

出國報告（出國類別：其他）

參加國際礦產資源會議

服務機關：經濟部礦務局

姓名職稱：周國棟副局長

派赴國家：捷克

出國期間：106年5月30日～6月6日

報告日期：106年6月19日

摘要

本次國際礦產資源會議在捷克召開。捷克位居東歐內陸，與德國相鄰，為歐洲主要煤炭產區。其主要生產之礦產資源包含能源礦物之煤炭、鈾礦及少許油氣礦；非金屬礦之高嶺土、長石；無金屬礦生產。該國之礦業占其國內生產總值約 1%。其中，2015 年煤炭產量 1.35 億公噸，僅次於德國的 1.84 億公噸，位居全球第 9 位，以及鈾礦位居全球第 13 位，二者主要供發電之用。另高嶺土及長石之產量在全球也占有重要地位，分居全球第 4 位及第 13 位。

礦業與環境如何兼顧，長期以來皆是各國必須面對之課題，捷克也不例外。該國礦業部門欲解除煤炭及鈾礦之開發限制，卻受到環保人士之反對，咸認為將抑制再生能源之發展。由於環境保護考量，預期未來煤炭及鈾礦產量將逐步減少。

本次會議就礦物處理、資源再利用，環境保護、關鍵原物料等議題進行探討與經驗分享。參與本次大會除可瞭解整個礦業生命週期發展情形外，並可借鏡各國如何面對礦業發展挑戰之經驗，作為施政之參考，同時亦可藉此促進國際間交流。

礦物為經濟發展所不可或缺之工業原料。隨著科技之進步，礦物材料之利用無所不在，為人類生活品質之提升提供鉅大之貢獻。然而礦物為不可再生之資源，其賦存隨成礦地質而異，或在陸地或海洋，或在平地或山地。因此，開採礦物勢將破壞環境與生態，與人們生活空間與土地環境造成競合與衝擊。由於礦產全球分布不均，需仰賴礦產品貿易，各取所需。隨著環境、社會、人權意識抬頭，以及南北經濟發展之差異，各國為爭取發展所需資源，往往造成地方、區域、國際之關係緊張。當人們享受礦物材料帶來之

便利時，也應思考如何緩和自由經濟競爭體系下的各層級之緊張關係。循環經濟，回收資源再利用，或資源更有效利用或許將是未來之路。至於開礦及關礦所造成經濟、環境、社會之變遷與平衡發展問題，企業、政府與國際組織也都不斷地在尋求正解，希望能降低長遠的影響。

目次

摘要.....	1
目次.....	3
壹、緣起.....	4
貳、會議經過.....	4
參、會議研討內容.....	5
肆、心得及建議.....	10

壹、緣起

為了解國際礦產資源開發利用現況及未來情勢，作為我礦業發展之參考，爰派員參加在捷克舉辦之國際礦業環境會議。

捷克位居東歐內陸，與德國相鄰，為歐洲主要煤炭產區。其主要生產之礦產資源包含能源礦物之煤炭、鈾礦及少許油氣礦；非金屬礦之高嶺土、長石；無金屬礦生產。該國之礦業占其國內生產總值約 1%。其中，2015 年煤炭產量 1.35 億公噸，僅次於德國的 1.84 億公噸，位居全球第 9 位，以及鈾礦位居全球第 13 位，二者主要供發電之用。另高嶺土及長石之產量在全球也占有重要地位，分居全球第 4 位及第 13 位。

礦業與環境如何兼顧，長期以來皆是各國必須面對之課題，捷克也不例外。該國礦業部門欲解除煤炭及鈾礦之開發限制，卻受到環保人士之反對，咸認為將抑制再生能源之發展。由於環境保護考量，預期未來煤炭及鈾礦產量將逐步減少。

本次會議就礦物處理、資源再利用，環境保護、關鍵原物料等議題進行探討與經驗分享。參與本次大會除可瞭解整個礦業生命週期發展情形外，並可借鏡各國如何面對礦業發展挑戰之經驗，作為施政之參考，同時亦可藉此促進國際間交流。該國每年定期辦理國際礦業環境會議，除提供全球產官學研溝通交流平台外，更可掌握國際礦業資源利用與科技發展情勢。

貳、會議經過

本次會議議程內容主要探討淨化原物料有害物質，回收低品位礦物資源，清除礦場廢水中金屬，關礦後環境影響評估，21 世紀關鍵原料來源等議題。本次會議計有來自俄

國、印度、土耳其、巴西、德國、波蘭、斯洛伐克、匈牙利、羅馬尼亞、塞爾維亞、捷克及我國與會。

參、會議研討內容

一、淨化原物料有害物質，降低環境污染

雖然全球持續推動再生能源開發利用，以減低對化石燃料之需求依賴，尤其是煤炭，以降低燃煤對環境所造成之污染。眾所周知，燃煤過程所釋放出之氣體二氧化硫有害人類健康及動植物成長。然而迄今煤炭仍為全球主要之發電燃料，因此，淨化燃煤中之環境主要污染物質，尤其煤炭中所含的汞及硫，在燃燒過程中釋放至大氣，一直為業界主要之關切議題。

波蘭機械化營建及礦業研究院研究指出，全球釋放至環境中的汞分別來自於自然及人為，前者占約 70%，後者占約 30%。來自自然的釋放者主要為海洋，占總自然釋放量之 52%，其次是生質燃燒占 13%；人為的釋放者主要來自於小型黃金工藝與採金占總人為釋放量之 37%，其次是化石能源燃燒占 24%，及金屬生產占 18%。以波蘭為例，2014 年人為釋放汞主要來源為能源及產業部門燃燒過程，其中能源部門占達 54%，產業部門則占 29%。研究報告顯示，煤炭之汞存在於礦物之黃鐵礦及白鐵礦，以及有機物之含硫化合物。為了降低煤炭汞含量必須先減少煤炭中之硫物質，目前處理之方法有燃燒前及燃燒後處理兩種模式。燃燒前處理之效率主要視煤礦產狀而定，方法包括機械法、熱處理法、化學法、水溶液法、二氧化硫溶解法及生物法等。例如機械法適用在富含黃鐵礦之煤炭，汞含

量可減少近 90%，反之，黃鐵礦含量低之煤炭，汞含量最多只能減少近 10%。

羅馬尼亞比托沙尼大學利用富氧除硫法，將煤炭中的硫轉換成硫酸物溶液，並研究各種參數對除硫的影響，結果顯示，酸鹼度對除硫影響甚鉅，尤其是鹼性溶液除硫效果更佳，無論是無機的黃鐵礦或有機的硫物質。氧的分壓對總含硫量的減少也有影響，氧分壓越高，總含硫量愈少。至於溫度之影響，隨溫度之增加至 150 攝氏度，總含硫量呈現降低現象，但當持續增溫至 200 攝氏度，總含硫量反而逆轉增加。

二、回收低品位礦物資源，充分利用資源

鑑於銅鎳礦的品位隨著長年生產逐步降低，為延續礦場開採年限，如何提升低品位礦之回收率成為重要課題。俄國可樂科學中心研究發現在傳統圓柱浸漬工序中增加前處理，如在研磨後增加硫酸凝聚處理或以電脈衝增加顆粒間通道等方法，之後，再將礦石注入圓柱中進行浸漬。結果顯示，增加硫酸凝聚處理後，浸漬溶液中之銅及鎳離子濃度皆增加，但鎳回收率遠比銅回收率高，主要係黃銅礦之銅未析出所致。增加電脈衝處理後，浸漬溶液中之銅及鎳離子濃度皆增加，電脈衝越高，回收率越高。同樣地，鎳回收率比銅回收率稍高。此證實多一道前處理可提高銅鎳礦之回收率，但因礦石中各種礦物之物化性質不同，二者之回收率仍有差異。

在選煤中低品位之中煤往往被棄置儲存於礦場，甚或直接填埋。為解決衍生之環保問題及資源永續利用，俄國庫茲巴斯州立科技大學研究將中煤進一步處

理，並轉換成有價值且可銷售的精煤報告中表示，傳統煤炭重液之重力分選，第一階段首先分選出精煤及待第二階段處理之混合產品。第二階段處理主要在於減少有機物質流失至尾礦的損失。選礦後之最終產品將煤分成精煤、各種品質之中煤及低碳尾礦。其中，中煤中的煤炭及礦物質並未被分離出來，且品質無法控制，因此只能棄置而未被充分利用。為此，此研究在原有之工序中增加中煤之研磨，以回收中煤中之煤炭成分，但必須慎選研磨機，避免產生過多煤粉，避免脫水效率受到負面影響。此修正後的選煤工序不但可提高洗選率且可將低煤炭的灰份，使中煤成為可再利用之資源，結果顯示，大約有 50%~80%的中煤可轉換成低灰的精煤。

三、清除礦場廢水中金屬，符合排放水質

酸性礦場廢水之形成與處理是全球採礦與選礦最大的環境問題。因礦場每日總須排放大量廢水。廢水中主要之污染物包括重金屬、高酸鹼性、懸浮物質及各種鹽類。這些污染物肇因於金屬及鐵之硫化物經氧化作用而形成。斯洛伐克科學院研究利用聚氯化鋁、水合鈣及鋇化合物處理酸性礦場排水，有別於傳統採用石灰或石灰石來中和酸性排水。傳統酸鹼中和化學法之缺點為產生大量之無法利用之污泥。本研究之方法為利用鋁酸鈉脫硫，亦即沈澱酸性礦場排水中之硫酸鹽。為增加沈澱效率，必須提高酸鹼值至 12 以上，因此，處理工序中必須再加入氫氧化鈣，俗稱熟石灰。此方法可獲取高效率的脫硫，最終達到每公升 1 毫克以下，但必須加入額外的化學劑。本研究另選擇氫氧化鋇為沈澱劑，

在不同酸鹼度下進行試驗，各項結果與前述（鋁酸鈉+氫氧化鈣）沈澱法，一樣可獲高效率之脫硫成果，但無須加入額外之化學劑。因此，後者工序容易，且無須調整酸鹼度，顯然優於前者。經處理後之水質符合該國排放水標準。

礦場排放水之重金屬濃度視礦物組成不同而異，因此，其對環境之危害程度也不同。俄國可樂科學中心研究礦場排水與硫化銅鎳礦反應結果顯示，在硫化銅鎳礦中之其他礦物，如蛇紋石，橄欖石及角閃石，因呈現化學活性，在與礦場排水接觸作用後，形成氫氧化鐵並吸附重金屬，另銅鎳離子與蛇紋石進行離子交換，而形成含銅鎳之蛇紋石，因而減少礦場排水中之重金屬物質。

四、關礦後環境影響評估，持續追蹤影響

環境影響評估主要係針對開發行為進行識別描述和評估直接或間接，增效或累積，主要或次要的影響。一般而言，環境影響評估皆在規劃階段即開始進行，並加強開發行為進行中之監督。羅馬尼亞比托沙尼大學特別為瞭解礦場關閉後對周遭環境之影響，選擇一家金礦進行關礦後之環境影響評估研究，運用礦業專用之影響評估矩陣分析表，針對人口、動植物、土壤、水、空氣、地景、植被等因子進行評估。研究分析停止採礦活動後之負面影響及程度顯示，這些因子或多或少都受到採礦活動之影響。人口及地景等因子因採礦已然改變。其他，以水環境因子而論，礦場周邊受到最嚴重污染的部分就是水，包含地表水及地下水。主流有小部分受到位於礦區支流污染流入之影響。以空氣環境因子而言，僅尾礦堆附近受到影響。因尾礦堆僅局部植被，在乾燥期間隨風造成揚塵。就土壤環境因

子而論，原地表土壤因尾礦之堆置造成植被消失，野生動物移棲他處，但本研究所做土壤檢驗並未受到重金屬之影響。然而，礦場附近農地之腐植質及肥沃度則稍降。就整體環境影響評估結果發現關礦後之環境影響品質與十年前比較變異不大。

五、21 世紀關鍵原料來源，開採回收並備

斯洛伐克地質工程研究所報告指出，礦產原物料為經濟永續發展之根基，但隨著蘊藏量之耗竭，複雜之地質條件，導致開採成本增加，以及反對礦業開發的生態及環保運動等造成礦業活動的縮減，最終導致歐洲成為高度仰賴進口礦產原物料的地區。為此，歐盟委員會於 2008 年制訂一項歐盟原物料計畫。此計畫係為確保來自全球公平永續的原物料供給，確保歐盟境內原物料的永續供給，以及提升資源效率及增加回收數量而訂定，並根據經濟重要性及供給風險與管理不良等因素（如永續性、回收率、國家集中度），擬定 20 種原物料為關鍵礦物，包含銻、鉍、硼、鉻、鈷、焦煤、長石、鎳、鎳、錳、鈾、菱鎂礦、錳、天然石墨、鈮、鉑族金屬、磷礦石、重稀土元素、輕稀土元素、矽金屬、鎢。其中對經濟之重要性，以鎢為最重要，其次為焦煤。另針對高科技用稀土金屬關鍵原料，報告分析預期中國大陸仍將持續主導全球稀土金屬之生產與消費。在稀土礦物生產方面，主要生產者中國大陸外，目前每年仍生產者有澳洲、俄國、馬來西亞等國。美國於 2016 年以停產。至於由生產廢棄物中回收稀土金屬方面，電廠煤灰富含稀土金屬，且其產量甚大，為潛在的資源。研究顯示，未來隨著採礦逐年增加的財務

與環境成本，以及供應吃緊的影響，從煤灰中回收稀土金屬可能較直接採礦更有效率。雖然目前尚無法商品化。

布拉格科技大學研究從廢棄物中回收稀土金屬的方法之報告指出，2010 年至 2011 年間因中國大陸限制稀土礦出口，導致價格爆升，各國開始尋求替代來源。但已知稀土礦之開發至少需要 10 年時間始能完成，至於替代材料之研發及利用大約也要花上 20 年，所以，回收再利用及提升材料有效利用成為另一減少依賴稀土原物料的途徑。報告並指出，因回收通常較分散來源及尋找替來源為快，當價格風暴來臨時，勢將成為第一選擇。然而，當需求持續快速成長，回收將無法成為長期解決方案。反之，當預期未來需求持續減少時，回收將可成為長期解決方案。歐洲稀土網絡舉出最具潛能之回收物品，包含永久磁鐵（釹、鐳、鐳、鐳、釷、釷、釷、釷）、磷光劑（鎘、鋅、鈣、鈣、鈣、鈣）、電池（鋰、鈉、鋁、鋁）、拋光物（鈾）、催化劑（鈷、鈾、鐳、釹、釹）等。其中，永久磁鐵來源主要為硬碟驅動器、汽車應用、喇叭、空調壓縮機、風機、等等。磷光劑回收則主要來自螢光燈、LCD 背光、電漿螢幕、等等。該報告認為，將回收物作為第二種資源來源時需考量下列因素，如有些回收物之萃取分離較原礦容易，有些則較困難，例如，電子產品較困難，但永久磁鐵則較容易；如何蒐集、分類及拆解回收物也是主要的挑戰；另外，社會、文化、經營也有要納入考量。

肆、心得及建議

一、全球各地生態及環保運動之興起與發展，主要係源自於自然資源開發與人民生存

權利所形成之衝突，此運動試圖重新改變自然資源的利用模式及程度，以確保社會平等及生態與環境之永續性。隨著國內相關法規之制訂，此類活動之訴求已從政策法規之制訂進入相關政策法規之修定及落實層面，進而加速政府及產業轉型之壓力，各方勢必共同面對，以減少社會衝突，降低環境影響，減緩產業衝擊。

二、環境與採礦，景觀與開發之衝突與矛盾議題，無論在平面或電子媒體，近年來在環保團體之導引下，不斷被凸顯及討論，形成對政府施政的壓力。環團希望透過政府修法能改變過去強調礦業開發的模式與經濟利益，轉而更重視社區居民權益，以及對環境負責態度。政府雖從善如流修正法規，然因複雜的地方政治生態，礦業界想要永續經營，除社區參與與對環境負責外，事實上，最大的挑戰仍在於如何贏得及維護社區的信賴與認可。

三、不同礦物有不同開採方法及處理方式，且關礦計畫與環境影響評估實務上具有諸多共同特徵，如能考慮各種礦產開發之特性，並結合關礦計畫，訂出適用於礦業的環境影響評估方法，將更有助於礦業落實環境保護的承諾。由於環評審查計畫預期將回歸目的事業主管機關，建議未來可將此模式納入參考。

四、礦物為經濟發展所不可或缺之工業原料。隨著科技之進步，礦物材料之利用無所不在，為人類生活品質之提升提供鉅大之貢獻。然而礦物為不可再生之資源，其賦存隨成礦地質而異，或在陸地或海洋，或在平地或山地。因此，開採礦物勢將破壞環境與生態，與人們生活空間與土地環境造成競合與衝擊。由於礦產全球分布不均，需仰賴礦產品貿易，各取所需。隨著環境、社會、人權意識抬頭，以及

南北經濟發展之差異，各國為爭取發展所需資源，往往造成地方、區域、國際之關係緊張。當人們享受礦物材料帶來之便利時，也應思考如何緩和自由經濟競爭體系下的各層級之緊張關係。循環經濟，回收資源再利用，或資源更有效利用或許將是未來之路。至於開礦及關礦所造成經濟、環境、社會之變遷與平衡發展問題，企業、政府與國際組織也都不斷地在尋求正解，希望能降低長遠的影響。

五、歐盟所列 20 種關鍵礦物中，除金屬、稀土金屬外，尚有焦煤，其中，金屬中的鎢及焦煤為最重要的關鍵礦物，二者皆為煉鋼所需。另有 3 種為非金屬礦物，包含長石、菱鎂礦及磷礦石。其中，長石用於陶瓷及玻璃業，以及填充料。菱鎂礦用於耐火材料業、肥料業、以及填充料。磷礦石用於肥料業、食品業。此顯示歐盟對於陶瓷及玻璃業，鋼鐵業，肥料業的重視，認為該等產業對歐盟之經濟具有重要性。歐盟考量以產業在經濟活動中之重要性及原物料供給風險與生產國治理不良等因素，擬定關鍵性原物料之作法值得我政府參考。