考指標的判定門檻

有了判定良品與否的參考指標之後，還要決定該指標的判定門檻。也就是說要決定，當參考指標數值大於某個數值（或者小於某個數值）時，就要判定該試片是否為良品。

要決定這個門檻值，首先將五個好的試片，跟五個不良試片，依照圖二所示的測試架構，進行頻率響應測試，同時將前三個自然頻率值跟振幅值，記錄下來，結果如表一所示，其中 Good_Avg，代表的是試片 A01 到試片 A05 的平均值。至於所謂好試片跟不好試片，是以超音波檢測結果，做為比較依據。

將表一的測試結果，帶入前面所提到的兩個參考指標函數中，可以得到結果如表二所示。

由表二可以發現，編號 B04 不良試片的參考指標數值，明顯跟其它不良試片的參考指標數值不相類似。經過再次超音波測試，並且實際進行墊片層剝離試驗，發現它是所謂的「灰色」試片，也就是說它黏著品質是可以被判定為良品，也可以被判定為不良品。因此，在制訂不良品門檻時，特別將它剔除在外。

由表二的結果，制訂這兩個參考指標的判定門檻如下：

$\Delta f_{Test} > 10$ 時，或者 $\Delta A_{Test} > 10$ 時，判定為不良品。

表一、測試片的三個主要自然頻率和振幅

測試片編號	主要自然頻率(Hz)及振幅(dB)					
	fn ₁	dB ₁	fn ₂	dB ₂	fn ₃	dB ₃
A01	28.5	24.51	157.0	39.78	461.0	33.70
A02	29.0	25.69	160.5	41.77	459.5	43.90

A03	28.5	25.07	159.0	41.02	463.5	45.71
A04	28.0	24.33	161.0	42.51	460.5	44.54
A05	29.5	25.78	160.5	40.95	461.5	44.47
Good_Avg	28.7	25.08	159.6	41.21	461.2	42.46
B01	29.5	27.13	166.0	44.00	467.5	49.85
B02	29.5	26.94	168.0	47.51	469.5	54.11
B03	30.5	27.44	169.5	48.37	475.5	59.68
B04	28.5	26.01	162.5	42.16	464.0	47.53
B05	30.0	27.45	168.0	46.71	471.5	55.29

表二、不良試片的兩個參考指標數值表

測試片編號	兩個參考指標	
	Δf_{Test}	ΔA_{Test}
B01	13.5	12.23
B02	17.5	19.81
B03	26.0	26.74
B04	5.5	6.95
B05	20.0	20.70

3. 實際應用測試結果與討論

利用前兩節所決定的參考指標，與判定門檻標準，去針對二十個驗證試片（隨機取樣）進行測試，得到結果如表三所示：

表三、二十個驗證試片的測試結果

測試方法	測試結果（個數）		
	良品	不良品	灰色
超音波+人工判定	15	2	3
參考指標	17	3	0

由以上結果可以知道，應用參考指標來判定該試片是否為良品時，其吻合率可以達到87%以上，如果將人工判定為灰色試片，一半重新判定為良品時，那麼吻合率幾乎可以達到97%以上。所以應用本文提出的參考指標，跟判斷門檻，確實是可以用來判定環形試片是否為良品的。

4. 結論與建議

本文最主要是利用傳動環片本身的自然頻率特性，制訂出參考指標與判定門檻，來協助判定試片是否為良品。而透過實際試用，也證實良品辨別率是相當具有實用性的。

當然，在本文中所提到的判斷門檻，是無法辨識「灰色」產品的。關於這項問題，在實務上可以考慮將判斷程序作「多層次」辨別的，例如頻率和振幅不要同時判別，而是依序判別^[3]；例如邏輯判斷，不是只有「大於」一項，也許可增加更多邏輯運算項目等等^[4]。

另外，利用本參考指標，來判斷良品的吻合率是相當高，可是用來判定不良品則顯的有爭議。這個原因可能是用來決定門檻數值的樣本數（五個良品、五個不良品）過少，使得定出來的數值過於樂觀（良品判定過多）或者是過於保守（不良品判定過多）；也有可能是最後驗證的測試試片數目過少（二十個試片，只有幾個不良品），不能正確預估出本參考指標的正確率。當然，在經費、設備允許之下，提高事先用超音波仔細檢測過的樣本試片之數目，是可以改善這一個問題，只是所需要花的前置作業費用也就要高一些。

總而言之，雖然本文所提的「頻率、振幅參考指標+判定門檻」這一個測試環形疊片良率的方法，似乎還有改善空間，但是就目前測試數據來看，它確實是一個很簡單、快速，而且準確率也相當高的「環形疊片缺陷自動測試系統」！

5. 參考文獻

- 1、 D. J. Ewins, "Modal Testing: Theory and Practice", Research Studies Press Ltd., 1984
- 2、 江文旺，"應用換相突波微電流進行風扇線上振動量測"，中華民國振動與噪音工程學會第九屆學術研討會論文集，pp.11-15, April 2001
- 3、 何展效、江文旺，"電鑽噪音線上檢測系統"，機械工業雜誌，Vol. 149, pp.157-164，August 1995.
- 4、 何展效、江文旺，"風扇噪音振動測試技術"，機械工業雜誌，Vol. 146, pp.129-147，May 1995.

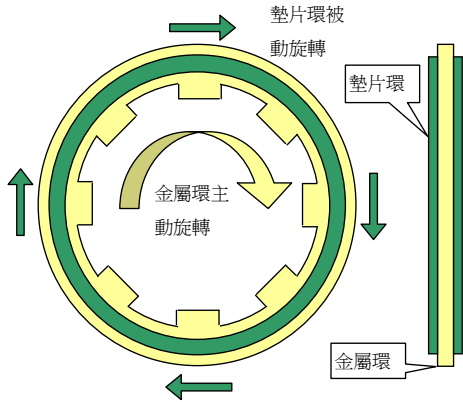


圖 1、環型碟片構造示意圖

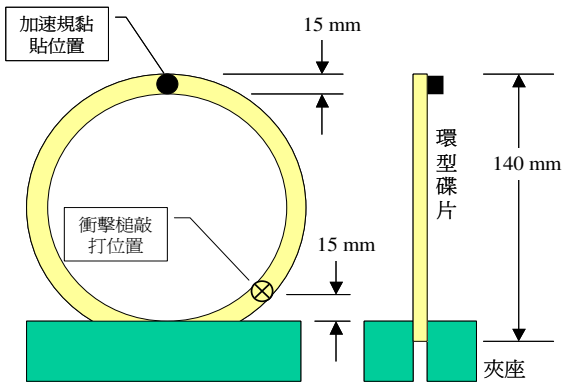


圖 2、環型碟片頻率響應測試架構圖

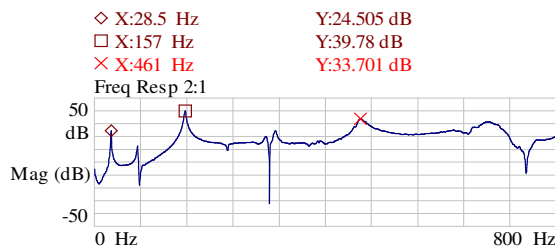


圖 3、編號 A01 環型碟片的頻率響應曲線圖

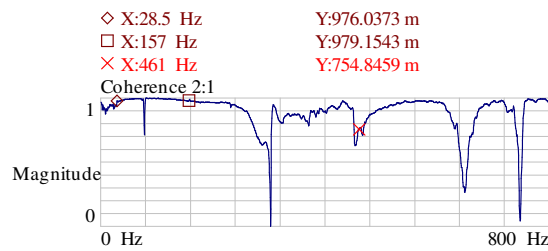


圖 4、編號 A01 環型碟片的關聯函數曲線圖

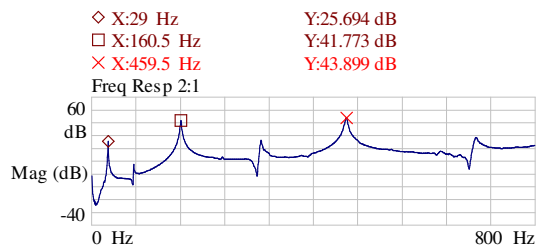


圖 5、編號 A02 環型碟片的頻率響應曲線圖

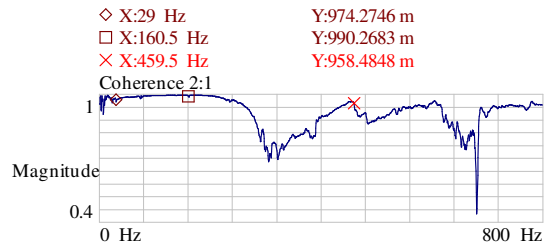


圖 6、編號 A02 環型碟片的關聯函數曲線圖

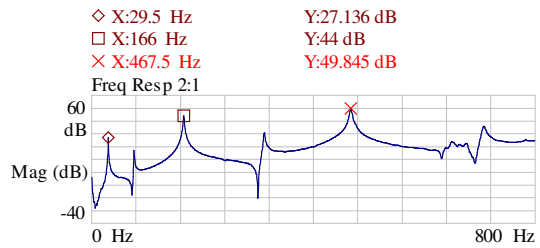


圖 7、編號 B01 環型碟片的頻率響應曲線圖

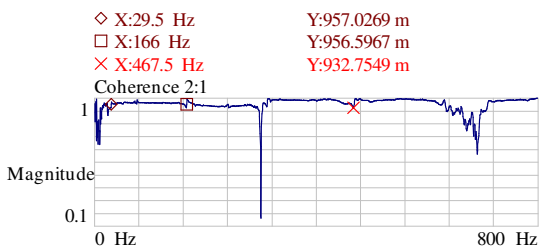


圖 8、編號 B01 環型碟片的關聯函數曲線圖