



環保水性PU發泡塗佈加工技術及其紡織應用物性研究

The Study of Environmental Friendly Water-based PU Foam Coating Technology and the Physical Properties on Fabric Application

王家華 J. H. Wang¹、周淑珠 S. C. Chou²、
張光欽 K. C. Chang³

臺灣永光化學工業股份有限公司(Everlight Chemical)
集團研發中心研二室 ¹助理工程師、²工程師、³組長

摘要/Abstract

水性PU (PUD)相比於傳統溶劑型PU，可降低空氣污染，也避免人體接觸或吸入，而造成健康的危害，在使用上相對地安全，是具有市場潛力的環保型材料之一。本研究主要以環保水性PU為基材，結合泡沫塗佈加工技術，期望發泡塗層賦予織物柔軟、乾爽不回黏、回彈性、防風性。研究中主要探討不同起泡劑、穩泡劑及增稠劑的添加比例，對於發泡比和穩泡（操作）時間的關聯性，以及不同結構PUD發泡塗層於織物上的物性表現。研究結果顯示，添加比例為：起泡劑2%、穩泡劑8%、增稠劑2%時，泡沫成孔性穩定。全聚醚系統水性PU發泡塗層的手感（柔軟）及回彈性較佳。表面觸感及防風性部分，聚醚-聚碳酸酯複合型水性PU系統較佳。

Compared with traditional solvent-based PU, water-based PU (PUD) can reduce the air pollution, and avoid the organic solvent hazards to human body. PUD is a safer solution and one of the environmental friendly materials with market potential. This study bases on the environmental friendly water-based PU foam coating technology, that expects the foam coating in fabrics with softness, non-stickiness, resilience and windproof. This study mainly discusses the correlation between foaming ratio and foam stabilization time to with the addition ratio of different foaming agents, foam stabilizers and thickeners. And we investigate the physical properties of PUD foam coatings with different structures on fabrics. From the results, it was found that the foam is stable with formula of 2% foaming agents, 8% foam stabilizers and 2% thickeners. The polyether water-based PU foam coating has better softness and resilience. For the surface touch and windproof, the polyether-polycarbonate (PCDL) water-based PU foam coating is better.

關鍵字/Keywords

水性聚胺酯(Water-based PU)、泡沫塗佈(Foam Coating)、不回黏(Non-stickiness)、回彈性(Resilience)、防風性(Windproof)



前言

所謂的聚胺酯 (Polyurethane; PU)，是泛指高分子主鏈結構上含有許多胺基甲酸酯鏈節(-NHCOO-)，以異氰酸酯(Isocyanate)為硬鏈段(Hard Segment)、高分子長鏈多元醇(Polyol)為軟鏈段(Soft Segment)、短鏈二元醇(Diol)或二元胺(Diamine)為鏈延長劑(Chain Extender)之原料所反應合成之聚合物。可隨軟、硬鏈段組成之變化，賦予PU成型物廣泛之物性⁽¹⁾，已普遍應用於紡織、化工、汽車、醫療、交通、國防、航空、石油等領域，成為經濟發展和人民生活不可缺少的新興材料。

近十多年來，因為環保意識的抬頭及提倡，有機溶劑型PU的揮發性有機化合物 (Volatile Organic Compounds; VOC)問題受到重視，除了有機溶劑揮發造成環境危害之外，同時對於工業使用與存放造成威脅，在這樣的背景之下，溶劑型PU的發展已受限制，PU的研究與使用重心亦轉為以水作為溶劑的水性聚胺酯 (Water-based PU, 水性PU)。透過特殊親水並耐水解之結構設計，配合機械剪切力自行乳化的水性PU，亦稱為水性聚胺酯分散液(Polyurethane Dispersion; PUD)⁽²⁾。此減少與材料性能無直接關係之乳化劑的添加，並增加有效原子利用率的材料，為符合綠色化學的新一代高分子材料產品，目前已有包括永光化學在內的多家企業投入開發，應用於許多不同的產業領域之中。

紡織塗層加工，即是在織物之表面均勻地塗上一層或多層之高分子聚合物薄

膜，目的為賦予織物產品更具多功能性與多樣化，可改善織物之外觀和風格，其於織物應用上為發展已相當成熟之加工工藝，相關產品應用更是充斥在大眾週遭生活環境當中。織物塗層加工主要需具備有兩個物件，基布與塗層材料，而此兩個物件之選擇與搭配，則決定於織物產品之最終應用要求。其中又以塗層材料最具可變性而能夠賦予織物多樣化之功能，相同之基材可因塗佈不同塗層材料而有不同的效果與終端應用，因此塗層材料之使用與設計可謂織物塗層加工之重要核心與技術⁽³⁾。

水滴孔徑大小約在100~3,000 μm ，而泡沫(Foam)孔徑僅10~30 μm ，汗濕氣孔徑更小，約在0.0004 μm ，三者之間則有水滴 > 泡沫 > 汗濕氣的關係。水性PU經由泡沫加工處理並且應用在織物加工上，其泡沫產品具有質地柔軟(Soft Texture)、重量輕(Light-weight)、回彈性好(Resilience)、防風(Windproof)、透氣(Permeability)、透濕(Moisture)、防水(Waterproof)、保溫(Heat Insulation)、保暖(Warm)與環保等特性，可藉此提升紡織品的機能性與附加價值，如應用於服裝用料、人工皮革、沙發用布、鞋材、窗簾、地毯背膠、過濾材料等⁽⁴⁻⁷⁾。

理論

以水性PU為基底，使用物理或是化學手段加工，用於製造內部具有許多微小孔洞的聚胺酯製品，在介面上是屬於氣體作為分散相分散水性PU，根據發泡方式可分成下列三種^(4,8)：

①機械發泡：使用機械攪動在水性PU

▼表一 不同結構系統PUD的物性

	PUD-A	PUD-B	PUD-C	PUD-D	PUD-E
結構型態	聚醚			聚醚、聚碳酸酯	
離子性	陰離子				
固含量(%)	30 ± 2				
黏度(cP)	<100				
pH	8~9				
100%模量(kgf/cm ²)	10	30	20	35	20
延伸率(%)	1,000	500	600	500	700

中產生剪切力，藉此將空氣帶入PU中，形成泡沫結構。但也因為施予外力的關係，氣泡容易受到影響而破裂，所以需要額外添加穩泡劑（常用穩泡劑有琥珀酸鹽）來避免這樣的情形發生。

②物理發泡：在PU內部沒有化學反應產生下，藉由發泡劑（常用惰性氣體發泡劑有N₂、CO₂、CH₄、H₂）釋放氣體使PU轉變成泡沫狀。

③化學發泡：藉由發泡劑（常用化學發泡劑有偶氮化合物，如偶氮二甲醯胺(ADC)；醯肼類化合物，如4,4-二磺醯肼二苯醚(OBSH)；N-亞硝化合物，如N,N-二亞硝基五次甲基四胺(DPT)）的分解反應，同樣在PU內部產生氣體，製作成PU泡沫，同時可以藉由溫度控制發泡劑分解速度與氣體量。

實 驗

1. 材料

Evereco PUD（不同結構系統，物性彙整於表一）、起泡劑（硬脂酸鈉，陰離子性）、穩泡劑（琥珀酸鹽，陰離子性）、增稠

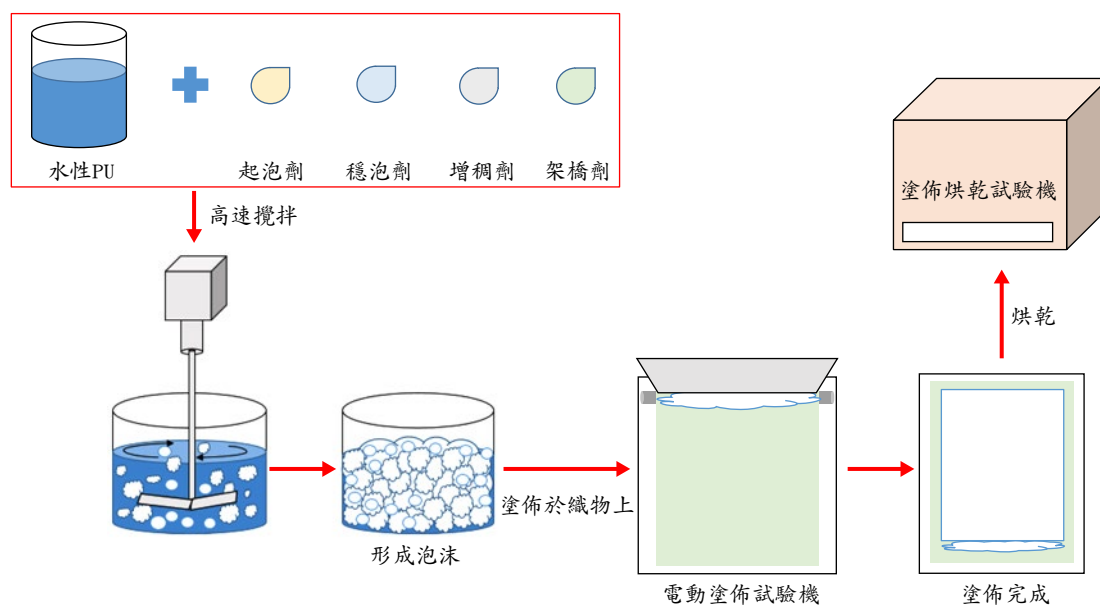
劑（PU型，非離子性）、架橋劑（聚氮丙啶型、異氰酸酯型）、20D針織布、75D平織布。

2. 泡沫塗佈加工

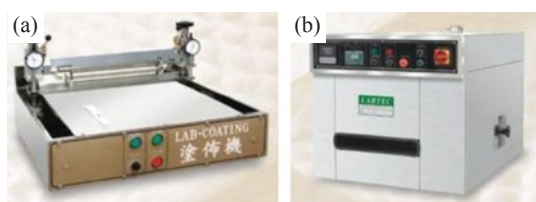
- ①將水性PU、起泡劑、穩泡劑、增稠劑與架橋劑置於容器中。
- ②利用高速剪切力攪拌混合形成泡沫。
- ③量測與記錄發泡比。
- ④PUD泡沫再依序靜置0、30、60、90、120 min後，於織物上進行塗佈。
- ⑤設定相同條件下（濕塗量、速度），以電動塗佈試驗機進行刮塗。
- ⑥置入塗佈烘乾試驗機烘乾（圖一為泡沫塗佈製程示意圖）。
- ⑦觀察塗層外觀且利用探索顯微鏡觀察內部氣泡孔洞變化。

3. 實驗、檢測設備及物性評估

- ①電動塗佈試驗機：LABTEC C-6（圖二(a)）。
- ②塗佈烘乾試驗機：LABTEC C-3（圖二(b)）。
- ③透氣性：ASTM D737。



▲圖一 泡沫塗佈製程示意圖



▲圖二 (a)電動塗佈試驗機；(b)塗佈烘乾試驗機

④回彈性：塗層用指尖測試回復效果。

結果與討論

1. 不同起泡劑、穩泡劑及增稠劑添加比例，對發泡比與穩泡時間之影響

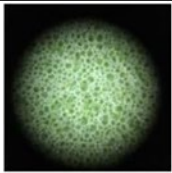
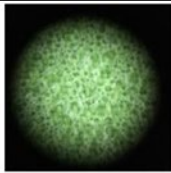
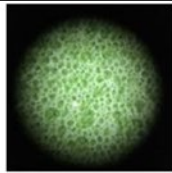
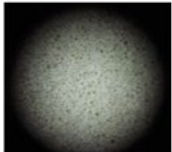
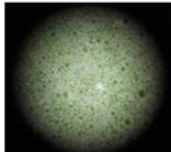
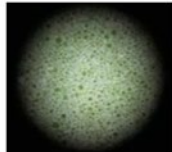
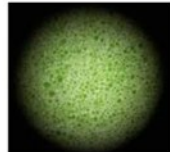
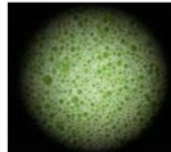
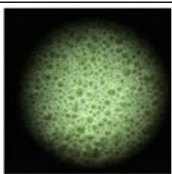
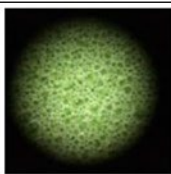
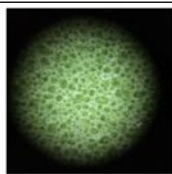
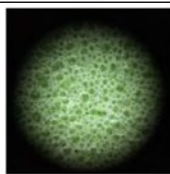
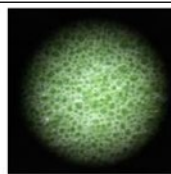
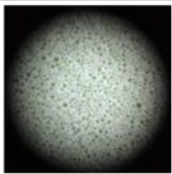
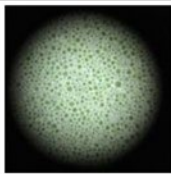
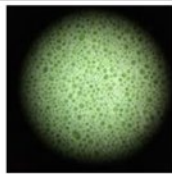
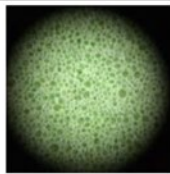
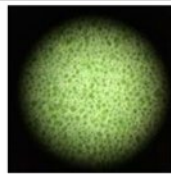
(1) 發泡劑、穩泡劑和增稠劑的交互作用對於發泡比之影響

不同起泡劑、穩泡劑及增稠劑添加比

▼表二 不同起泡劑、穩泡劑及增稠劑添加比例的發泡結果

實驗代號	起泡劑	穩泡劑	增稠劑	發泡比
1	2%	4%	1%	5.71
2	2%	4%	1.5%	5.36
3	2%	4%	2%	4.41
4	2%	8%	1%	4.55
5	2%	8%	2%	4.80
6	6%	4%	1%	4.54
7	6%	4%	2%	3.39
8	6%	8%	1%	4.33
9	6%	8%	2%	4.28

例的發泡結果如表二。經實驗結果得知，固定起泡劑2%、穩泡劑添加量為4%或8%的情況下，對於實驗整體來說，有提升發泡比的效果；但是起泡劑增加為6%時，發泡比呈現降低情形。於相同起泡劑、穩泡劑

實驗代號	水性PU泡沫配製後的塗佈時間				
	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min
1				NA	NA
7					
5					
9					

▲圖三 水性PU泡沫配製後不同塗佈時間的發泡塗層圖

添加量時，當增稠劑添加量較少，發泡比相對較高。於發泡劑2%、穩泡劑4%、增稠劑1%（實驗代號1）時，具有最大的發泡比。

(2) 發泡劑和穩泡劑的交互作用對於穩泡時間之影響

圖三為水性PU泡沫配製後不同塗佈時間的發泡塗層結果。經實驗結果得知，發泡比最高（實驗代號1）時，發泡塗層的氣泡孔洞越大，塗層也容易有缺陷產生，穩泡、可操作時間最短。相反地，發泡比最低（實驗代號7）時，氣泡孔洞小而緻密，穩泡時間較長。此外，隨攪拌配製後靜置的時間增加，發泡塗層的氣泡孔洞皆會越

大。相比起泡劑2%，起泡劑為6%時，發泡塗層外觀與氣泡明顯偏白色，靜置超過60 min後塗佈，塗層白度則會降低，推測與穩泡時間有關。而相較其他配比，於起泡劑2%、穩泡劑8%、增稠劑2%（實驗代號5）時，其於攪拌配製後長時間下，發泡塗層的外觀與孔洞均勻性較一致。

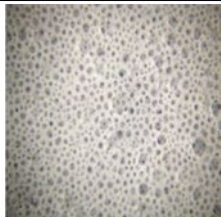
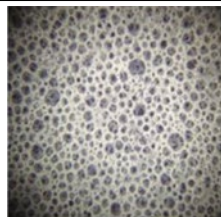
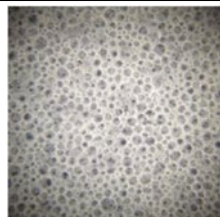
2. 添加不同系統架橋劑，對於發泡塗層的外觀與表面黏滯性探討

固定起泡劑添加量為2%、穩泡劑8%、增稠劑2%的情況下，進行兩種架橋劑系統的發泡塗層差異比較。經實驗結果得知，



▼表三 不同結構系統PUD於織物上的發泡塗層物性結果

	PUD-A	PUD-B	PUD-C		PUD-D	PUD-E
Polyol	聚醚	聚醚	聚醚		聚醚、聚碳酸酯	聚醚、聚碳酸酯
Polyol分子量	1,000	2,000	2,000		1,000、1,100	1,000、1,100
濕塗厚	40T	40T	40T	100T	40T	40T
表面黏滯性	黏滯	稍黏	稍黏		乾爽	乾爽
手感	柔軟	柔軟	最柔軟		較硬	稍硬
回彈性	PUD-C > E > B > D > A					
透氣值	—	—	49.5 cfm	17.4 cfm	10.9 cfm	11.0 cfm

架橋劑類型	聚氮丙啶型		異氰酸酯型	
濕塗量	60T	120T	60T	120T
塗層氣泡型態				

▲圖四 不同架橋劑系統的發泡塗層圖

使用聚氮丙啶型架橋劑，於氣泡型態、塗層外觀和手感來看，較為白色緻密，豐厚且具滑順手感。而使用異氰酸酯型架橋劑，則較為不白，無豐厚感，稍黏且具止滑感（圖四）。

3. 織物發泡塗層物性探討

表三為不同結構系統PUD的相關資訊，及其發泡塗層於織物上的物性結果彙整表，物性探討如下：

(1) 表面黏滯性

PUD-A為全聚醚聚醇(Polyol)系統PUD，Polyol分子量較小(分子量1,000)，發泡塗層表面黏滯性最明顯；PUD-B、C同

為全聚醚Polyol系統PUD，使用較大分子量Polyol(分子量2,000)，發泡塗層表面黏滯性較不明顯；PUD-D、E為聚醚、聚碳酸酯複合型聚Polyol系統PUD，發泡塗層表面觸感良好，無黏滯性。

(2) 手感(柔軟)

PUD-A、B、C皆為全聚醚Polyol系統PUD，手感柔軟，其中PUD-C結構中導入有機矽聚醚共聚物，手感更柔軟；PUD-D、E因結構具有較剛硬之聚碳酸酯Polyol，因此手感偏硬，其中PUD-E相較PUD-D，因聚碳酸酯Polyol比例較低，手感較軟。

(3) 回彈性



相較PUD-A，PUD-B、C使用較大分子量Polyol，回彈性較佳，其中PUD-C結構中導入有機矽聚醚共聚物，回彈性更佳；PUD-D、E結構具有較剛硬之聚碳酸酯Polyol，結構強度較全聚醚Polyol系統的PUD-A、B、C佳，故會影響回彈性，其中PUD-E的聚碳酸酯Polyol比例不高，因此影響回彈性程度較少。

(4) 防風 (透氣)

一般透氣性越好，表示防風指數越差，由Fragile試驗法得知，一般常用標準測試法規有ASTM D737、JISL1096-A、ENISO 9237。由測試結果得知，塗層厚度越厚，透氣值越小，防風性越佳(PUD-C)。相較全聚醚Polyol系統的PUD-C，具有聚碳酸酯Polyol的PUD-D、E，透氣值較小，防風性較佳，推測為所使用的聚碳酸酯Polyol為多官能度(2.8官)，水性PU的交聯度較高，發泡塗層較緻密所致。

結 論

①本研究於水性PU添加發泡劑2%、穩泡劑4%、增稠劑1%時，具有最大的發泡比。於起發泡劑2%、穩泡劑8%、增稠劑2%時，發泡塗層長時間下的孔洞均勻性較一致。添加不同架橋劑系統，發泡塗層呈現不同的外觀和手感。

②由不同結構系統PUD的發泡塗層於織物上之物性結果得知，全聚醚系統的手感(柔軟)較佳，且結構中導入有機矽聚醚共聚物，手感更柔軟，回彈性亦較佳。發泡塗層表面觸感及防風性部分，聚醚-聚碳

酸酯複合型系統的表面觸感乾爽，無黏滯性，且因交聯度較高，發泡塗層較緻密，防風性較佳。

③當纖維布料與泡沫塗佈(Foam Coating)薄膜結合，因塗佈薄膜層中含有氣孔，故手感較佳且具有豐厚感；同時擁有質輕、透氣、透濕、防風、防水、保暖、回彈性好等特色，在紡織塗層技術的應用範圍相當廣泛，如羽絨衣/外套、運動服、風衣、登山服等。此外，此技術亦可結合永光化學其他之環保型PU材料(如：濕氣反應型PUR貼合膠等)，進一步擴展其加工方式與應用之領域，讓綠色化學更容易走進我們的生活中！

參考文獻

1. 張昌榮、劉瑞珍、張芬梅，水性PU材料之結構與物性及機能性應用，工業材料雜誌，pp. 81-86，第343期，2015年7月。
2. 陳養民、李文安，水性聚氨酯合成工業研究發展，化工時刊，pp. 70，第2期，第20卷，2007年。
3. 陸玟伶、林信佑，水性塗層材料於織物塗層加工之契機，絲織園地，pp. 68-70，第84期，2013年4月。
4. 劉建宏，水性PU軟鏈段對於聚氨酯泡沫塗佈之影響，國立臺北科技大學有機高分子研究所碩士論文，2015年。
5. 林冠良，水性PU發泡膜物性之研究，崑山科技大學材料工程系碩士論文，2014年。
6. 陳美瑰、林煌山、廖盛焜，水性PU發泡塗佈膜面抗回黏及透氣性之研究，紡織綜合研究期刊，pp. 32-42，第3期，第22卷，2012年。
7. 羅瑞林，織物塗層技術，中國紡織出版社，pp. 67-69，2005年。
8. S. B. Lin, K. K. S. Hang, G. S. Wu, S. Y. Tsag and S. L. Cooper, Am. Chem. Sci. Polym. Mater. Sci. Eng., Vol.49, p.53 (1983).