

# 水性壓克力/蒙脫土奈米複材製備及其防蝕研究

劉時州<sup>1</sup>、葉瑞銘<sup>1</sup>、張恆壽<sup>\*2</sup>

## Preparation and Anti-Corrosion Property of Water-borne Acrylic Resin/Montmorillonite Clay Nanocomposite

Shir-Joe Liou<sup>1</sup>, Jui-Ming Yeh<sup>1</sup>, Herng-Show Chang<sup>\*2</sup>

### 摘要

此研究主要是採用直接混合方式將蒙脫土懸浮水溶液與水性樹脂直接攪拌混合，成功製備出水性壓克力/蒙脫土奈米複材，其中蒙脫土懸浮水溶液部分分別採用經親油性改質與未經改質兩種。所製備的複合材之蒙脫土分散行為經 TEM 觀察顯示都為奈米級分散。其中改質蒙脫土/樹脂奈米複材的 TEM 照片顯示仍有多數插層結構；而未改質蒙脫土與水性樹脂直接混合所得水性壓克力/蒙脫土奈米複材，在 TEM 照片中顯示蒙脫土是以完全脫層方式分散於樹脂中。此奈米複材薄膜 (50  $\mu\text{m}$ ) 經實驗發現均能隨蒙脫土含量增加而大幅降低氧和水分子滲透性，同時電化學腐蝕實驗結果也顯示隨蒙脫土含量增加能大幅降低腐蝕速率的結果。

關鍵詞：水性壓克力/蒙脫土奈米複材；插層；脫層；分子滲透性；防蝕性。

### ABSTRACT

Two series of polymer-clay nanocomposite (PCN) materials that consisted of water-borne acrylic resin and layered montmorillonite (MMT) clay were prepared by direct mixing of acrylic latex and aqueous MMT clay dispersion, in which the organophilic modified clay and the unmodified clay were used. The PCN materials were examined by wide-angle X-ray diffraction and transmission electron microscopy, both the intercalation and the exfoliation dispersion structure were found in the organophilic modified clay/polymer nanocomposites, but the unmodified MMT clays were found to be dispersed with exfoliation structure in resin matrix. In the molecular permeability analysis, the oxygen and water permeability of these PCN coating films (50  $\mu\text{m}$ ) were found to decrease with the increasing of clay amount. The corrosion rate of these PCN coatings on the cold-rolled steel were also found to decrease with the increasing of clay amount in the electrochemical corrosion study.

Keywords: Water-borne acrylic resin/montmorillonite clay nanocomposite; Intercalation; Exfoliation; Molecular permeability; Anti-Corrosion.

1 中原大學化學系

Department of Chemistry, Chung Yaun University.

2 中國鋼鐵公司新材料研發處有機材暨特用化學品組

Specialty Chemicals Section, New Materials Research & Development Dept., China Steel Corporation.

\* 連絡作者(herng.show@msa.hinet.net)

## 1. 前言

傳統上，高分子塗料已被廣泛使用於金屬材料的防腐蝕應用上，其防腐的機制主要是利用高分子本體做為物理阻隔 (Physical Barrier) 層，阻絕致銹因子 (氧、水) 的滲入，亦即是隔離陽極和陰極，防止銹蝕(電化學)反應發生。然而高分子塗層並非無法滲透，一旦塗層膜內部有孔隙產生，水氣及氧氣便會循著此一缺陷路徑長驅直入到達金屬基材表面，進而造成局部性的 (Localized) 金屬腐蝕現象。隔絕層要具有優異的致銹因子阻絕性通常要具備兩種特性：一為塗膜的緻密性，以降低致銹因子的擴散速率；一為塗膜厚度，以加長擴散時間。所謂緻密性塗膜即塗膜中分子排列結構較為緊密，自由體積 (free volume) 較低，而使得小分子通過塗膜層的擴散不易。緻密性塗膜的 formed 則決定於塗膜材質成分的選擇與搭配。

因此為有效增強高分子塗層的防腐蝕效果，許多研究嘗試添加層狀的無機材料於有機高分子塗層中<sup>[1]</sup>，希望藉由延長水氣及氧氣通過高分子塗層的路徑，以延緩金屬的腐蝕速率。

近年來許多高分子/蒙脫土奈米複合材料 (polymer/montmorillonite clay nanocomposite materials) 的研究報導，蒙脫土導入有機高分子基材時可有效提升基材的熱性質 (thermal stability)、機械性質 (mechanical strength)、難燃性 (flame resistance)、和阻氣性 (gas barrier) 等等<sup>[2-5]</sup>。蒙脫土在高分子基材中的分散程度可分為傳統微米級分散 (conventional)、插層分散 (intercalation)、以及脫層分散 (exfoliation) 三種類型<sup>[6]</sup>。前述物理性質提升主要是無機層材在高分子基材中達到奈米級 (插層或脫層形態) 的分散程度時，剛性的無機材質會限制柔性高分子鏈的運動，同時需要更高的溫度才會使得高分子鏈軟化而造成熱性質、機械性質、及尺寸安定性的提升。當無機層材在高分子基材中達到奈米級的分散程度時，最理想為脫層 (Exfoliation) 分散結構，會造成氣體分子通過高分子膜層時之路徑延長，如圖 1 所示，而更加強所謂 "阻氣" 的效果產生。若所阻的氣體為氧和水則可衍生到防蝕材料應

用上。

2001 年，葉瑞銘等將親油化改質後之蒙脫土以溶液分散 (solution dispersion) 的方式分散在聚苯胺樹脂<sup>[7]</sup>或聚甲基丙烯酸甲酯<sup>[8]</sup>中，探討此奈米級複合材料的阻氣、阻水和金屬防蝕性。研究顯示當親油化蒙脫土的比例增加時，其阻氣、阻水的性質有大幅提昇，而防蝕性也隨之大幅提升。

然而塗料系統使用有機溶劑在環保的考量上是一項不利的因素。所以此研究方向為製備較具環保導向的奈米級複合水性防蝕塗料，希望除了製備具優異防蝕性能的奈米級複合塗料並能同時兼顧環境保護的特點。

本研究試圖製備水性壓克力/蒙脫土奈米複合乳液，由於此奈米複材是以蒙脫土為無機添加物，所以將蒙脫土有效地分散於壓克力樹脂乳液中為本研究的重點，因為黏土之矽酸鹽層在壓克力樹脂乳液中之分散是否達到奈米級，將是奈米級複合塗料是否成功製備之主要關鍵。材料性質研究方面在於探討其透氣性、透水性及防銹性之可能變數，如蒙脫土插層或脫層程度、蒙脫土含量、蒙脫土分散粒徑等，以了解水性高分子/蒙脫土奈米複合塗料之防銹應用性能。

## 2. 實驗方法

### 2.1 實驗藥品

實驗中所用的蒙脫土 (montmorillonite) 為百康奈米公司所提供的 PK-805，CEC 值為 98 meq/100g。蒙脫土改質劑使用 Hexadecyltrimethyl ammonium chloride (ACROS)，99%。並採用 37% Hydrochloric acid (Riedel-de Haen) 為 pH 調整劑。配製複材塗料用的樹脂乳液為中鋼公司新材料研發處實驗室合成的酸性壓克力樹脂乳液 (P2)，固含量為 33.17%，重量平均粒徑為 145 nm，pH = 1.7。

### 2.2 層狀蒙脫土之陽離子改質

取 Na<sup>+</sup>-MMT (PK-805) 10 克，加入盛有 1000

mL 去離子水的 2 L 燒杯中攪拌 10 小時，再以 1 N 之  $\text{HCl}_{(aq)}$  調 pH 值 = 3 ~ 4，攪拌 24 小時，讓黏土完全膨潤開來。改質劑添加量依下列公式計算：

$$\frac{\text{黏土CEC值(meq)}}{100\text{g}} \times \text{Clay克數} \times 1.5 \text{ 倍}$$

$$= \frac{\text{改質劑克數}}{\text{改質劑分子量}} \times 1000$$

由上式計算可得改質劑 Hexadecyltrimethyl ammonium chloride 應取 4.7 克，將此溶入 200 mL 去離子水中攪拌至改質劑完全溶解，慢慢將此溶液滴加到黏土溶液中，攪拌 24 小時。然後離心過濾 (10000 rpm ; 30 min)，取下層黏土，再加入於盛有 500mL 去離子水的燒杯中攪拌 0.5~1 小時，再離心過濾，重複此一清洗步驟 5~6 次。最後取出下層黏土，放入 40°C 真空烘箱中約 1~2 天，至完全乾燥後研磨粉碎，便得到親油性改質型黏土備用 (M-PK-805)。

## 2.3 水性壓克力樹脂/蒙脫土奈米複合塗料製備

本研究分別採用改質蒙脫土與未改質蒙脫土搭配水性壓克力乳膠，以直接混合方式製備水性壓克力樹脂/蒙脫土奈米複合塗料。取定量改質黏土或未改質黏土 + 100 mL 去離子水，室溫下，攪拌 24 小時。再加入 10 g 水性壓克力樹脂，並持續攪拌 24 小時。實驗配方列於表 1 與表 2。

將上述水性壓克力樹脂/蒙脫土奈米複合塗料塗佈於玻璃片或冷軋鋼片上，置於高溫爐中升溫至 100 °C，維持 2.5 小時，然後降溫至室溫，形成厚約 50  $\mu\text{m}$  的薄膜。自玻璃片上取下壓克力樹脂/蒙脫土奈米複材薄膜，進行 X-ray 分析、TEM 觀察、及透氣性測定等。塗佈於冷軋鋼片上的試片則直接進行電化學腐蝕試驗。

## 2.4 特性分析

首先對壓克力樹脂/蒙脫土奈米複材薄膜進行 X-ray 分析 (X-ray 繞射儀，URIGAKU，D/MAX-3COD-2988N)，測量改質前與改質後的 Clay 與 Sample 之  $d$ -spacing。然後對奈米複材進行包埋切片，以滲透式電子顯微鏡 (Transmission Electron Microscopy，JEOL，JEM1200EX II) 觀察高分子中黏土的分散狀態。

複材薄膜的氧和水氣滲透性分別採氣體滲透分析儀 (Gas Permeability Analyzer，GPA) 和水氣滲透分析儀 (Vapour Permeability Analyzer，VPA) 進行測定，由中原大學薄膜中心技術支援。

各塗膜鋼片樣品之腐蝕電位 (corrosion potential,  $E_{corr}$ )、腐蝕電流 (corrosion current,  $i_{corr}$ )、極化電阻 (polarization resistance,  $R_p$ )、及腐蝕速率 (corrosion rate,  $R_{corr}$ , MPY) 等數據是採用 Voltlab model 21 potentiostat/galvanostat (Radiometer Copenhagen) 來進行量測計算。測量計算細節詳見葉瑞銘研究室先前研究文獻<sup>7,81</sup>。

## 3. 結果與討論

### 3.1 黏土層分散形態

黏土層間距離 ( $d$ -spacing) 是否有因水性壓克力樹脂或是改質劑的進入而撐開，可以藉由 X-ray 繞射分析圖譜，依布拉格定律  $n\lambda = 2d \sin \theta$  來計算分析。改質的黏土 (M-PK-805) 經 X-ray 繞射儀分析顯示 (圖2)，改質劑已將  $\text{Na}^+$ -MMT 的層間距由原來的 1.26 nm ( $2\theta = 7.0$ ) 撐開至 1.86 nm ( $2\theta = 4.7$ )。

其次，為了解所製備的水性壓克力樹脂/蒙脫土複合塗膜中黏土層間的分散是呈插層分散 (intercalation) 或是脫層分散 (exfoliation)，對 CLWA 和 CWAx 兩系列的複合塗膜進行 X-ray 繞射分析。然而 CLWAx 與 CWAx 二系列奈米複材的 X-ray 繞射圖譜 (圖2) 中並無任何明顯的 XRD peak，表示著黏土層間距離可能已超過儀器 4.5 nm 的偵測上限。初步判斷改質或未改質的蒙脫土在水性壓克力樹脂

中 (CLWAx 與 CWAx 二系列)的分散可能都達到奈米級的分散，黏土層間距已超出 XRD 的觀測範圍。

為證實所製備的水性壓克力樹脂/蒙脫土複合塗膜中黏土層間的分散是否為奈米級的脫層分散，最直接的方式就是進行 TEM 觀察水性壓克力樹脂/蒙脫土奈米複材內黏土層的分散情況。因此分別選取 CLWA3 與 CWA3 做「包埋」試片，進行 TEM 觀察，結果顯示於圖3，照片中黑線條的部份即為黏土層。

圖 3(a) 和 (b) 分別為 CLWA3 與 CWA3 的 5 萬倍 TEM 照片。在圖 3(a) 中 CLWA3 內黏土層堆疊的厚度約為數奈米至數十奈米，顯示黏土的分散大部份為脫層分散，但仍有部份為插層分散狀態；而圖 3(b) 顯示 CWA3 的黏土層幾乎都呈現脫層分散。再檢視 1 萬倍的 TEM 照片，觀察較大區域的黏土層分佈均勻性，比較圖 3(c) 與圖 3(d) (分別為 CLWA3 與 CWA3)，也顯示 CWA3 之黏土層分佈均勻性明顯地優於 CLWA3，且其插層分散之部份明顯少於 CLWA3。由於兩者主要差異為黏土改質與否，推測可能原因如下所述。

蒙脫土為親水性物質，其矽酸鹽層可輕易分散懸浮於水中，甚至以完全脫層的單層矽酸鹽層形式分散於水中。當未經改質的蒙脫土分散於樹脂乳液水相時，水相中具有界面活性的水溶性長鏈分子可吸附於單層矽酸鹽層表面，並造成單層矽酸鹽層在水分揮發成膜過程中不易再凝集，而能以完全脫層方式穩定分散於樹脂之間。而經改質的蒙脫土由於改質劑分子一端為疏水基，因而無法完全以脫層方式分散於樹脂乳液中，同時具有界面活性的水溶性長鏈分子並無法有效率的吸附於單層矽酸鹽層表面，致使成膜時仍有部分蒙脫土未能以單層方式穩定分散於樹脂之間，甚至有些單層矽酸鹽層會再度凝集。

經由前述觀察分析，CWAx 系列的蒙脫土矽酸鹽層是以脫層形式均勻地分散於樹脂基材中，層間距多在數十至數百 nm 之間。此與日本 Toyota 公司所開發應用到汽車零件上的尼龍 6/ 蒙脫土奈米複合材料<sup>9-12)</sup>的分散情形相當，達到近乎完全分散型奈米

複合材料的等級。

### 3.2 小分子滲透性

一般的文獻報告<sup>12, 13)</sup>大多以插層型奈米複合材料或是插層型與脫層分散型同時存在的奈米複合材料為主；而大部分脫層分散的矽酸鹽層將會增加氧氣與水氣在滲透時所需的時間，並增加氧氣與水氣在滲透時所需行走的路徑距離，因而提升其抗腐蝕的效果。因此推測本研究中所製備的水性壓克力樹脂/蒙脫土奈米複材應該也會有相當程度的降低氧氣與水氣的滲透性。

針對厚約 50  $\mu\text{m}$  的 CLWAx、CWAx 二系列奈米複材、以及純樹脂薄膜，進行氧氣和水氣的滲透性測定實驗。圖 4 為氧滲透率隨複材中蒙脫土含量的變化情形，隨著蒙脫土含量增加，氧滲透率由不含蒙脫土的 0.524 barrer 降低至含 5% 蒙脫土的 0.380 barrer (CLWA5) 和 0.357 barrer (CWA5)，約降低了 40%，其中未經改質蒙脫土複材(CWAx)的滲透率也都較改質者 (CLWAx) 為低。而圖 5 為水氣滲透率隨蒙脫土含量的變化情形，同樣也是隨著蒙脫土含量而降低，並有趨近於定值的現象。而其中未改質蒙脫土複材 (CWAx) 的水氣滲透率在蒙脫土含量 1 % 時，即已由不含蒙脫土的 772  $\text{g}/\text{m}^2\text{-h}$  大幅降至 342 $\text{g}/\text{m}^2\text{-h}$ ，已相當接近 5% 的 279 $\text{g}/\text{m}^2\text{-h}$ ，同時也低於含 5% 改質蒙脫土複材 (CLWA5) 的 424 $\text{g}/\text{m}^2\text{-h}$ 。

歸納上述結果，不論是氧氣或水氣，奈米複材的滲透阻絕特性都會隨著蒙脫土的含量增加而提昇；同時在相同蒙脫土含量時，未改質蒙脫土複材 (CWAx) 系列的阻氣性都比改質蒙脫土複材 (CLWAx) 系列者來得較佳。

蒙脫土不論以脫層或是插層的形式分散於高分子中，均會增加氧氣與水氣在滲透時所需的時間，亦即滲透時所需行走的路徑距離。而 CWAx 系列的阻氣性效果優於 CLWAx 系列的結果，對照圖 3 的 TEM 圖中黏土層分散情形，也證實樹脂中的黏土層分散以脫層分散方式愈多者，CWAx 系列，氣體或水分子在複材中的擴散路徑愈長，而更能降低氣體或水分子在複材中的滲透速率，致使水和氧氣的阻

絕性質大幅提升。

### 3.3 電化學腐蝕試驗

由前述氧氣和水分子滲透性降低的結果預測，此奈米複材薄膜披覆於金屬表面時應會有較好的耐腐蝕效果。因此針對 WA、CLWAx、以及 CWAx 系列等樹脂乳液塗覆於冷軋鋼片上所製成的塗膜鋼片，進行電化學腐蝕測試實驗。所測得腐蝕電位 ( $E_{corr}$ )、極化電阻 ( $R_p$ )、腐蝕電流 ( $i_{corr}$ )、及腐蝕速率 ( $R_{corr}$ ) 等數據結果整理列於表3中。

由表中各項性質可觀察到純壓克力樹脂 (WA) 塗膜鋼片的耐蝕性都比未塗覆冷軋鋼片者較佳，是由於樹脂塗膜提供一定程度的遮蔽 (barrier) 防蝕效果。檢視 CLWAx 和 CWAx 系列，隨著樹脂中蒙脫土含量的增加，腐蝕電位與極化電阻為增加趨勢，腐蝕電流及腐蝕速率為降低趨勢，顯示分散於樹脂中的蒙脫土矽酸鹽層確實能加強樹脂塗膜的遮蔽效應而提昇耐蝕性。

再比較 CLWAx 與 CWAx 二系列奈米複材的腐蝕電位、腐蝕電流、極化電阻、及腐蝕速率，明顯觀察到 CWAx 系列的各項腐蝕數據均顯示其耐蝕性較 CLWAx 系列為佳。尤其含 3% 蒙脫土之 CWA3 的腐蝕速率，0.78 MPY，還略低於 5% 蒙脫土之 CLWA5 的 0.85 MPY 腐蝕速率。顯示 CWAx 系列的蒙脫土矽酸鹽層絕大部分是以脫層方式分散於樹脂中，相對於 CLWAx 的部分仍為插層分散，此更能有效地阻止水氣與氧氣的滲透，而使得金屬表面更難發生氧化現象的腐蝕行為。

## 4. 結論

本研究中分別將未改質和經過改質的蒙脫土與壓克力樹脂乳液直接混合，乾燥成膜後可製得奈米級分散的水性壓克力/蒙脫土複合材。其中經過改質的蒙脫土所得的奈米複材 (CWAx) 中，其蒙脫土矽酸鹽層是以插層型和脫層型方式同時分散於複材中。而未改質的蒙脫土所得的奈米複材 (CWAx)，

其蒙脫土矽酸鹽層幾乎都以完全脫層方式分散於複合材料中。此差異形成的原因推測為，在樹脂乳液水相中具有界面活性的水溶性長鏈分子能吸附於未改質的單層矽酸鹽層表面，並造成單層矽酸鹽層在水分揮發成膜過程中不易再凝集，而能以完全脫層方式穩定分散於樹脂之間。

在分子滲透性方面，不論是氧氣或水氣，奈米複材的滲透阻絕性都會隨著蒙脫土的含量增加而提昇。蒙脫土不論以脫層或是插層的形式分散於高分子中，均會增加氧與水分子的滲透時間，即滲透路徑距離。複材中的蒙脫土以脫層分散方式愈多者，氣體或水分子在複材中的擴散路徑會愈長而更降低滲透速率，因此未改質蒙脫土複材 (CWAx) 會比改質蒙脫土複材 (CLWAx) 系具有更佳的水和氧氣阻絕性質。

由於水性壓克力/蒙脫土奈米複材具有較佳的氧氣和水分子滲透阻絕性結果，預期此奈米複材薄膜於金屬表面應能提供較佳的耐蝕效果，並經電化學腐蝕實驗證實。而 3% 未改質蒙脫土直接與壓克力樹脂乳液混合所得奈米複材塗膜試片的腐蝕速率更為原純樹脂塗膜試片的 1/14，大幅提昇防蝕效能。顯示本研究中水性壓克力/未改質-蒙脫土奈米複合乳液製備方式應可應用於防蝕樹脂塗料中以提昇塗膜防蝕能力。

## 參考文獻

1. P. Li, T. C. Tan, and J. Y. Lee, Synth. Met., 88 (1997) 237.
2. T. Lan, P. D. Kaviratna, and T. J. Pinnavaia, Chem. Mater., 6 (1994) 573.
3. H.-L. Tyan, Y.-C. Liu, and K.-H. Wei, Chem. Mater., 11 (1999) 1942.
4. Z. Wang and T. J. Pinnavaia, Chem. Mater., 10 (1998) 3769.
5. J. W. Gilman, C. L. Jackson, A. B. Morgan, R. Jr. Hayyis, E. Manias, E. P. Giannelis, M. Wuthenow, D. Hilton, and S. H. Phillips, Chem. Mater., 12

(2000) 1866.

6. 蔡宗燕，化工資訊，2月刊，1998.
7. J.-M. Yeh, S.-J. Liou, C.-Y. Lai, P.-C. Wu, and T.-Y. Tsai, *Chem. Mater.*, 13 (2001) 1131.
8. J.-M. Yeh, S.-J. Liou, C.-Y. Lin, C.-Y. Cheng, Y.-W. Chang, and K.-R. Lee, *Chem. Mater.*, 14 (2002) 154.
9. Y. Kojima, A. Usuki, M. Kawasumi, A. Okada, T. Kurauchi, and O. Kamigaito, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, 31 (1993) 1755.
10. A. Usuki, Y. Kojima, M. Kawasumi, A. Okada, Y. Fukushima, T. Kurauchi, and O. Kamigaito, *J. Materials Res.*, 8 (1993) 1179.
11. A. Usuki, A. Koiwai, Y. Kojima, M. Kawasumi, A. Okada, T. Kurauchi, and O. Kamigaito, *J. Applied Polym science.*, 55 (1995) 119.
12. N. Hasegawa, H. Okamoto, M. Kato, A. Usuki and N. Sato, *Polymer*, 44 (2003) 2933.
13. W. L. Ijdo and T. J. Pinnavaia, *Chem. Mater.*, 11 (1999) 3227.

收到日期：2004年7月31日

修訂日期：2005年2月1日

接受日期：2005年2月21日

表1. 使用改質黏土系列(CLWAx)。

Table 1 Recipes of the organophilic modified clay/polymer nanocomposites.

Sample	M-PK-805 (g)	P2 latex (g)	Water (mL)
WA	0	10	100
CLWA05	0.016	10	100
CLWA1	0.033	10	100
CLWA3	0.100	10	100
CLWA5	0.165	10	100

表2. 使用未改質黏土系列(CWAx)。

Table 2 Recipes of the unmodified clay/polymer nanocomposites.

Sample	PK-805 (g)	P2 latex (g)	Water (mL)
CWA05	0.016	10	100
CWA1	0.033	10	100
CWA 3	0.100	10	100
CWA 5	0.165	10	100

表3. CLWA x 與 CWAx 二系列之電化學腐蝕數據。

Table 3 Electrochemical corrosion experimental data of CLWAx & CWAx series.

Sample	$E_{corr}$ (mv)	$R_p$ (Kohm.cm <sup>2</sup> )	$I_{corr}$ (nA/cm <sup>2</sup> )	$R_{corr}$ (MPY)	Thickness (μm)
Bare	-635.9	$2.6 \times 10^0$	$2.3 \times 10^4$	44.29	--
WA	-607.6	$8.9 \times 10^0$	$5.7 \times 10^3$	10.97	50
CLWA05	-502.2	$3.5 \times 10^1$	$3.8 \times 10^3$	7.31	51
CLWA1	-471.5	$4.2 \times 10^1$	$2.9 \times 10^3$	5.58	50
CLWA3	-358.2	$4.9 \times 10^1$	$2.3 \times 10^3$	4.42	50
CLWA5	-132.5	$1.3 \times 10^2$	$4.4 \times 10^2$	0.85	51
CWA05	-394.1	$4.6 \times 10^1$	$2.2 \times 10^3$	4.23	52
CWA1	-376.4	$5.0 \times 10^1$	$1.3 \times 10^3$	2.52	50
CWA3	-222.6	$8.2 \times 10^1$	$4.1 \times 10^2$	0.78	51
CWA5	-63.6	$1.5 \times 10^2$	$3.6 \times 10^2$	0.69	51

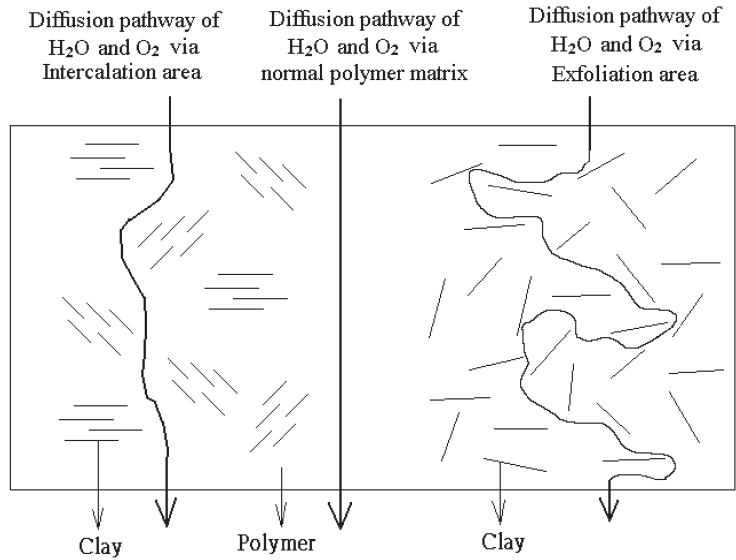


圖1 小分子(O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O)在不同蒙脫土分散形態的高分子/蒙脫土奈米複合材中的擴散路徑示意圖。

Figure 1 The diagram of O<sub>2</sub> & H<sub>2</sub>O molecular diffusion paths in polymer/clay nanocomposites for each different clay dispersion structures.

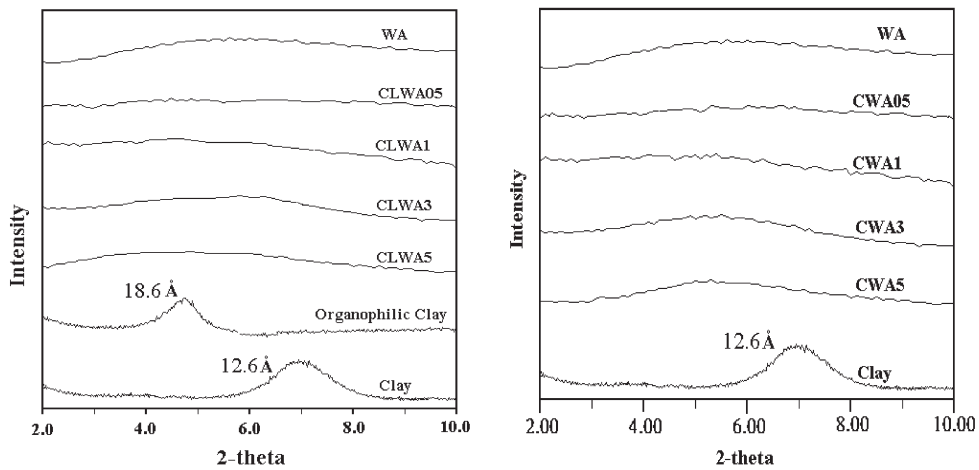


圖2 CLWax 與 CWAx 系列奈米複材之 X-ray 繞射圖比較。

Figure 2 X-ray diffraction patterns of two series nanocomposites, CLWax & CWax.



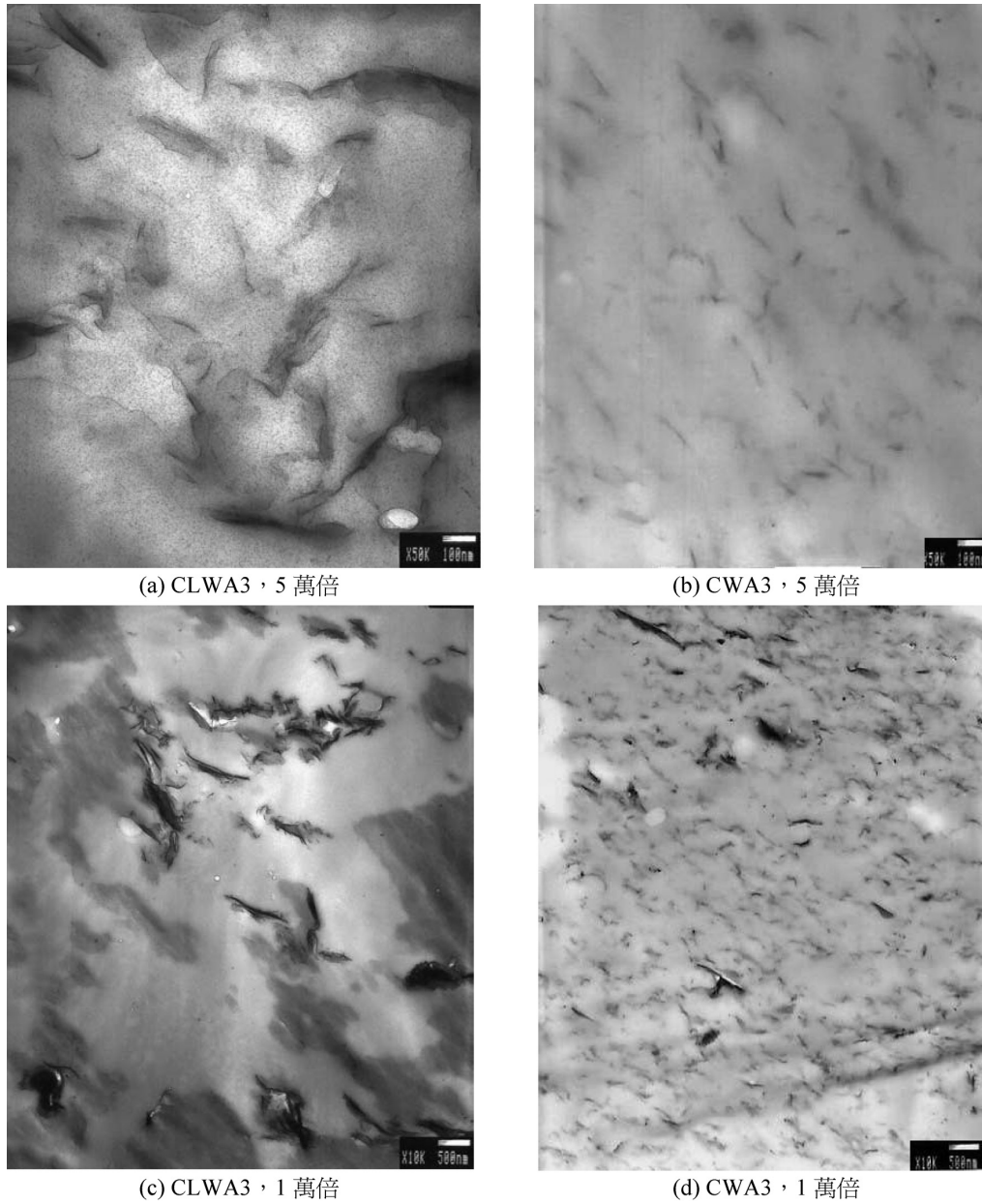


圖3 水性壓克力樹脂/蒙脫土奈米複合材之穿透式電子顯微鏡照片。

Figure 3 TEM of water-borne acrylic resin/montmorillonite clay nanocomposite; (a) CLWA3, 50000X, (b) CWA3, 50000X, (c) CLWA3, 10000X, (d) CWA3, 10000X.

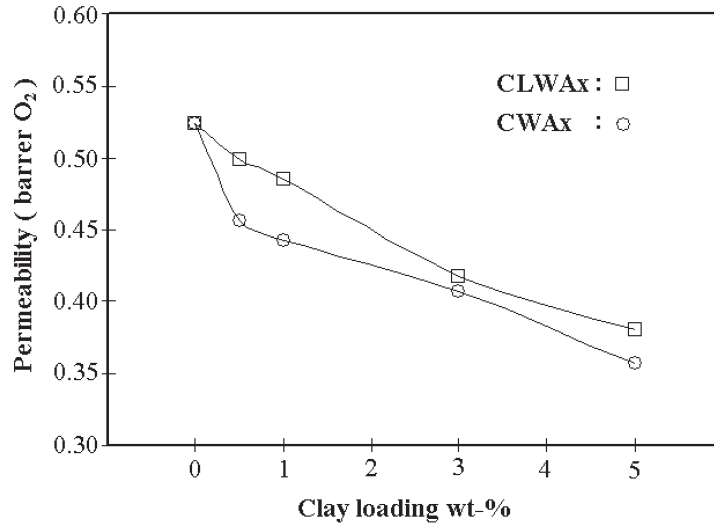


圖4 CLWax 與 CWax 二系列之氧氣滲透圖。

Figure 4 Permeability of O<sub>2</sub> as a function of the clay content for CLWax & CWax.

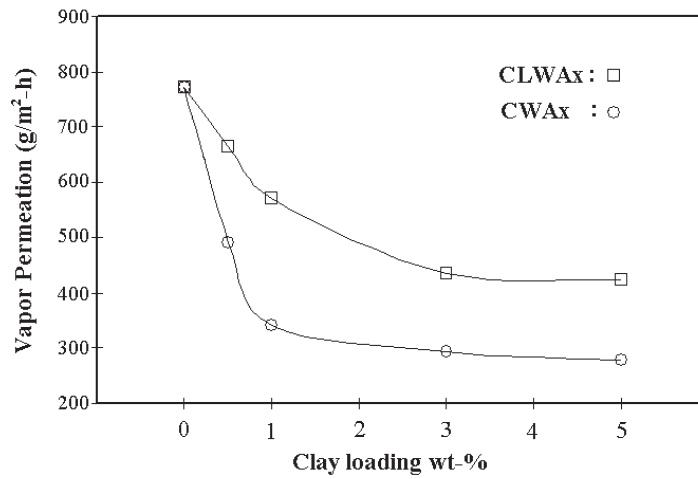


圖5 CLWax 與 CWax 二系列之水氣滲透圖。

Figure 5 Permeability of H<sub>2</sub>O as a function of the clay content for CLWax & CWax.