

礦產資源 永續利用

■ 施信宏

礦產開發屬鄰避產業，卻有民生與國防上需求的必要，透過開發前、中、後的有效措施，降低環境破壞、減少碳足跡及提升循環經濟，可以達成開發與環保兼顧的永續發展。

礦產供應變化與管理

目前我國礦場開採相當重視環境保護，因此朝向減少設權，加強礦業管理的原則嚴格審核，使國內礦區數由民國 70 年的一千五百餘礦，逐年減少至 106 年 12 月底的 223 礦。

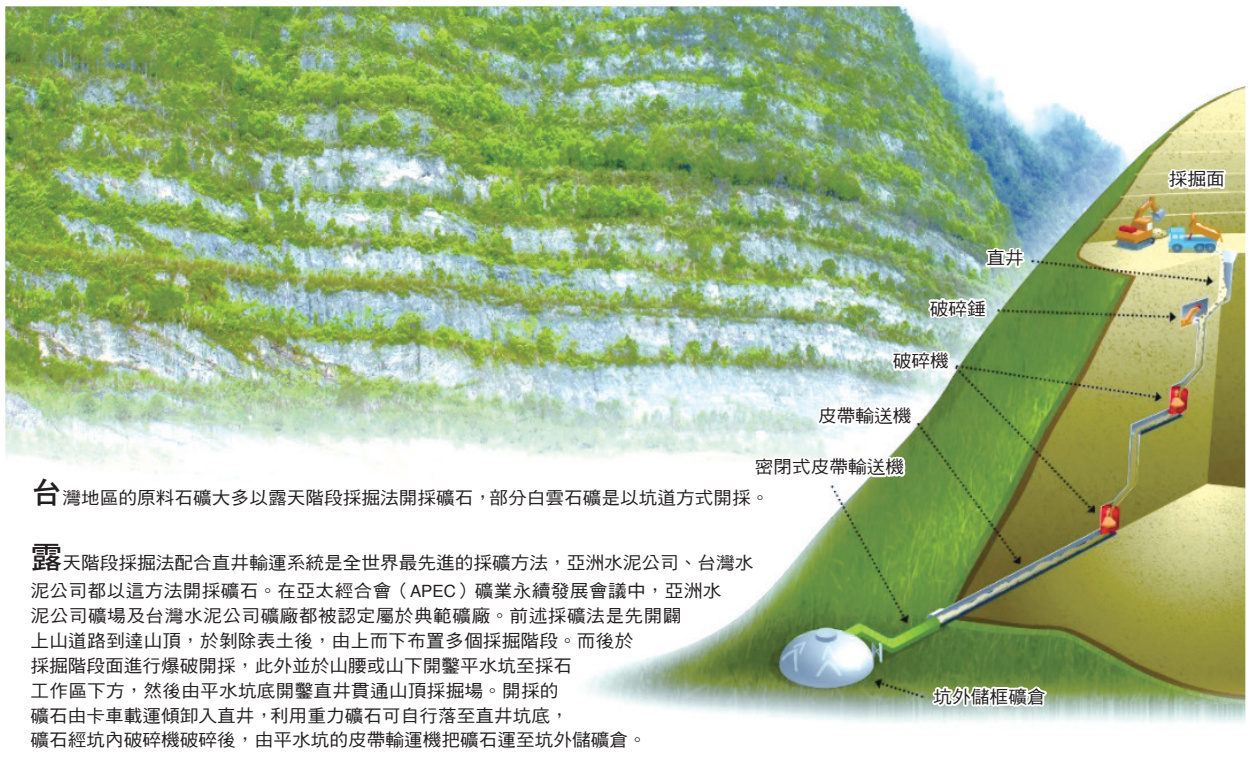
近年來，因整體經濟、加強管理、土地取得等因素，我國主要（非金屬）礦種的生產量都呈下降趨勢，金屬礦產近 10 年來暫無生產實績，能源礦產的煤礦則是在政策導向下自民國 90 年起暫停生產。

我國所需礦產原物料，除大理石、白雲石、蛇紋石類等礦產品目前尚可自產自足外，其餘各類礦物原料幾乎都仰賴進口。在國內資源蘊藏量有限下，我國礦產資源以供應「內需市場」為主軸，並提升礦業管理與開發後的環境品質，以達到保育與利用並重的目標。



我國所需礦產原物料，幾乎都仰賴進口。（圖片來源：種子發）

在國內資源蘊藏量有限下，我國礦產資源以供應「內需市場」為主軸，並提升礦業管理與開發後的環境品質，以達到保育與利用並重的目標。



台灣地區的原料石礦大多以露天階段採掘法開採礦石，部分白雲石礦是以坑道方式開採。

露天階段採掘法配合直井輸運系統是全世界最先進的採礦方法，亞洲水泥公司、台灣水泥公司都以這方法開採礦石。在亞太經合會（APEC）礦業永續發展會議中，亞洲水泥公司礦場及台灣水泥公司礦廠都被認定屬於典範礦廠。前述採礦法是先開闢上山道路到達山頂，於剝除表土後，由上而下布置多個採掘階段。而後於採掘階段面進行爆破開採，此外並於山腰或山下開鑿平水坑至採石工作區下方，然後由平水坑底開鑿直井貫通山頂採掘場。開採的礦石由卡車載運傾卸入直井，利用重力礦石可自行落至直井坑底，礦石經坑內破碎機破碎後，由平水坑的皮帶輸運機把礦石運至坑外儲框礦倉。

（圖片來源：經濟部礦務局）

我國礦業開發採礦業權設定、礦業用地核定與礦場登記證核發 3 階段設計。對於開發前中後的審查、管理、監督及追蹤，礦業法有嚴謹的規範，且各階段都重視環境保護與水土保持。

我國礦產資源賦存有限，雖然非金屬（石礦類）礦產堪稱可自給自足，惟仍需考量不可逆的原生礦產消耗、溫室效應等問題。因此，原屬於線性經濟發展的礦產資源上下游關聯產業，宜朝技術提升、加強復育、多元化及再利用等方向努力。

提升開採技術

我國露天開採方式，早年以生產量及開採效率為首要考量，而後逐漸重視災害防止。近年來更著重於降低環境衝擊，藉由開採技術的提升，在產業與環保間取得平衡。

下拔採掘法、斜面採掘法、漏斗坑井採掘法等因危險性高，人員傷亡率高，已明令禁用。階段採掘法的現場作業安全性高，可兼顧景觀維護，是目前國內外露天

我國露天開採方式，早年是以生產量及開採效率為首要考量，而後逐漸重視災害防止，近年來則藉由開採技術的提升，在產業與環保間取得平衡。



蛇紋石是一種富含鎂、鐵的矽酸鹽礦物，屬於變質岩類，是我國主要非金屬礦產之一。（圖片來源：種子發）

礦場認為最安全且採行的方式。直井式階段採掘法適合於大規模礦場或集中開採的專業區，也適合地形陡峭、運輸不便、重視環保景觀地區，可大幅降低運輸衝擊，是目前最好的採掘及運輸搭配方法，國內已有礦場採用。

加強環境復育

我國目前非金屬礦產多採露天階段方式開採，在開採過程中勢必造成某種程度的地表裸露。過去是等所有階段全部開採完畢後，再一併進行整復植生。由於這種做法造成裸露範圍大與裸露時間長，不利環境控制，且增加景觀衝擊。因此，近年來調整作業方式，當每一階段已完成開採，就立刻進行植生復育，有效減少裸露範圍及時間，並降低景觀衝擊。

為有效達成長期復育成果，部分礦場從選擇復育樹種、設立苗圃及苗木健化場進行育苗及健化、把苗木種植於殘壁平台

並持續維護，採一貫作業方式處理。經實證，植栽樹木 5 年後約可成長至 5 ~ 6 公尺高，綠化復舊成效相當良好。

多元與高值化應用

由於過去非金屬礦產給人印象屬量大價低的產品，因此推動多元化工業材料的應用，提升礦產品附加價值，可使礦物資源高質化及高價化。

蛇紋石是一種富含鎂、鐵的矽酸鹽礦物，屬於變質岩類，是我國主要非金屬礦產之一。除了可做為傳統肥料、煉鋼助熔劑、建築石材，以及其他化學工業原料外，尚具有遠紅外線放射及礦化封存二氧化碳的功能性。

研究顯示，添加蛇紋石粉末的複合材料具有優越的遠紅外線放射係數，可達到 0.9 以上（與蛇紋石添加量成正比，最高可達到 0.95）。至於蓄熱保溫性，相較於常規針織物，利用添加蛇紋石粉製成的熱感

透過廢料的再利用，可達到礦物資源零廢棄及永續利用的目標。

紗有高達 1.7°C 的溫差；而以 30% 左右的熱感紗製成多色調條紋熱感上衣用針織物，則有高達 5.4°C 的溫差。可見由無機熱感礦物粉體製成的針織物具有優越的保溫效果。

絹雲母礦賦存於台東地區，是我國自產特有的重要礦產，除做為工業原料外，也是一種高科技材料。在傳統使用上，因絹雲母含磷、鉀、鎂、鈣等元素，製成奈米元素施作於有機堆肥，可加速其發酵功能。另使用在土壤改良及蟲害防治的成效也很顯著。

在多元化應用方面，更利用其礦物特性，開發出高價值奈米雲母副產品。例如：製成合金雲母可做為阻燃材料，遇火燃燒時會形成緻密碳化層，進而阻礙空氣流通，達到阻燃效果；製成雲母複合材料可做為 3C 產品、LED 燈泡、電子封裝等的輔助材料；製成長效無機抗紫外線劑，可應用在眼影、口紅、隔離霜等化妝品及防曬衣、陽傘等紡織品。

循環再利用

礦產在開採及加工過程中，因不符合利用條件所產生的下腳料或廢料如果予以棄置，不僅造成環境負擔，也是資源的浪費。透過廢料的再利用，可達到礦物資源零廢棄及永續利用的目標。

碳捕集與封存技術有礦物封存、海洋封存、生物封存、地質封存等。其中，礦物封存具有礦物蘊藏量豐富、產物不會造成環境二次污染並可再利用、反應過程放熱且屬自發反應、副產物具回收價值的多種優點，是近年來較受矚目的封存技術。其原理是利用礦物中的金屬氧化物與二氧化碳結合，形成安定的碳酸鹽。

研究顯示，先把蛇紋石焙燒破壞其結構，然後以鹽酸萃取氧化鎂，透過控制萃取液酸鹼值、蛇紋石與鹽酸固液比等變因，可產製純度 98% 以上的氧化鎂。再利用氧化鎂水溶液的碳酸化，於攝氏 30 度下，就可吸收二氧化碳生成鹼式碳酸鎂沉澱物。

以廢棄物中的有效成分替代水泥原料，具有廢棄物減量並降低環境負荷的優點，利用水泥旋窯中的高溫則可有效破壞許多有毒物質。

以大理石礦石做為主要原料燒製水泥熟料時，其主要成分碳酸鈣將分解成氧化鈣及二氧化碳，而脫硫渣（平均氧化鈣含量約 45%）是煉鋼廠或電廠產生的事業廢棄物，利用脫酸、去金屬後的脫硫渣取代大理石礦石（平均碳酸鈣含量約 80%）用於燒製水泥熟料，會減少二氧化碳的產生，對降低溫室效應有正面效果。然而最直接的效果是利用事業廢棄物，並減少原生礦石的使用，有效降低環境的負荷與衝擊，有助於達到循環經濟的目標。

礦產資源有不可再生、分布不均、區域限制、需加工等特性。礦產開發屬鄰避產業，惟國內礦業自主開發仍有其必要性。促使礦業轉型升級，朝向循環經濟邁進，才能達成礦產開發與環境保育永續共存的目標。

施信宏

經濟部礦務局礦務行政組
