

第四章 實驗結果與討論

第一節 前期實驗結果分析

一、調頻網點取樣測試分析

調頻網點的網點大小固定，以浮水印設計的原理，調頻網點尺寸必須低於複印機的取樣頻率。依照資料分析的結果，若要使網點對複印機取樣差異效果變大，越小的調頻網點造成取樣差異效果越大。但是調頻網點是隨著濃度的不同，網點會有叢聚現象，濃度越高網點越多。網點過於叢聚容易被複印機所偵測。本實驗的輸出設備所能輸出的最小調頻網點為 20 micron，根據調頻網點測試導表於印刷輸出後，經複印所得的結果如下(表 4.1)。FDA(File Dot Area)是半色調檔案上的網點面積。

表 4.1 調頻網點叢聚狀況表

FDA(%)	複印後	結果分析
1%		複印機無法偵測到網點。
2%		複印機無法偵測到網點。

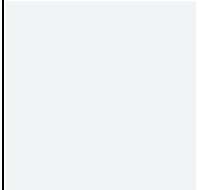


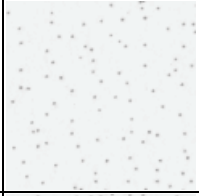
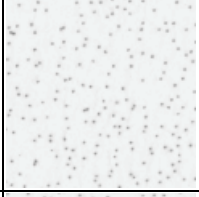
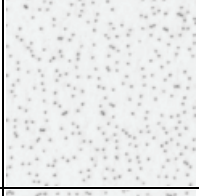
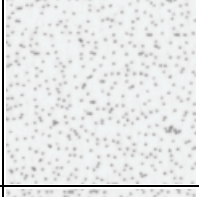
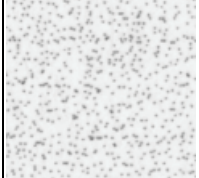
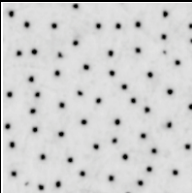
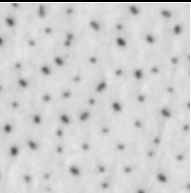
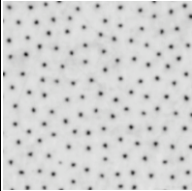
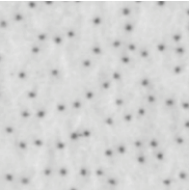
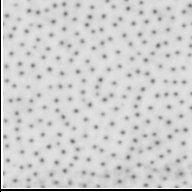
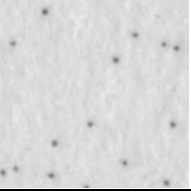
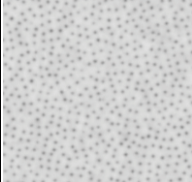

3%		複印機無法偵測到網點。
4%		少數網點被偵測到，對視覺灰度值沒有影響。
5%		少數網點被偵測到，對視覺灰度值沒有影響。
6%		複印機開始偵測到網點。
7%		複印機偵測到網點，整體灰度值會受到影響。
8%		複印機偵測到網點，整體灰度值會受到影響。
9%		複印機偵測到網點，整體灰度值會受到影響。
10%		複印機偵測到網點，整體灰度值會受到影響。

表 4.1 為 20 micron 調頻網點於濃度 1%至 10%，複印後的放大圖。以最小的網點來測試調頻叢聚狀況對複印機的取樣頻率需求，可以得知調頻網點隨著濃度越高，網點越密集，當單位內的調頻網點過於叢聚，會被複印機所取樣。而依據

實驗結果，20 micron 在 5%的濃度下，複印機即無法完全取樣。

依據輸出設備上所能提供的調頻網點尺寸，依序為 70 micron、40 micron、35 micron、20 micron。調頻網點測試導表經由印刷輸出，透過複印機取樣後，調頻網點在 5%的濃度下，其結果如下(表 4.2):

表 4.2 調頻網點取樣測試結果表

調頻網點尺寸	印刷品	複印後	結果分析
70 micron			複印機可偵測到網點。
40 micron			複印機可偵測到網點，但已經無法百分百的複製。
35 micron			複印機只能偵測到非常少數的網點。
20 micron			複印機偵測不到網點。

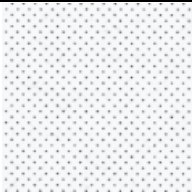
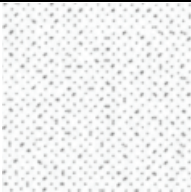

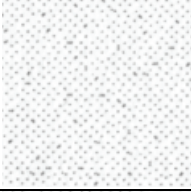
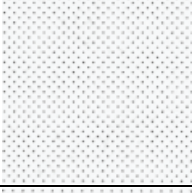
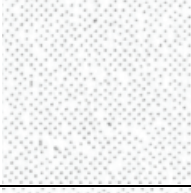


實驗結果得知，調頻網點尺寸在 20 micron 時，在複印機的取樣頻率下，無法複製任何的調頻網點，當調幅網點與調頻網點同時透過複印機複印，為了使複印機對於不同網點有取樣需求上的差異，故調幅網點的參數設定在 20 micron。同時調頻網點濃度設定在 5%濃度以下，才不會被複印機所偵測。

二、調幅網點取樣測試分析

浮水印的主要偵測功能取決於網點的大小對複印機的取樣頻率，調幅網點的尺寸大小會因為網線數多寡以及濃度不同而變化，根據人眼視覺函數[31]，網點越小，浮水印的隱匿度越佳，但為確保浮水印的調幅網點能夠被複印機所偵測，調幅網點取樣測試，實驗結果如下表：

表 4.3 調幅網點取樣測試結果表

網線數	印刷品	複印後	結果分析
60LPI			複印機完全偵測到網點，且經複印後有網點擴大的情況。
70LPI			複印機完全偵測到網點，且經複印後有網點擴大的情況。
80LPI			複印機可偵測到網點，但複印後的網點已經開始模糊。
90LPI			複印機可偵測到網點，但複印後的網點已經開始模糊。
100LPI			複印機可偵測到網點，但複印後的網點已經開始模糊。
110LPI			複印機可偵測到網點，但複印後的網點已經無法重現。

120LPI			複印機可偵測到網點，但複印後的網點已經無法重現。
130LPI			複印機可偵測到網點的數量越來越少，複印機取樣標準已經無法完全複製網點。
140LPI			複印機可偵測到網點的數量越來越少，複印機取樣標準已經無法完全複製網點。
150LPI			複印機可偵測到網點的數量越來越少，複印機取樣標準以無法完全複製網點。

實驗結果可得知，調幅網點在 5%濃度下，複印機所能取樣的臨界值約為 100lpi，調幅網線數越高，網點越小，浮水印的隱密度越高，但調幅網點又必須大於複印機的取樣頻率，故混合網點數位浮水印調幅網點區塊網線數設定為 100lpi。

三、網點擴張校正實驗分析

在實驗過程中，將調幅網點區塊與調頻網點區塊置於同一版面上，在相同的印刷製程之下，印刷設備所造成的機械性網點擴張因素相同，但其網點的邊際長度不同，使得網點擴張率不同。如圖 4.1 分別為調幅網點 100lpi 與調頻網點 20micron 於網點 1%到 10%的網點擴張比較圖。在相同的網點面積下，調頻網點的邊際長度遠大於調幅網點，所造成的網點擴張程度，也遠大於調幅網點。調頻

網點無論在任何一個階調上，均大於調幅網點的網點擴大率，尤其 7% 的網點之後擴張程度逐漸增大。

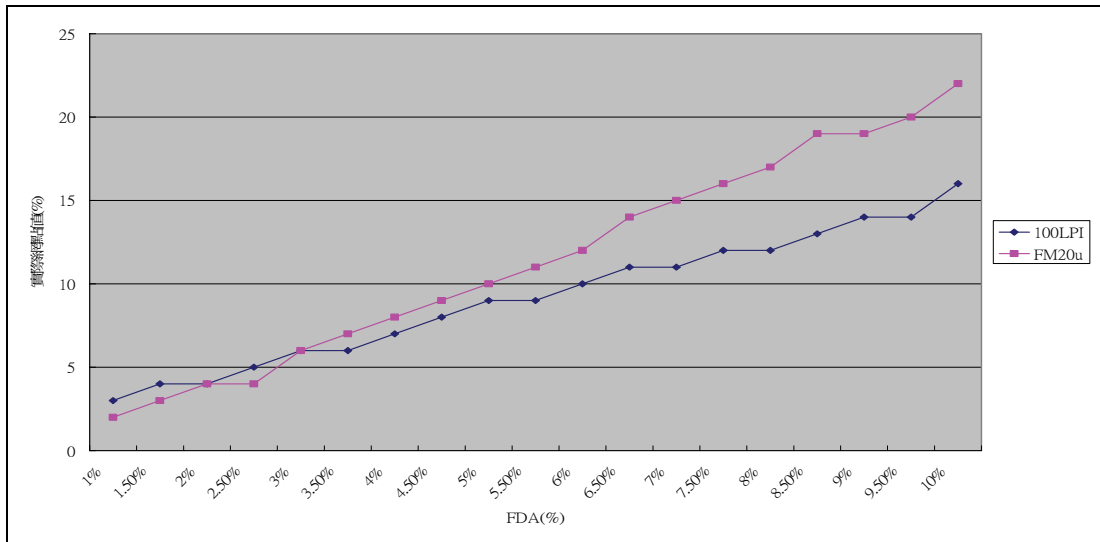


圖 4.1 調幅與調頻網點擴張比較圖

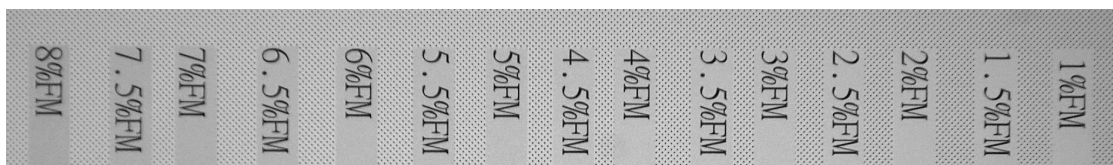


圖 4.2 網點擴張校正導表

如圖 4.2 所示，外部調幅網點濃度值為 5% 時，內部調頻網點的區塊分別依序給予不同濃度值，經印刷過後，任由兩者網點擴張，當內部調頻網點區塊與外部網點區塊灰度值相同時，即代表此兩區塊濃度設定值為最匹配之參數。在此參數下輸出，可以得到兩個網點區塊的灰度值相同。

網點擴張校正導表經印刷輸出後，經由濃度計測量其調頻網點區塊的網點面積及濃度，所得數據如表 4.4 所示。

表 4.4 濃度及網點面積表

FDA(%)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
MDA(%)	3	4	5	6	8	9	10	11	13	14	16	17	18	19	20
Dens	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.16	0.17	0.18	0.18

經由視覺比對與濃度計量測，當設定調幅網點 100lpi，濃度設定為 5.0%網點面積時，輸出後量測結果為 9%網點面積，量測濃度為 0.11。而視覺上與此數值最匹配的調頻網點檔案上設定為 3.5%網點面積，量測網點為 9%網點面積，量測濃度是 0.12。兩者在濃度量測有 0.01 的差距，這是由於調頻網點平均分佈於網格內，因此在視覺上不會像調幅網點的分布情形，網點與網點間隔距離較大，很容易看到紙白(如圖 4.3)。這也是實驗數據與視覺上有所差異的原因。

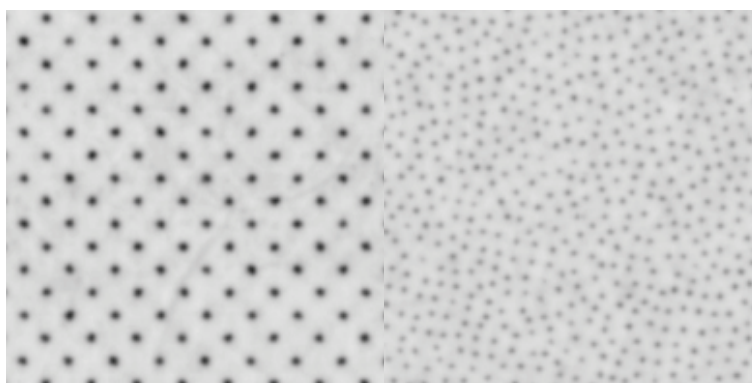
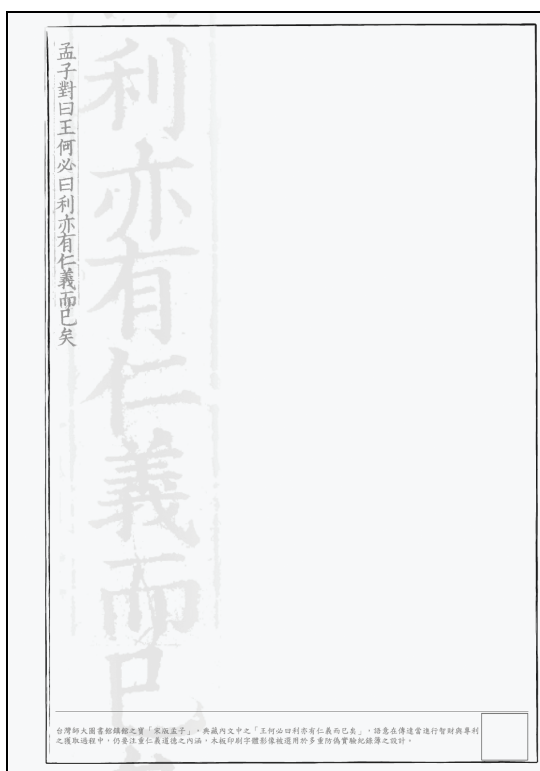


圖 4.3 調幅與調頻網點分布圖

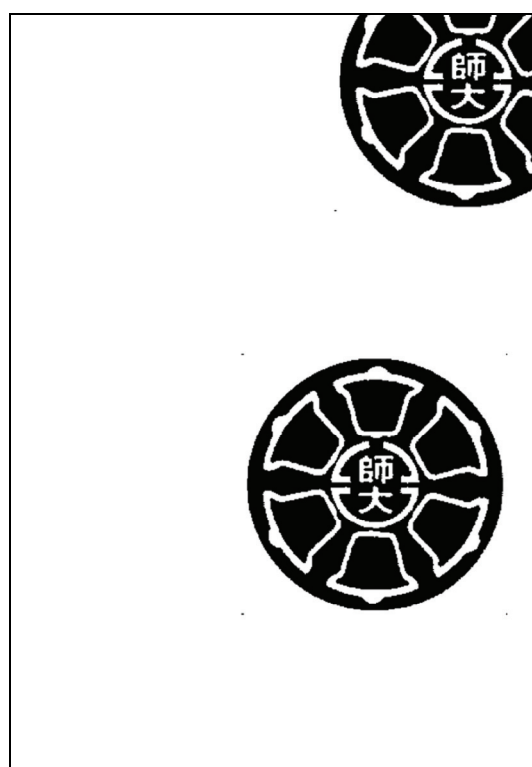
本實驗控制網點擴張目的，在於將調頻區塊潛像隱藏在調幅區塊中，以相對的方式，來調整網點擴張，回饋到浮水印網點濃度設定值，在因應不同印刷機或不同媒材網點擴張的差異性，可以利用網點擴大導表選擇適當的參數，有效率的輸出藏有潛像浮水印的印刷品。經實驗結果得知，在半色調檔案上，設定 5%調幅網點面積及調頻網點 3.5%網點面積，經本實驗印刷條件輸出後，可以得到兩區塊的視覺灰度值相同。

第二節 正式實驗結果分析

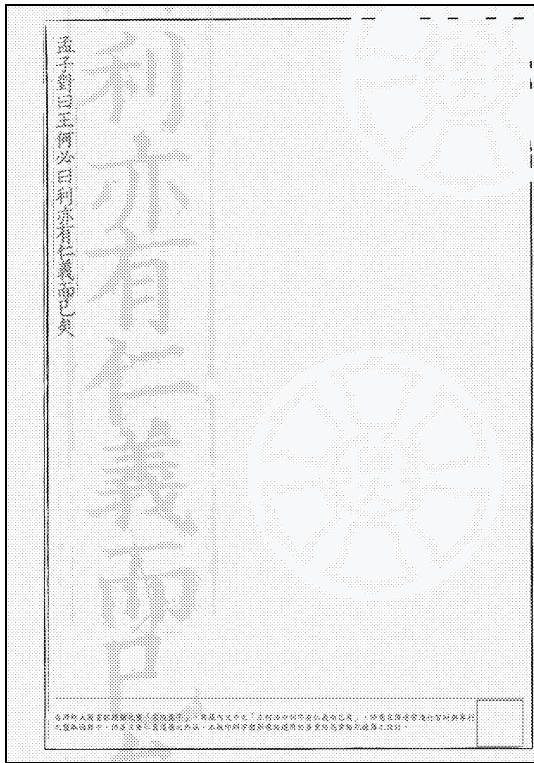
混合網點數位浮水印主要是由兩種型態的網點組成，浮水印潛像為調頻網點區塊，調幅網點區塊嵌入調幅網點區塊組成混合網點數位浮水印。由前期實驗所得到的浮水印輸出參數，給予灰階區塊 5%濃度值，應用點陣調色法半色調處理後得到 100lpi 調幅網點區塊。浮水印潛像區塊則給予調頻網點的參數，灰度值為 3.5%。實驗結果如圖 4.4，(a)為原圖，其平網區塊為 5%濃度值，經由(b)兩階遮罩處理後，得到圖(c)加密圖像，其中浮水印區塊為灰階，濃度為 3.5%。在經由 RIP 處理後得到半色調加密圖像(d)，平網部分為調幅網點，網線數為 100dpi，濃度值為 5%，而浮水印潛像區塊為調頻網點，網點尺寸為 20micron，濃度值為 3.5%。



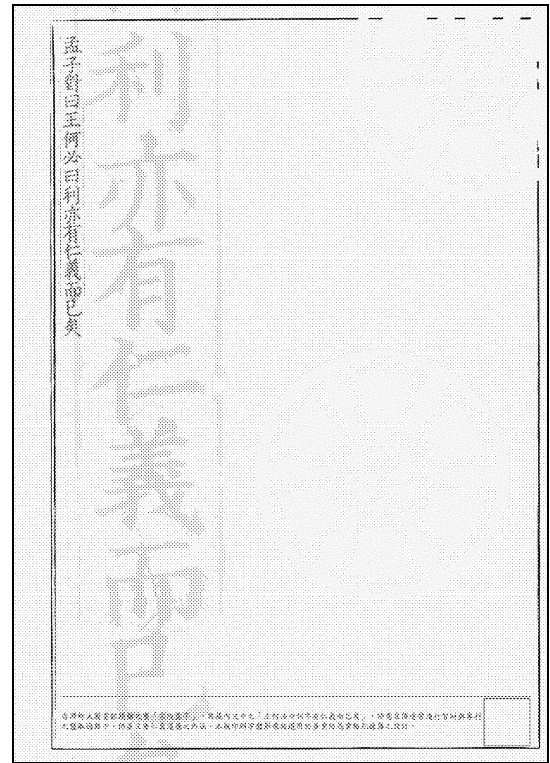
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 4.4 印刷輸出前之加密圖像(a)原圖(b)兩階遮罩(c)遮罩處理後之加密圖像(d)經 RIP 處理後之半色調加密圖像

加密後的影像中，周圍區塊為點陣調色半色調所構成的調幅網點，而浮水印潛像區塊，則是經過遮罩處理過後的灰度值(圖 4.5)。

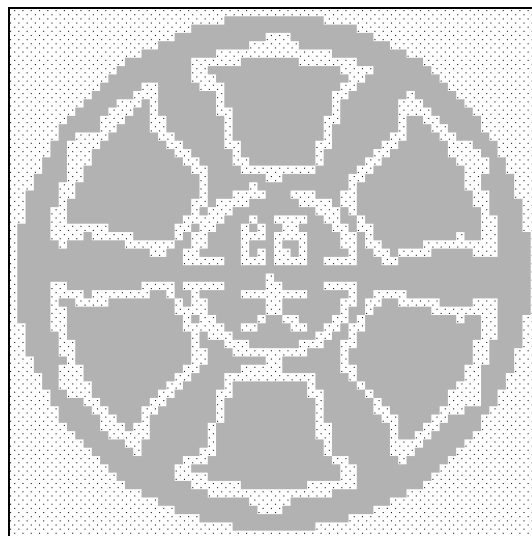
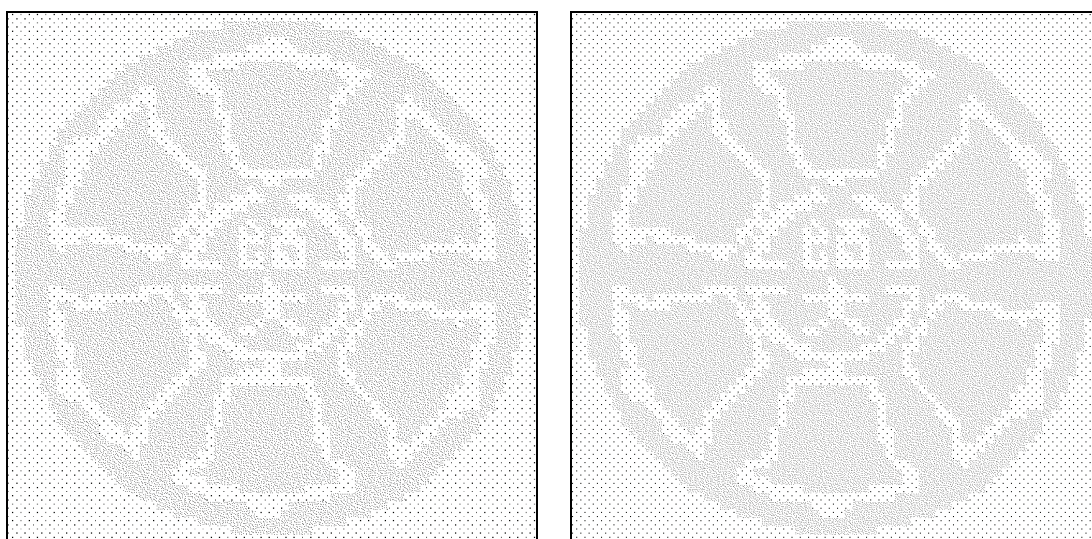


圖 4.5 加密圖像放大圖

加密圖像經由輸出設備的 RIP 過網之前，調幅網點區塊已經是半色調，當 RIP 開始處理加密影像時，除了將灰階區塊兩階化成調頻網點，對於調幅網點還是會一併過網處理。所以在浮水印嵌入之時，必須確認調幅區塊與調幅區塊的 Halftone Cell Matrix，當調幅網點區塊解析度與輸出設備的輸出解析度成倍數關係時，調幅網點不會產生破裂或變形的狀況(圖 4.6)。原因在輸出設備只會用一種 Halftone Cell Matrix 來成像。由於兩個區塊的產生半色調方法不同，造成 Halftone Cell Matrix 不同，當輸出後即產生差異。



(a)調幅網點破裂

(b)調幅網點均勻

圖 4.6 調幅網點輸出後比較圖

圖 4.7 為混合網點數位浮水印輸出後，經放大顯示可看出兩者的差異，其中遮罩圖像外部網點是調幅(AM)網點；遮罩細微的網點是調頻(FM)網點。

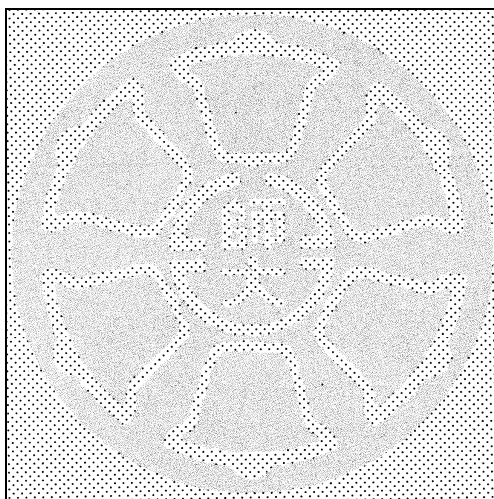


圖 4.7 實際輸出加密影像放大圖

經實驗結果比較後，浮水印圖像在嵌入後，調頻網點區塊的半色調由輸出設備產生的混合網點浮水印，在調頻網點與調幅網點邊界處，有較平滑之效果。此結果對於資訊隱藏之能力，有明顯的提升，浮水印的隱匿度較佳。且調幅網點的網線數達到 100dpi，在視覺上已經無法辨識出網點的差異(如圖 4.8)。

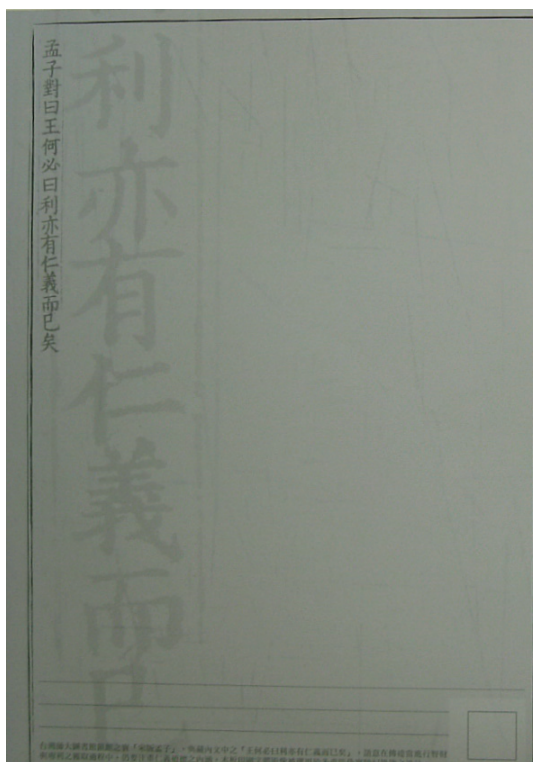


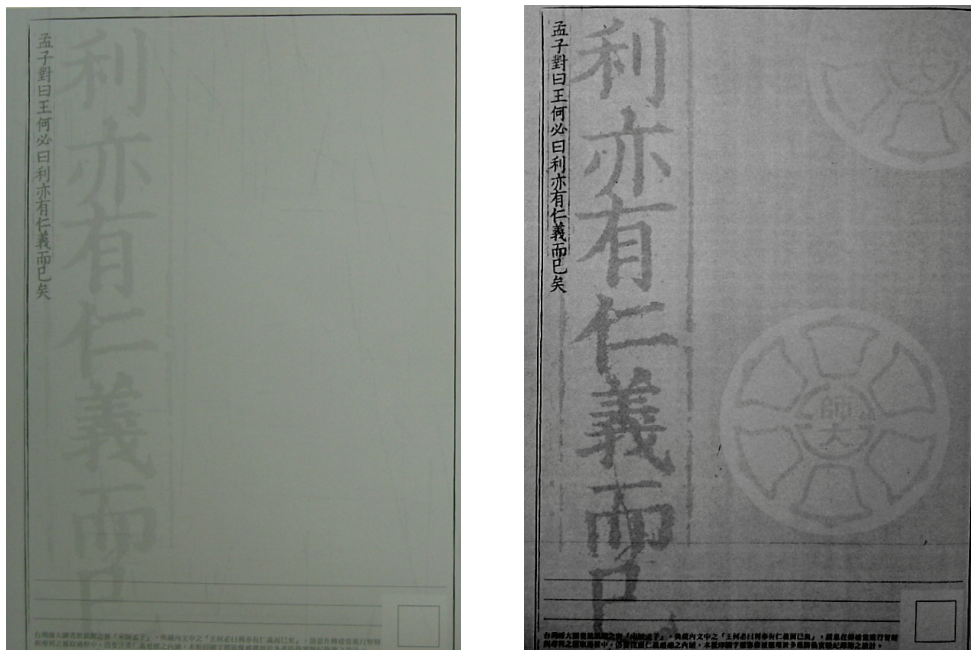
圖 4.8 實際輸出加密影像

第三節 驗證實驗結果分析

混合網點數位浮水印經由印刷輸出後，浮水印隱藏的訊息透過以下幾種方式來偵測解碼。一、複印機、二、掃描器、三、柱狀透鏡光柵。

一、複印機解碼

在浮水印影像中，調頻網點是以高解析度輸出，因此當調頻網點解析度高於影印機的空間取樣頻率，浮水印的潛像會因為取樣不足而顯現出來。



(a)加密圖像

(b)複印後

圖 4.9 複印機辨識浮水印

實驗得知當調頻網點的解析度越高，網點越小，複印機無法複製細小調頻網點，則浮水印的反差越大，解密的效果越佳。

二、掃描器解碼

經由掃描器取得浮水印之圖像，解密結果與影印機相同，因調頻網點是以高解析度輸出，利用掃描器之不同空間取樣頻率得到以下結果(如圖 4.10)。掃描器也如同複印機，因為網點對於掃描器有不同的取樣頻率需求，使得浮水印可在取樣不足(under-sampling)的情況下顯現。

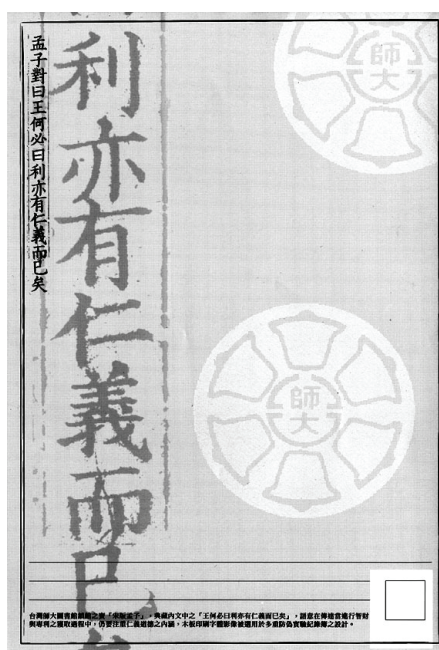


圖 4.10 掃描器辨識浮水印

三、光學柱狀透鏡解碼

光柵是一組排列整齊的光學柱狀凸透鏡，其特性可聚焦光線，每一個柱狀體的間距相同，每單位內柱狀數量決定光柵的頻率(圖 4.11)。光柵在防偽辨識方法中，目前已成為廣泛的輔助工具。

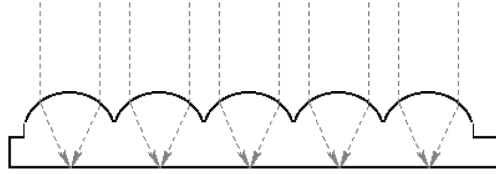


圖 4.11 柱狀凸透鏡剖面圖

混合網點浮水印的圖像中的兩種網點頻率不同與光柵頻率會產生錯網 (moire) 情況。由於調頻網點為亂數分布，所以產生錯網情況會遠比調幅網點產生錯網的狀況少，調幅網點與調頻網點之間差異即產生，此時浮水印的潛像即浮現 (如圖 4.12)。

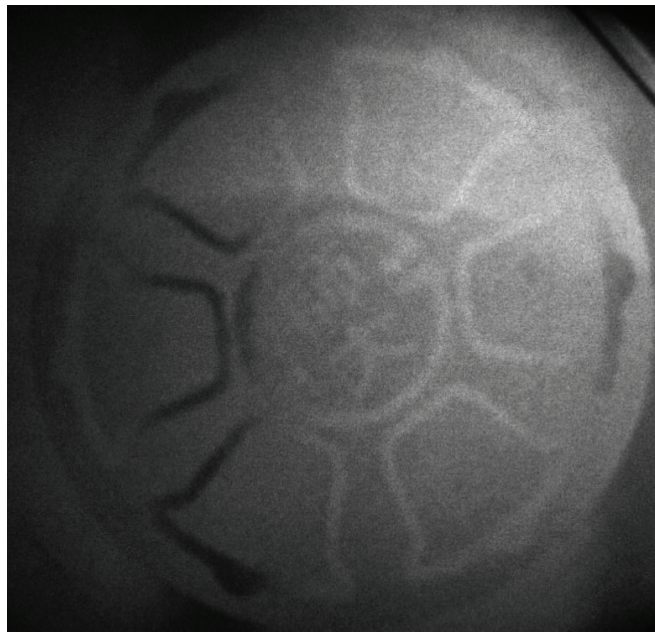


圖 4.12 柱狀透鏡光柵解碼

第四節 浮水印藏匿度分析

結合不同形式網點的數位浮水印技術來隱藏圖像，最不易控制的變因為網點擴張問題，網點大小與網點百分比的不同會導致不同程度的網點擴張，網點的擴張變化並非呈現線性變化，欲完全控制網點擴張，是件非常困難的事。混合網點數位浮水印技術必須達到兩種不同網點呈現一致的灰度，數位半色調檔案所呈現的效果，並不代表輸出的結果。而且不同輸出設備有不同的變因，以及材料上的差異，必須針對種種變因進行分析控制。表 4.5 為網點擴張實驗的數據，FDA(File Dot Area)是半色調檔案上的網點面積，而網點值為輸出於紙張上的網點面積。

表 4.5：實際網點面積表

FDA(%) LPI	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
FM 20	3	4	5	6	8	9	10	11	13	14	16	17	18	19	20
60lpi	2	3	3	5	5	6	6	6	8	8	9	9	10	11	12
70lpi	2	3	3	4	5	6	6	7	8	8	9	10	11	11	12
80lpi	3	3	3	4	5	5	6	7	8	9	10	10	11	11	12
90lpi	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12
100lpi	3	4	4	5	6	6	7	8	9	9	10	11	11	12	12
110lpi	3	4	4	4	6	6	7	7	8	9	10	11	11	12	13
120lpi	3	4	4	5	6	7	7	8	9	9	10	11	12	13	13
130lpi	3	3	5	5	6	6	7	8	9	10	11	12	12	13	13
140lpi	3	4	5	5	7	7	7	8	10	10	10	12	12	13	14
150lpi	3	4	5	5	7	7	8	9	10	10	11	12	12	13	14

表 4.5 為考量印刷機網點擴張以及紙張材料等的因素，實際輸出後的網點面積。調幅網點以及調頻網點在不同濃度下，所呈現的實際網點面積分布圖(圖 4.13)。當浮水印的視覺灰度值要一致時，調幅網點與調頻網點單位面積內的灰度值必須一致，亦即兩者在單位面積內的濃度要相同。本實驗調頻網點是 20μ ，假設檔案上設定的濃度值為 3%，經過網點擴張後，網點量測值為 8%，對於不同線數的調幅網點，可以在檔案上設定的濃度為 60lpi, 5.5%以及 80lpi, 5%, 120lpi, 4.5%等。只需符合視覺上灰度相同，則可達到浮水印藏密效果，由此得知可以針對不同的辨識工具或防偽功能來設計浮水印，例如，要防止高階掃描器複製，可以在將調幅網線數提高；只針對光學柱狀透鏡解碼功能，可將調幅網點與調頻網點的大小作成一致；對於低階複印機，則可以調整調幅網點網線數或濃度。

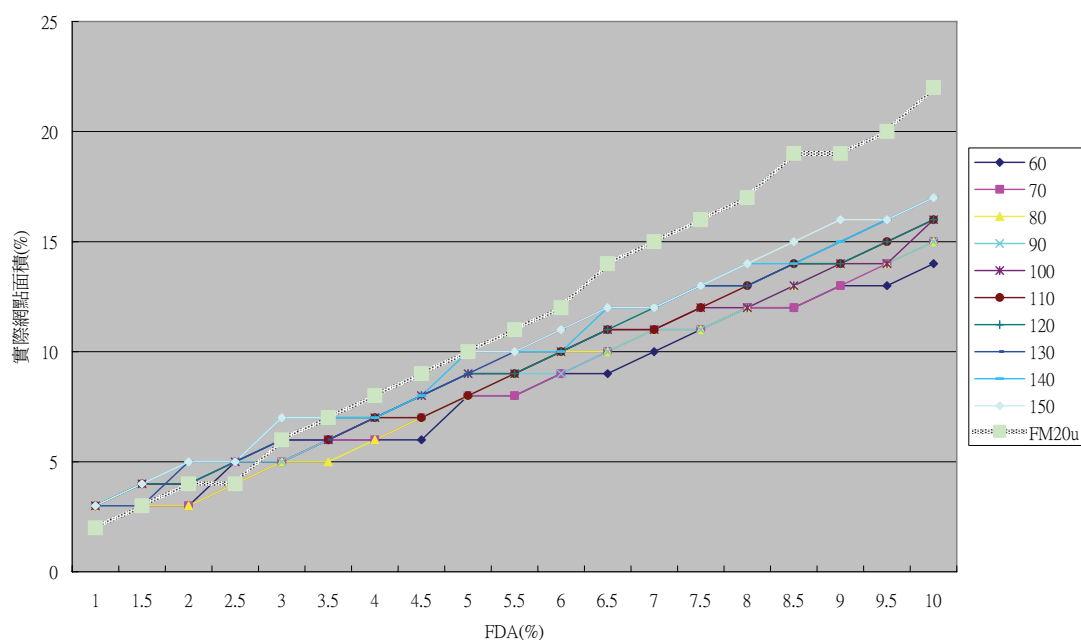


圖 4.13 調幅與調頻網點面積匹配分析圖

當設計浮水印時，調幅網點與調頻網點在輸出後的網點面積必須相同，且又必須在複印機的取樣差異範圍內，調幅網點與調頻網點是有所限制的。由以上分析可以得知，混合網點數位浮水印設計有以下兩點限制：

- (1) 複印機取樣標準：以 600dpi 的複印機為浮水印偵測標準，調頻網點尺寸 20 μ ，輸出後網點面積不得超過 16%；調幅網點 100lpi，網點面積不得低於 3%。
- (2) 浮水印藏匿性：兩者網點面積必須相同情況下，調頻網點的 FDA(File dot area) 不得超過 6%，調幅網點網線數 100lpi 濃度不得低於 3%。

在此範圍內的參數值，可以利用複印機來驗證浮水印，且浮水印具有資料隱藏功能，但如果以辨識的明確性而言，複印後的反差要大，浮水印解碼後才能明確得到隱藏資訊，必須考慮調頻網點的尺寸。

第五節、浮水印品質分析

混合網點數位浮水印輸出成實體浮水印，在一定距離下觀看，視覺上無法辨識出其兩者區塊網點的差異。以 10 張為單位，對印刷輸出後的浮水印抽樣量測經由濃度計測量其兩區塊網點面積，以及滿版濃度導表，得到數據如下(表 4.6)。

表 4.6 浮水印品質間隔抽樣分析表

網點區塊 取樣間隔	FM_ Dot Area	AM_ Dot Area	Solid Density	95%_Density
10	9	9	1.75	1.43
20	9	9	1.73	1.45
30	9	9	1.73	1.43
40	9	9	1.74	1.43
50	9	9	1.72	1.42
60	9	9	1.73	1.41
70	9	9	1.75	1.44
80	9	9	1.72	1.40

90	9	9	1.71	1.40
100	9	9	1.74	1.42

由表 4.6 得知，當滿版濃度(Solid Density)在標準範圍內，且 95%網點面積未超過滿版濃度值，網點擴張的比率是可以控制的。浮水印在經由量測網點面積後，得到兩區塊網點的面積與前期實驗所得數據相同，浮水印在印刷流程中製作，利用墨膜厚度控制導表，網點擴張程度獲得有效控制，浮水印在大量的複製下，可以得到穩定的結果。