

5.4.2 汲取階段

在汲取過程發生的第一階段，毛細壓力由 5.8cm 減少至 5.5cm，此時，寬度為 0.34mm 的頸管之活塞型運動門檻值為 5.83cm，而微模型中大部分寬度為 0.34mm 的頸管在排退結束後都還有潤濕相殘留在頸管中，所以毛細壓力下降時，潤濕相也會藉由角隅流的方式流入頸管中，在系統毛細壓力到達 0.34mm 的頸管之活塞型運動門檻值時，頸管中的潤濕相的量足夠將管中的非潤濕相排出，因此該頸管即為潤濕相所佔領，潤濕相飽和度也由 0.14 增加至 0.19，如圖 5.4.12-2~5.4.12-3 所示。

在第四階段時，距離潤濕相源最遠的頸管亦發生活塞型置換，若實驗在第一階段的時間夠久，該頸管應會在汲取第一階段即發生活塞型置換，如圖 5.4.13-2 至圖 5.4.13-3 所示。

在第五階段到第八階段間，並未明顯的發生取代機制，直到第九階段在 0.34mm 的頸管發生過活塞型置換後，恰好有兩根寬度為 0.34mm 的頸管相鄰且與為模型之邊界相鄰，因此在第九階段潤濕相對孔發生汲取的行為，由於此情形並不屬於 In 型汲取中的狀況，所以也無法依 In 型汲取的理論公式比較之；且潤濕相對孔發生完汲取後，隨後又對寬為 0.5mm 的頸管進行活塞型置換，之後潤濕相又對孔進行汲取並對其相鄰的頸管發生活塞型置換，同時，與潤濕相源相鄰的一根寬為頸管 0.42mm 的頸管發生攪斷，如圖 5.4.14-1，5.4.14-2，5.4.14-3，5.4.14-4 所示。

在第十二階段時，系統毛細壓力為 3.4cm，而寬度為 0.42mm，0.46 mm 頸管，其理論的攪斷門檻值分別為 2.53cm，2.39cm，而攪斷一發生後，潤濕相馬上對孔進行汲取，汲取之後潤濕相對頸管馬上

發生活塞型置換，潤濕相飽和度由 0.27 增加至 0.40，如圖 5.4.15-1~圖 5.4.15-4 所示。

在第十四階段時，系統毛細壓力為 2.8cm，寬度為 0.88cm 與 0.72mm 的孔其理論 II 型汲取門檻值為 2.96cm 與 3.28cm，此時只要該這兩種寬度的孔其相鄰三邊的頸管都充滿潤濕相，則會發生 II 型汲取，如圖 5.4.16-1~圖 5.4.16-3 所示。

在汲取第十六階段時，系統毛細壓力為 2.2cm，此時寬度為 0.46mm 的頸管發生攔斷，其攔斷臨界毛細壓力門檻值為 2.38，而此時該頸管攔斷而導致孔發生一連串 II 型汲取與汲取後所引發之活塞型置換，而使飽和度迅速增加，由 $S_w=0.52$ 增加至 $S_w=0.71$ ，如圖 5.4.17-1~圖 5.4.17-4 所示。

在第十七階段時，系統毛細壓力為 2cm，一寬度為 1.28mm 的孔發生 II 型汲取，使得最後非潤濕相一條與非潤濕相源相連通之路徑迅速被潤濕相佔領，此時潤濕相飽和度由 0.71 增加至 0.91，如圖 5.4.18-1~圖 5.4.18-5 所示。

在第二十階段時，因為有些非潤濕相已經入陷，所以並不會再發生變化，而僅剩與非潤濕相源連通的非潤濕相尚可繼續發生置換。此時的非潤濕相僅剩與非潤濕相源相接的孔，如圖 5.4.19-1~圖 5.4.19-3 所示。

在本實驗之汲取過程中，每一階段的平衡時間為 6~8 小時。

於本實驗的汲取階段中可發現以下幾點特徵：

(1) 於本實驗微模型邊界附近之孔的置換，無法以一般的 In 汲取比較分析，且此種孔的置換較一般 In 型汲取提早發生。

(2) 本實驗的潤濕相飽和度乃自 II 型汲取發生後即迅速增加。

(3) 因為兩根相鄰的 0.34mm 之頸管發生活塞型置換後，成為兩根相鄰的潤濕頸管，相較於微模型邊界附近之其他平行而不相鄰之頸管而言具有對孔發生汲取的優勢。

表 5.4-3 五種寬度的孔與 5 種寬度頸管網絡模型實驗之各種置換機制理論毛細壓推估值(汲取階段)

寬度(單位:cm)		活塞型(cm)	截斷(cm)	I1(cm)	I2(cm)
頸管	0.034	5.83	2.92	*	*
頸管	0.038	5.40	2.70	*	*
頸管	0.042	5.05	2.53	*	*
頸管	0.046	4.76	2.39	*	*
頸管	0.050	4.52	2.26	*	*
孔	0.060	*	*	3.62	2.45
孔	0.072	*	*	3.28	2.22
孔	0.088	*	*	2.96	2.00
孔	0.114	*	*	2.64	1.79
孔	0.128	*	*	2.52	1.71

表 5.4-4 五種寬度的孔與 5 種寬度頸管網絡模型實驗置換機制統計表(汲取階段)

	系統毛細壓力(cm)	活塞型置換	攪斷	I1	I2	其他
第 1 階段	5.5	○	*	*	*	*
第 2 階段	5.3	*	*	*	*	*
第 3 階段	5	*	*	*	*	*
第 4 階段	4.8	○	*	*	*	*
第 5 階段	4.5	*	*	*	*	*
第 6 階段	4.3	*	*	*	*	*
第 7 階段	4.1	*	*	*	*	*
第 8 階段	3.9	*	*	*	*	*
第 9 階段	3.7	○	○	*	*	○
第 10 階	3.6	*	*	*	*	*
第 11 階	3.4	*	*	*	*	*
第 12 階	3.2	○	○	○	*	*
第 13 階	3	*	*	*	*	*
第 14 階	2.8	○	*	○	*	*
第 15 階	2.5	*	*	*	*	*
第 16 階	2.2	○	○	○	*	*
第 17 階	2	○	*	○	*	*
第 18 階	1.7	*	*	*	*	*
第 19 階	1.5	○	*	○	*	*
第 20 階	1.3	*	*	*	*	*

註：*代表未發生置換，○代表已發生置換

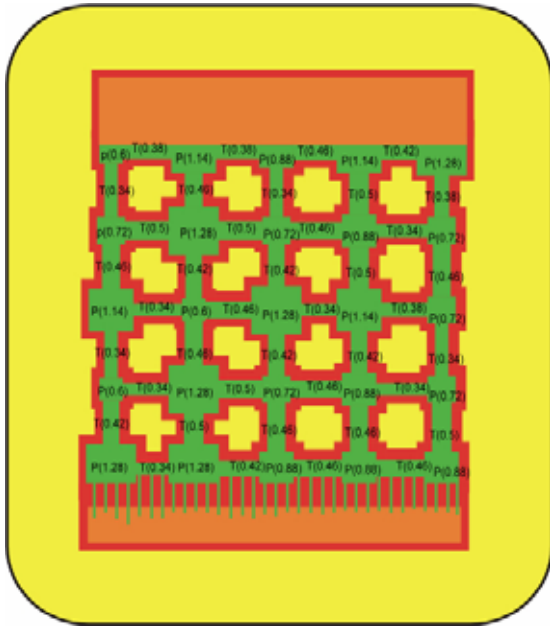


圖 5.4.13-1 微模型孔頸寬度分佈圖

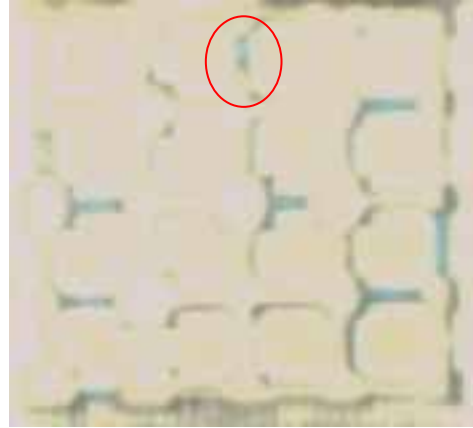


圖 5.4.13-2 汲取第四階段

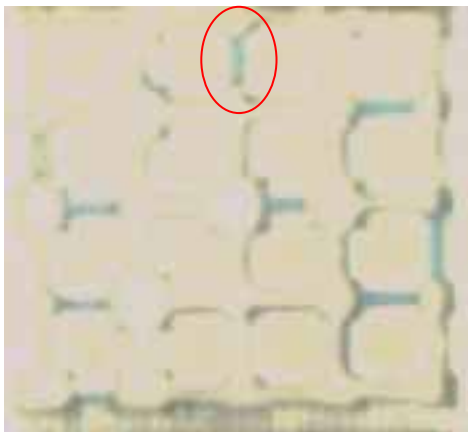


圖 5.4.13-3 汲取第四階段



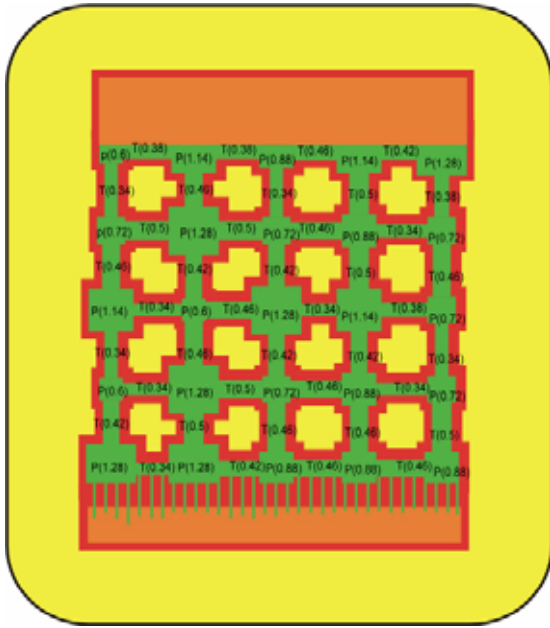


圖 5.4.14-1 微模型孔頸寬度分佈圖

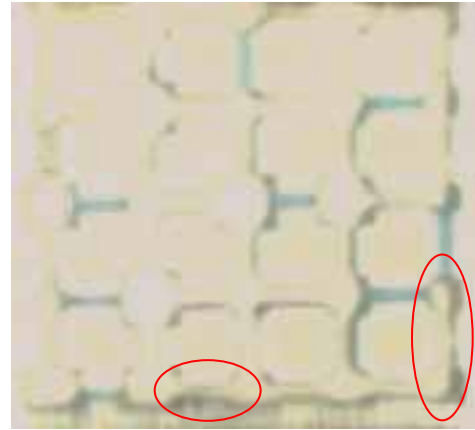


圖 5.4.14-2 汲取第九階段

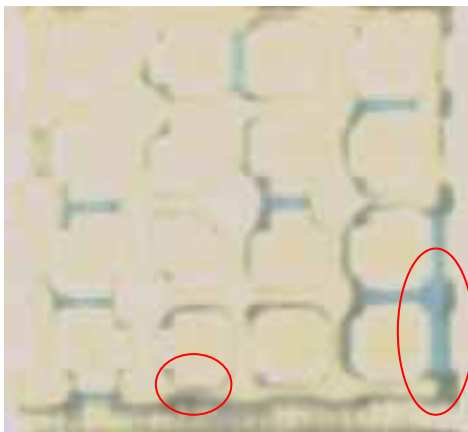


圖 5.4.14-3 汲取第九階段

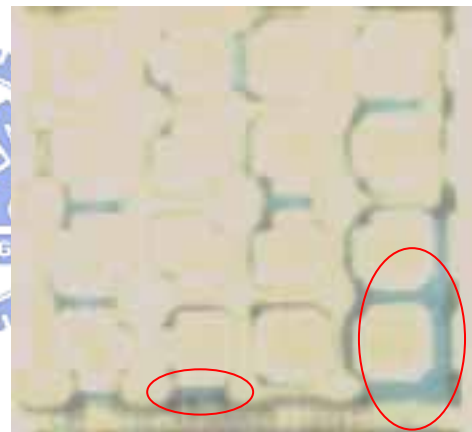


圖 5.4.14-4 汲取第九階段

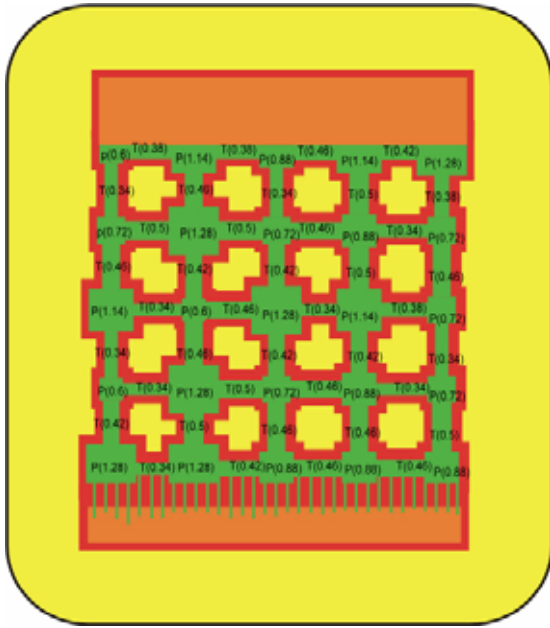


圖 5.4.15-1 微模型孔頸寬度分佈圖



圖 5.4.15-2 汲取第十二階段

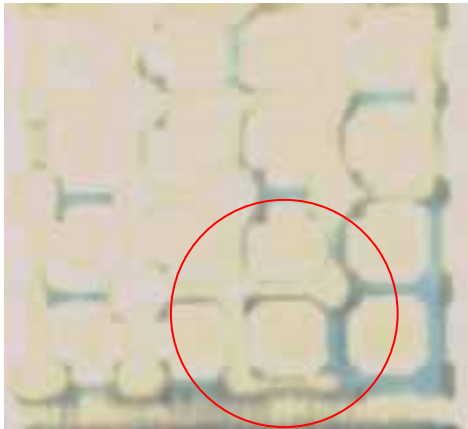


圖 5.4.15-3 汲取第十二階段

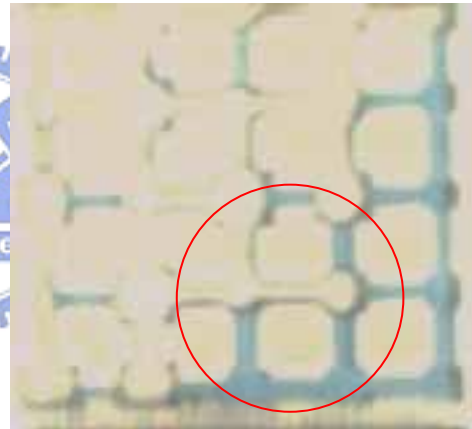


圖 5.4.15-4 汲取第十二階段

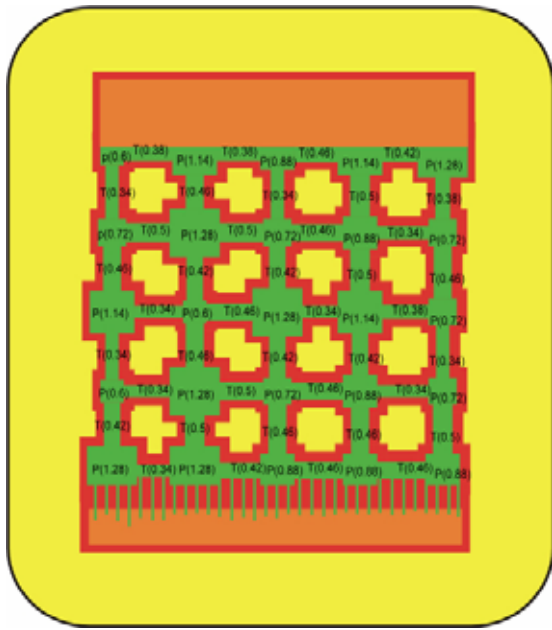


圖 5.4.16-1 微模型孔頸寬度分佈圖

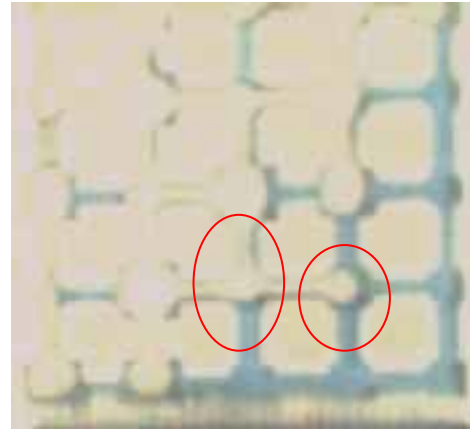


圖 5.4.16-2 汲取第十四階段

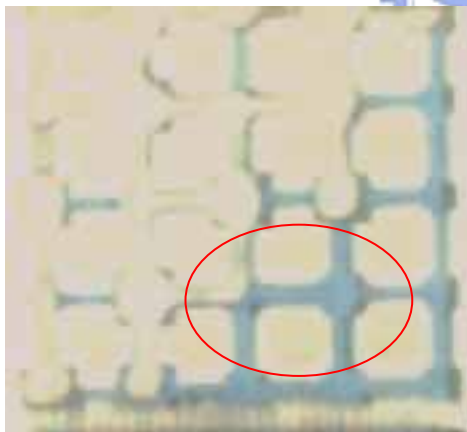


圖 5.4.16-3 汲取第十四階段

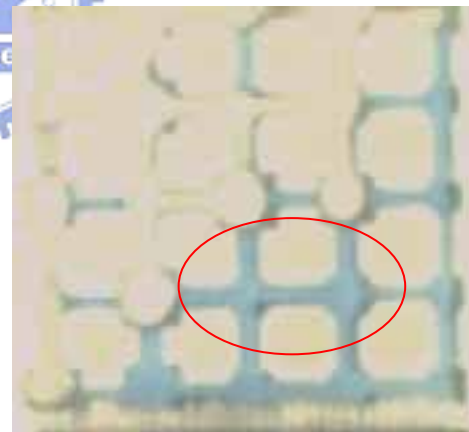


圖 5.4.16-4 汲取第十四階段

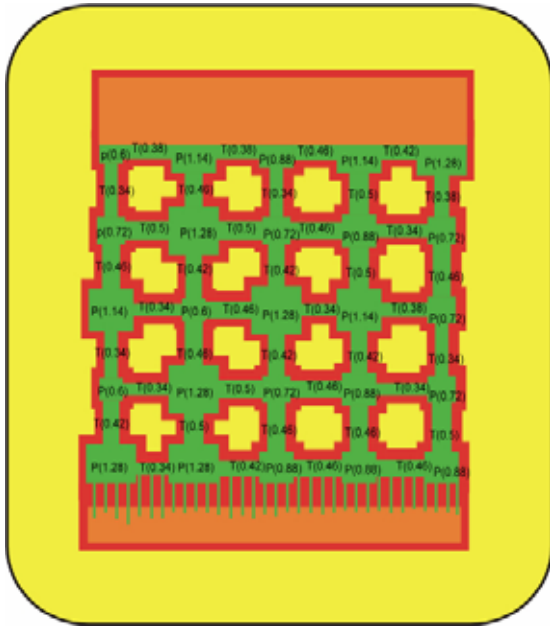


圖 5.4.17-1 微模型孔頸寬度分佈圖

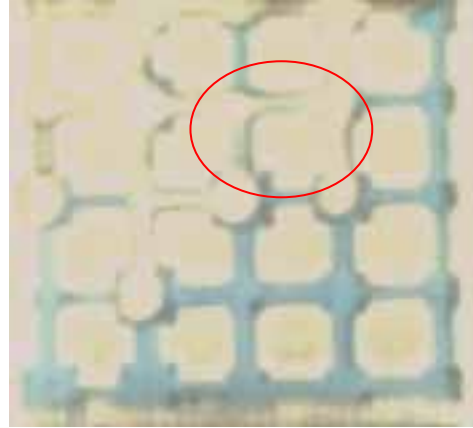


圖 5.4.17-2 汲取第十六階段

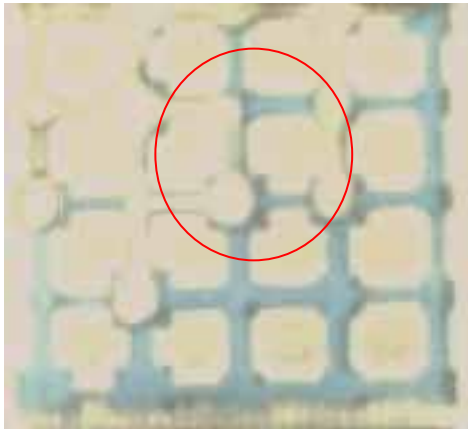


圖 5.4.17-3 汲取第十六階段

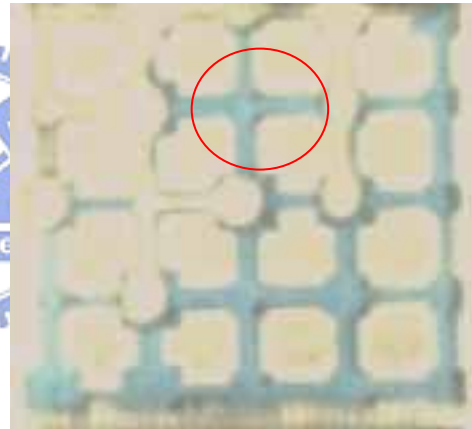


圖 5.4.17-4 汲取第十六階段

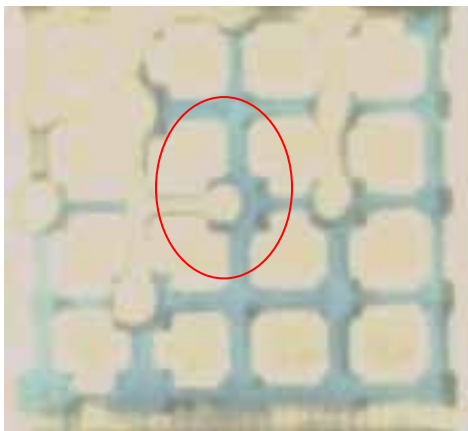


圖 5.4.17-5 汲取第十六階段

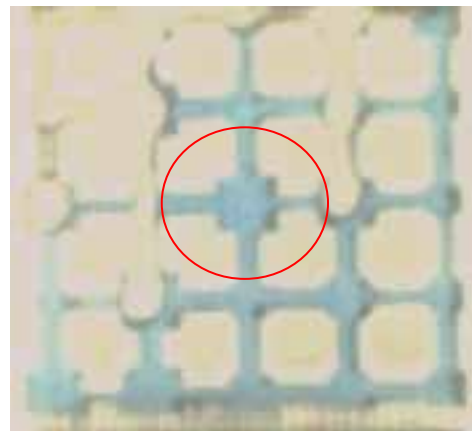


圖 5.4.17-6 汲取第十六階段

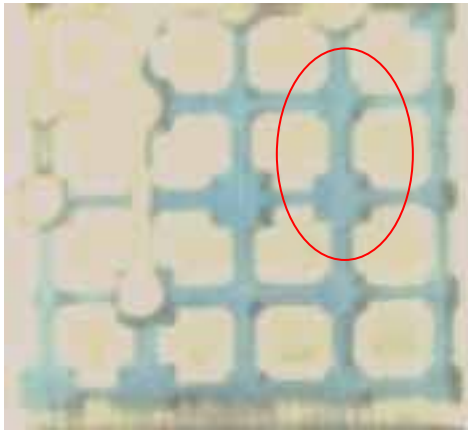


圖 5.4.17-7 汲取第十六階段

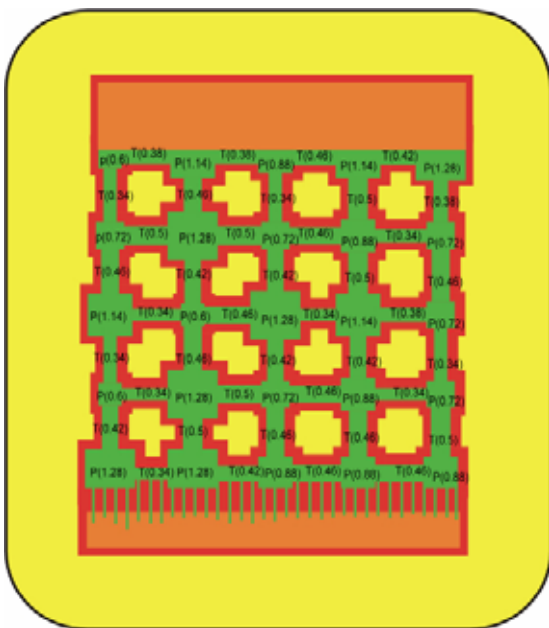


圖 5.4.18-1 微模型孔頸寬度分佈圖

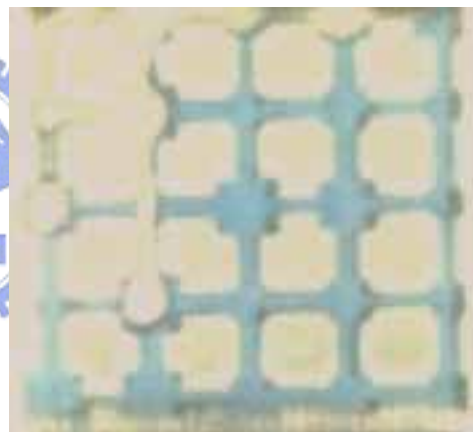


圖 5.4.18-2 汲取第十七階段

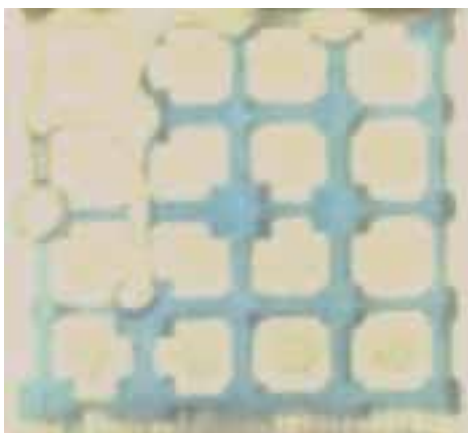


圖 5.4.18-3 汲取第十七階段

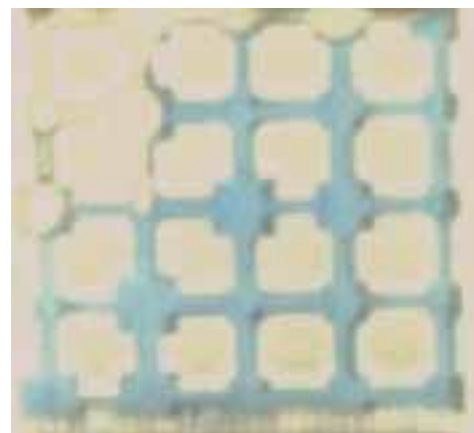


圖 5.4.18-4 汲取第十七階段

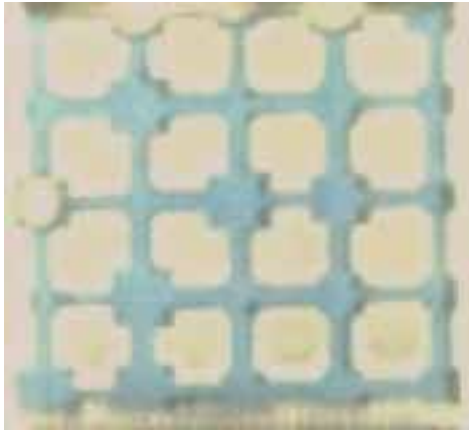


圖 5.4.18-5 汲取第十七階段

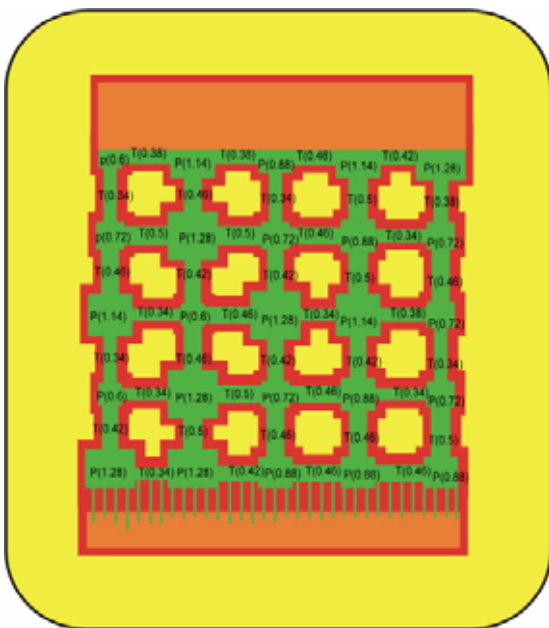


圖 5.4.19-1 微模型孔頸寬度分佈圖

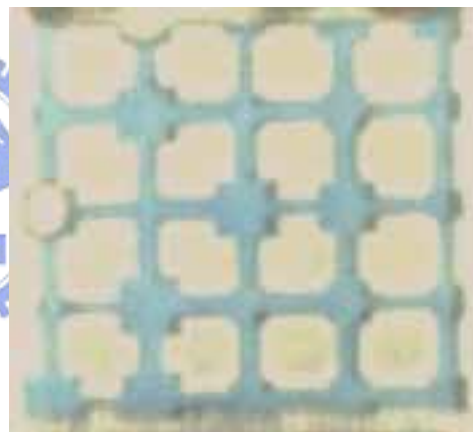


圖 5.4.19-2 汲取第十九階段

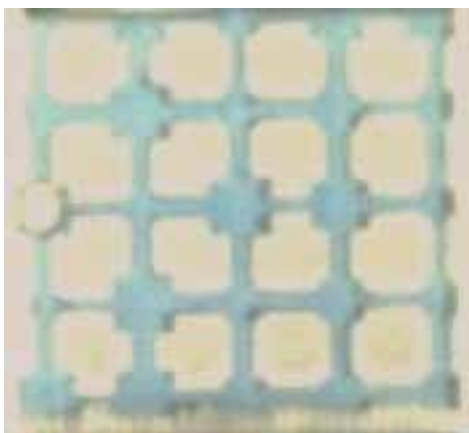


圖 5.4.19-3 汲取第二十階段

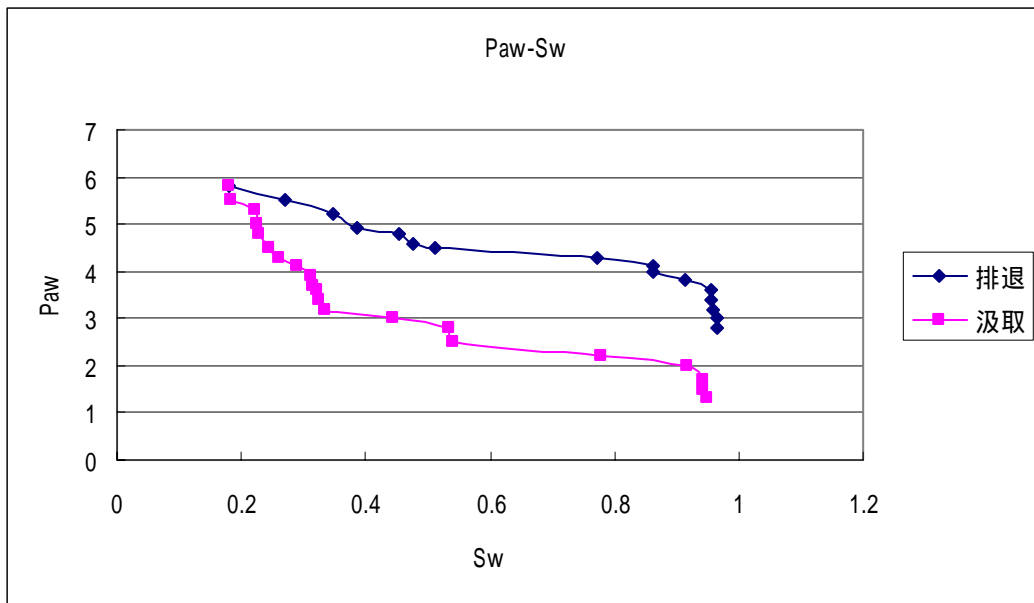


圖 5.4.20 五種寬度的孔與 5 種寬度頸管網絡模型實驗 s-p 曲線圖

5.5 綜合討論

(1) 在接觸角實驗中，因微模型壁面為親水性，所以潤濕相會延著壁面長出一層薄膜，此薄膜層無論在汲取或排退階段皆存在，若此層薄膜能以 CCD 數位攝影機顯示，則可沿著此薄膜量測接觸角，故在本實驗中，非潤濕相先進入順序與排退或汲取的階段對接觸角的影響其實不大。

(2) 以 Legait 公式推求理論活塞型運動於各種寬度的孔與頸管的毛細壓力門檻值，並與各種寬度的頸管與孔在為模型中所佔百分比繪成之理論排退曲線，將理論排退曲線分別代入接觸角實驗所得接觸角與零度比較後，可發現理論排退曲線在對於研究的流體對接觸角不敏感，另外，代入接觸角後的理論排退曲線也未更逼近實驗所得排退曲線；若能將兩相間取代機制實驗所得結論把理論排退曲線修正或是發展理論模式，應可更逼近實驗排退曲

線。

(3) 非潤濕相在排退潤濕相的過程中會選擇易於排退的路徑；比如當系統毛細壓力大於‘甲’頸管的活塞型置換門檻值時，若非潤濕相位於孔中且與之相鄰的潤濕相頸管皆小於甲頸管，則潤濕相會停留在孔中，若與該孔相鄰的頸管有一根是大於等於甲頸管，則非潤濕相會突破該根頸管，如果有兩根頸管大於等於甲頸管，且此兩根頸管一根平行非潤濕相流動方向，另一根垂直非潤濕相流動方向，則非潤濕相會優先排退平行非潤濕相流動方向的頸管再排退垂直非潤濕相流動方向的頸管。

(4) 非潤濕相的排退與頸管的分佈相關，當頸管寬度相近且彼此連通的比例很高時，當系統毛細壓力到達一臨界值時，系統內部即會發生大規模的排退，使得非潤濕相飽和度激增。

(5) 置換機制實驗之汲取過程中，當系統毛細壓力達到某些機制之門檻值時，這些機制卻未在此階段未發展完全，而到汲取過程下一個階段才發展出完整的置換機制，此乃為本實驗是以角隅流的方式進行汲取階段的實驗，由於以角隅流的方式使潤濕相進入微模型中所需時間較長，所以會有些機制不會在原本該發生的階段發生而遲至下一個或下兩個階段才發生。

(6) 置換機制實驗中可清楚的觀察到 II 型汲取發生的情形，亦可由實驗拍攝的圖片中發現 R.Lenormand et al (1983) 所提出的 In 型置換機制的確是會發生於真實的孔中。

(7) 由三組基本機制的實驗數據中可以發現，本實驗引用理論機制公式所推估之各種理論機制門檻值，大致上與實驗所發生各種

置換機制之毛細壓力一致。

(8) 置換機制之系統毛細壓力範圍如表 5.5-1 所示，其中，五種寬度的孔與 5 種寬度頸管的網絡模型實驗雖然在汲取階段進行到毛細壓力為 1.3cm，但實際上在毛細壓力到達 2cm 時，飽和度即已達到一定值，且毛細壓力即使降到 1.3cm 飽和度亦只有 0.01 的變化，所以當毛細壓力降至理論 I1 型汲取門檻值之下時，潤濕相飽和度就會激增，待各種寬度的孔之 I1 型汲取完全發展後，飽和度就不會有太大的變化；而系統的 I2 型汲取之理論毛細壓力門檻值皆小於 I1 型汲取，所以系統仍以 I1 型汲取為主。

(9) 在汲取的過程中，頸管是一項重要的影響因素；當系統毛細壓力已經達到孔發生汲取的門檻值時，若與該孔相鄰的頸管尚未被潤濕相佔領，或被潤濕相佔領卻彼此平行，都無法讓孔發生汲取。

(10) 在二相流體對取代機制實驗中之五種寬度的孔與 5 種寬度頸管的網絡模型實驗中可以發現，孔的寬度為 0.6mm~1.28mm，I1 型汲取門檻值為 3.62~2.52cm，理論上當系統毛細壓力一到 3.62 cm 時，寬度為 0.6mm 的孔就應會發生 I1 型汲取，但實際上並未發生，主要是因為在系統毛細壓力為 3.62 cm 時只有少量頸管發生置換，並沒有辦法構成該孔周圍有 3 根相鄰潤濕相頸管的條件，所以並無法使寬度為 0.6mm 的孔發生 I1 型汲取，直到毛細壓力到達 2.8cm 後，已經有不少頸管被潤濕相佔領，且部分的孔周圍之潤濕相頸管皆為相鄰，此時才開始發生 I1 型汲取，使得飽和度快速增加。

(11) 五種寬度的孔與 5 種寬度頸管的網絡模型實驗與單一寬度的孔與 5 種寬度頸管的網絡模型實驗，雖然在孔的寬度上不一樣，但在排退階段受到孔的寬度影響較小，非潤濕相在排退階段主要還是受到頸管的影響較大，因為當潤濕相突破第一根頸管後，孔即不再有阻止非潤相排退的作用，而頸管的排列情形亦會影響到非潤濕相的分佈，所以此兩組實驗在排退階段的差別主要是頸管分佈的方式不同而使得非潤濕相分布略有差異，但整體而言，此兩組實驗所反映出來的是頸管在排退階段是影響非潤濕相飽和度的主因。

(12) 承 (11)，五種寬度的孔與 5 種寬度頸管的網絡模型實驗與單一寬度的孔與 5 種寬度頸管的網絡模型實驗，此兩組實驗在汲取階段的差別為五種寬度的孔與 5 種寬度頸管的網絡模型實驗其發生的 I1 型汲取較早，因為其孔的寬度分布較廣，從寬度為 0.6mm~1.28mm，I1 型汲取的門檻值分佈從 3.62~2.52cm，當系統毛細壓力當達 I1 型汲取的門檻值，且有足夠之相鄰潤濕相頸管就會發生 I1 型汲取；五種寬度的孔與 5 種寬度頸管的網絡模型實驗其 I1 型汲取發生時系統毛細壓力為 2.8cm，單一寬度的孔與 5 種寬度頸管的網絡模型實驗其 I1 型汲取發生時系統毛細壓力為 2.5cm，故孔的寬度對於汲取階段的飽和度是有一定程度的影響。

(13) 在單一寬度網絡模型實驗中可發現，無論是否有真正的孔，二維的網絡模型都能產生遲滯效應，因為當潤濕相由頸管行進到孔時，其曲率半徑會由小變大，使得毛細壓力須再調降才能對孔進行汲取，因此二維網絡模型即能造成遲滯效應。

表 5.5-1 各流體對間之界面張力及所對應之毛細壓力差

空氣-水	界面張力 (dynes/cm)	壓力差(cm)
平行頸管	71.5	5.8~2.0
單一寬度的孔與 6 種寬度頸管的實驗	71.5	6.3~2.1
五種寬度的孔與 5 種寬度頸管的實驗	71.5	5.8~1.3

