

開採向陽之寶—絹雲母礦

Discover Treasure of Hsiang-Yang Sericite Deposit

陳家齊 國立臺灣海洋大學應用地球研究所 方建能 國立臺灣博物館研究組

陳惠芬 國立臺灣海洋大學應用地球研究所 林怡君 向陽礦業股份有限公司

Chen, Cha-Chi Institute of Applied Geosciences, National Taiwan Ocean University

Fang, Jiann-Neng Department of Research, National Taiwan Museum

Chen, Hwei-Fen Institute of Applied Geosciences, National Taiwan Ocean University

Lin, I-Chun Sunshine Mineral Company

緣起

臺東縣海端鄉利稻村西北方至向陽地區之間蘊藏豐富的絹雲母礦，儲量達三千萬噸，可開採量達一千五百萬噸。目前由向陽礦業股份有限公司進行開採，礦種屬於絹雲母-葉蠟石-石英片岩。向陽礦業公司利用礦區及選礦廠兩地海拔高度不同的位能差，藉由礦區水洗後的水流攜載礦物粉體，再經由管線進行運輸至遠方的選礦廠，節省掉一般利用卡車載運貨物的運輸費用。絹雲母礦經洗選、過篩、脫水後秤重裝袋即為成品，純度可達90%以上。絹雲母礦經過加工處理可應用於防火隔熱材料、電絕緣材料、化妝品、工程塑膠、導熱散熱塑膠、功能性紡織品、有機農業等。完成開採作業區域之後續處理，施以護坡工程並種植植被，達成兼具發展與永續的概念。

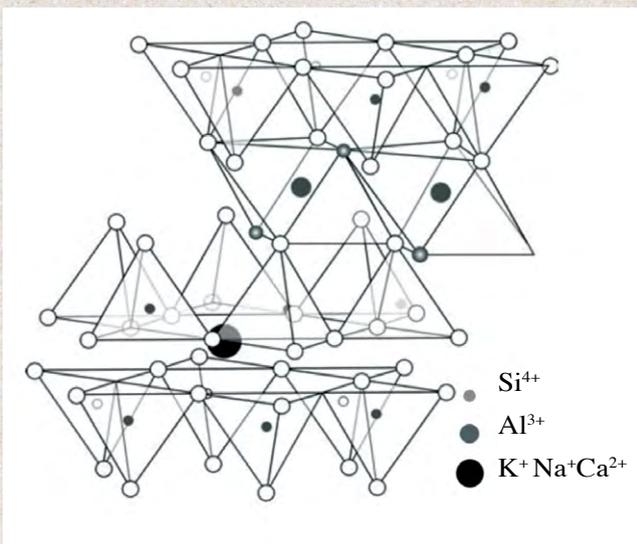


圖1 雲母結晶體結構，單元薄層間夾帶著大顆的陽離子(如K⁺、Na⁺、Ca²⁺等離子)，圖例以黑色點表示。

絹雲母

雲母類礦物為2:1型層狀構造矽酸鹽類礦物，常見有黑雲母和白雲母。雲母的晶體結構，是以兩層的矽氧四面體片中間夾一層鋁氧八面體的層狀結構為基本單元，如圖1所示。在雲母的四面體片中約有1/4 Si⁴⁺ 被Al³⁺ 替代，所產生的負電荷，由單元薄層之間所填充K、Na、Ca等陽離子平衡。由於陽離子填充，所以單元層之間距較大，層間以離子鍵結合。由於矽氧四面體的內鍵結力很強，相形之下，層與層之間的鍵能較弱所以容易沿著層面剝落；而其結構內的矽氧四面體與鋁氧八面體以共價鍵結合，因此鍵能較強，不易破壞。絹雲母為銀白色鱗片狀微細結晶的白雲母，因顆粒很細具有絲絹光澤而稱為絹雲母，其化學成分與結晶構造皆與白雲母相同，化學式為KAl₂(Si, Al)₄O₁₀(OH)₂，屬單斜晶系。白雲母經常形成於酸性火成岩和變質岩中，如花崗岩、片岩等，也因搬運風化作用形成於一般砂岩中。但這些成因下的白雲母顆粒較粗大，臺灣東部的白雲母則產於石英雲母片岩中，乃受區域變質作用形成，也有受熱液換質作用形成細顆粒的絹雲母。目前向陽礦業公司開採的部分為熱液換質作用成因類型，屬於顆粒極細的絹雲母。

絹雲母開採及運送

向陽絹雲母礦為臺灣唯一開採之雲母礦區，位於開採礦區下方一公尺以下皆為新鮮的灰色泥質絹雲母礦，由於顆粒極細與空氣接觸後容易氧化變成黃色，為防止雲母礦快速氧化，所以通常礦區開採



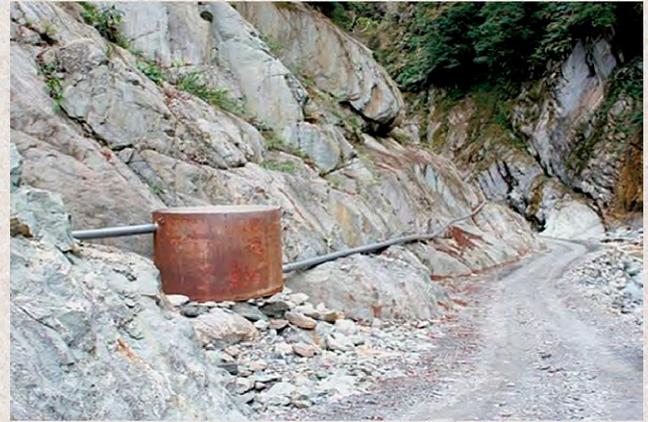
(a)



(b)



(c)



(d)

圖2 (a)注入山泉水與礦砂混合攪拌;(b)螺旋分級機作業,將絹雲母礦粉碎;(c)位於河谷間泥漿的運送管線;(d)設置於管線中的減壓桶。

為乾季較佳。採礦方式以露天階段式開採，開採影響範圍小，皆在相同區域循序往下層開挖。本礦區的絹雲母礦脈賦存狀況特殊，係層狀高傾角侵入圍岩。開採時不使用炸藥，而是以挖土機將原礦挖出。礦區裡利用挖土機鏟裝底下的礦砂，再利用螺旋分級機進行初選將絹雲母原礦洗選成礦漿並與脈石分離。注入山區乾淨的山泉水一同攪拌，如圖2(a)所示。進行礦砂的初步分選，重量較重的碎渣會由前方出口排出，如圖2(b)。洗出之碎渣直接回填原採掘地，及選用當地原生赤楊進行植生綠化。

絹雲母水洗成礦漿之後，重量較輕顆粒較細的絹雲母顆粒隨著水流經6"鐵管或PVC管直接輸送至3公里外的選礦廠進行精選，如圖2(c)為沿途輸送的管線。礦漿藉著礦區及選礦廠兩地海拔高低落差350公尺的位能差進行運輸，運輸過程中，礦漿中的絹

雲母顆粒受到不斷的碰撞會越磨越細。此外，輸送路程中設有減壓桶做為緩衝，如圖二(d)所示。此輸送方法不需額外使用任何電力，節省運輸所需的能源，因而降低運輸成本，並且同時也避免車輛運送時對沿途道路之破壞及污染。

絹雲母選礦作業流程

絹雲母礦料經由上述礦床選礦及管線運送至低處的選礦廠，進行選礦作業，選礦流程包含：

1. 收集由上游運輸下來的絹雲母礦泥漿，此時的絹雲母泥漿還含有其他非絹雲母礦物或較大顆粒的絹雲母礦。接著利用比重洗選的方式來進行粒徑分離，分選懸浮在水層表面的片狀或比重較小且顆粒較細的絹雲母及黏土礦物；而未通過篩選的大顆粒礦物則被送至研磨機，經研

磨製程將大顆粒的礦石磨細，接著再送回洗選槽重新篩選。

2. 利用靜電洗選並使用篩網(325mesh)將洗選後的絹雲母礦進行過濾，片狀的絹雲母漂浮於水面上，隨著溢流水槽的水流過篩網，其中顆粒較細的絹雲母顆粒則通過篩網；而粗顆粒絹雲母無

法通過篩網，直接由下方水溝排出，進入回收池中，並且再送回洗選槽，重新進入選礦流程。

3. 接著，選出的絹雲母礦被注入大沉澱池中，緩慢沉澱於池底，完成篩選及收集流程。
4. 將沉澱池底部之絹雲母取出，進行脫水作業，利用幫浦加壓將絹雲母礦泥漿打入模具內，模具外

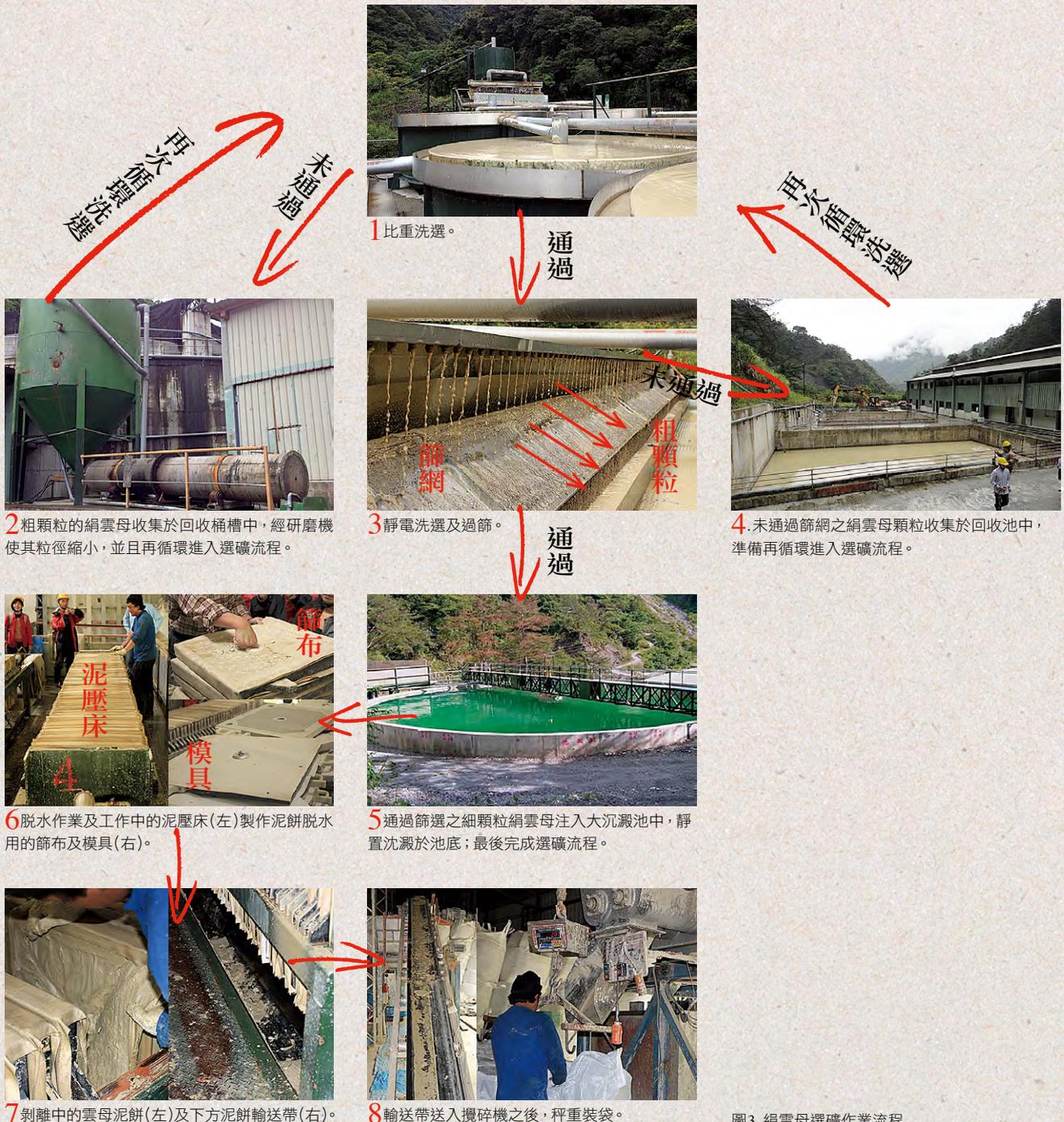


圖3 絹雲母選礦作業流程

- 佈有篩布。絹雲母礦被送至泥壓床，將內含水分壓出，產出內含水分30%之泥餅，此為初級產品。
5. 脫水後的絹雲母呈泥餅狀，將泥餅與篩布分離，直接由下方輸送帶運送至攪碎機。
 6. 絹雲母礦泥餅送入攪碎機後成為塊狀，經裝袋秤重後，則可出貨。每袋一噸重，以便日後加工製造所需要之相關產品。

絹雲母礦區復育

為了減少對當地環境景觀之影響，採礦作業採用露天階段分期分區開採，開採過程同時進行水土保持作業，及分區植生綠化工作。8年來的植生綠化成

功實例可供證明，向陽礦區之絹雲母礦開採行為對環境生態影響相當小，並且後續的綠化植生作用讓原本劈理發達的片岩崩壁更加穩固。

沿著溪谷和道路前行，看見兩側的山壁竟是光禿禿崩壁和落石，溪床上也充滿了兩側山壁崩下來的岩石。每當颱風過境，當地溪床迅速遭土石填滿，淤積嚴重。因此颱風季過後，向陽礦業公司經常需要出動挖土機整地。一進入礦區，印入眼簾的盡是綠化後的成果，證實只要用心經營，開礦作業也能兼顧環保。下圖4(a)中央為絹雲母礦開採區，周圍兩旁為當地原生樹種進行復育(圖4(b))。經由螺旋分級機排出的碎渣脈石再由挖土機進行山坡地回填動作(圖4



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖4 (a),(b) 絹雲母礦脈階段開採及維護;(c)以碎渣脈石直接回填原採掘地;(d),(e),(f)臨時排水設施。



(a)



(b)



(c)



(d)

圖5 (a)初期綠化復育;(b),(c)中期綠化復育;(c)綠化成林;(d)綠化成林間道路。

(c)。為嚴防雨季造成周遭地質環境排水不易，向陽礦業公司架設臨時排水設施，如圖4(d)、(f)、(e)。下圖5(a)-(d)為植生復育各階段成果圖，其中(a)為現階段開採礦區周圍剛種植植被的初期情形；(b)為經過一段時間後中期綠化復育及長時間綠化成林(c)；(d)為道路兩旁復育成果，綠化成林間道路。

絹雲母特性及應用

絹雲母具有超細片狀結構，粉末細滑柔順，具有低硬度、高傳熱、低熱容、高絕緣等特性，並具有抗紫外線(UV)與放射遠紅外線(FIR)等功能。絹雲母礦經前述的選礦過程，包含採集、洗選、過篩、沉澱、脫水至成品後，依照不同的加工程序製成各種不同的絹雲母產品。表一中列出各種絹雲母產品及其適合之應用領域。

經篩選製程所得之最初級產品為氧化雲母，其可運用於造紙、建材、農業等。農業應用中，絹雲母作為天然土壤改良資材，其夾層中的鉀離子為天然鉀肥的來源，其富含的矽及鋁成分為天然無毒抗病抗菌資材，其放射之遠紅外線可加速植物體內之水份

表一 各種絹雲母產品

| | 氧化雲母 | 無鐵雲母 | 合金雲母 | 合金陶瓷雲母 | 奈米雲母 |
|------|---|--|---|---|---|
| 產品 |  |  |  |  |  |
| 應用領域 | 造紙 浪板屋瓦 纖維水泥板 天然土壤改良 資材 植物抗病抗菌 天然資材 堆肥發酵促進 資材 | 化妝品 珠光粉 紫外線反射添 加劑 | 化妝品 阻燃工程塑料 | 化妝品 散熱導熱工程 塑料 | 功能性紡織織 維 油墨 防鏽膜 皮革塗佈 塑料薄膜 抗紫外線塗膜 |



圖6 絹雲母對香菜營養元素及性狀之影響實驗。



圖7 (a) 奈米雲母分散液；(b) 具放射遠紅外線及抗紫外線功能之紡織品。

及養份吸收，進而促進植物生長。向陽礦業公司設計絹雲母對香菜營養元素及性狀之影響的實驗，結果發現添加5%~10%絹雲母的培養土，香菜的生長速率較快(增加約30%之生長速率)且提高香菜植株的營養成分，如圖6所示。

經過酸化製程去除雲母中的鐵份，形成無鐵雲母，其可應用於化妝品、珠光粉及紫外線反射添加劑。經表面處理製成合金雲母，可應用於化妝品與工程塑料；於工程塑料應用中，其作為阻燃協效劑，降低昂貴且無機械強度之阻燃劑的使用量，但一樣維持複合塑膠之機械強度，並降低生產成本，提高業者的競爭力。合金陶瓷雲母是絹雲母與其他陶瓷材料(如二氧化鈦、氮化硼等)共燒所製成，可應用於化妝品及散熱導熱工程塑料。由於絹雲母具有可阻擋(反射及吸收)紫外光及散發自然光澤等光學特性；因此可作為長效無機抗紫外線劑，應用於化妝品中的眼影、口紅、隔離霜等；也可用於塑膠材料，如太陽能板封裝、工程塑膠等。

鑑於目前市面上之LED照明燈具外殼採用鋁質材料，除生產耗能與製造成本過高外，在散熱與絕緣等效果也較差。利用絹雲母與氮化硼之複合材料與塑料混煉製作出「白色的導熱散熱工程塑料」，應用於LED燈具之散熱外殼中，可提高LED燈之散熱效率並降低其生產成本，成功解決3C電子用品及LED燈等綠能產品之過熱及過重問題。

另外目前也開發出奈米雲母系列產品，絹雲母以鈉離子插層，製成插層雲母，再經奈米剝層及分散

後製成水性及油性的奈米雲母，圖7(a)為向陽礦業公司所開發製成的奈米雲母分散液，產品應用於紡織(抗紫外線外套、陽傘、發熱衣)及塗膜(阻氣、阻水、防鏽、抗紫外線)等。圖7(b)為向陽礦業公司使用乙二醇奈米雲母分散液，經過原位聚合製程，製作出的聚酯(PET)紡織產品，其同時具有高效的遠紅外線放射及抗紫外線之功能。

結語

向陽絹雲母礦為臺灣唯一開採之雲母礦區，向陽礦業公司使用最經濟且環保的方式進行開採：其成功利用兩地海拔高低落差350公尺的位能差運輸原礦，不需額外使用電力或卡車運輸，節省能源並且同時也避免車輛運送時對沿途道路之破壞及污染；並且使用洗選、過濾、沉澱等物理性方式篩選出高純度之絹雲母礦。而在絹雲母開採過程中同時進行水土保持及維護，並種植當地的原生樹種赤楊進行山坡地的復育，不僅進行採礦作業也顧及環境保護。

經篩選後的絹雲母礦則經加工後生產出各種不同規格之應用產品，包含最初級之氧化雲母、經酸化處理後的無鐵雲母、表面處理及陶瓷共燒製成的合金及陶瓷合金雲母以及奈米雲母，各規格之產品經過加工製作成不同特性的成品，並且被開發及應用於防火隔熱材料、電絕緣材料、化妝品、工程塑膠、導熱散熱塑膠、功能性紡織品、有機農業等之食、衣、住、行、育、樂各種日常生活領域中。

參考資料

- 吳雅雯。2009。水熱合成方沸石之離子吸附研究。國立成功大學資源工程學系碩士論文。
- 趙杏媛、張有瑜。1990。黏土礦物與黏土礦物分析，海洋出版社。
- 台灣大百科全書。網址<http://taiwanpedia.culture.tw>。
- 豐陽產業科技股份有限公司網站。網址<http://www.nano-mica.com.tw/fengyang.html>。
- 王逸偵。2012。向陽絹雲母礦-綠能礦物，台灣鑛業，64卷，4期。
- 林怡君、胡焯淳。2013。東台灣的絹雲母，地質，32卷，3期。
- 林怡君、江肇銘、洪孟昌、林怡錠。2012。絹雲母及絹雲母/氮化硼複合材料添加物應用於導熱工程塑料之研究，台灣鑛業，64卷，4期。