

出國報告（出國類別：其他）

參加深海礦業會議

服務機關：經濟部礦務局

姓名職稱：周國棟副局長

派赴國家：德國

出國期間：106年9月23日～10月1日

報告日期：106年12月4日

摘要

德國位處歐洲，礦產資源不甚豐富，主要生產中之礦產有煤炭、高嶺土礦、鉀礦、鹽礦，以及石灰石、白雲石等，金屬礦已無生產。其煤炭主要用於發電，隨者煤炭補助之取消，深部煤田的關閉，煤炭產量已大幅減少。因此，德國所需的礦產資源原物料主要仰賴進口，使其成為全球礦產品的主要消費國及加工者，進一步成就德國為全球礦產加工品主要輸出國。德國為工業化國家，深知礦產資源對經濟的重要性，隨著全球金屬礦物需求不斷增加，陸地金屬礦床品位逐漸下降情況下，海洋礦產資源遂逐漸獲得全球關注，因此，探勘開發利用尚未開發之海洋礦產資源，將有助於確保未來金屬原料之取得與供應之穩定。德國政府極為重視此項非傳統海洋海底礦產資源之探查，為此，隨著近年來各國政府不斷推進海洋資源之探勘開發與利用，德國政府也不斷加大對海洋礦產資源的支持力度，繼 2006 年取得近赤道北太平洋錳核帶之多金屬錳核探勘許可，海深達 3500 至 6500 公尺，錳核主要礦物有錳礦、鐵礦、銅礦、鎳礦及鈷礦，該錳核帶從夏威夷延伸至墨西哥。德國於 2014 年更再度取得中印度洋海底塊狀硫化物探勘許可，海深達 1000 至 4000 公尺，該塊狀硫化礦物主要礦物有銅礦、鉛礦、鋅礦、金礦及銀礦。

不像陸地礦產資源開發，深海礦產資源之開發位於非國家主權範圍內，往往受到更嚴格的國際法規範及國際社會之高度關注與節制。另現今

海洋礦產資源之探勘開發在技術上仍有其複雜性及風險性，且越來越多人也開始意識到海洋環境的脆弱性，為此，德國政府同時執行一項海洋礦產資源整體生產鏈的環境友善技術示範計畫，期許海洋資源之探勘開發在聯合國海洋法公約之國際法架構管理下，也能將海洋礦產開發對環境影響降至最低。

深海採礦之未來前景為何？樂觀者可能高度期待海洋賦存礦物之經濟價值，悲觀者則認為應避免高估或低估礦產資源。但事實上，就像 50 年代當時尚未存在的海域油氣探採活動，直到 60 年代海域開採油氣逐漸發展，迄今海域油氣生產量已達全球油氣生產總量的 30%。海底蘊藏豐富銅礦資源，且經探勘研究顯示陸地之品位遠低於海底，也較海底之銅礦難採，因此，可預見的未來將有大量銅礦生產係來自於海底。但吾人仍須認知由於海洋礦產資源屬未來之新資源，尚未納入全球礦產資源，因此，就如同回收再利用之金屬無法替代海洋礦產資源之開採，同樣地，海洋礦產開發也無法取代陸地礦業開發。職是之故，未來我國礦業開發除應持續進行海域礦產資源探勘外，仍應維持陸地礦產資源探採活動。

目次

摘要.....	1
目次.....	3
壹、緣起.....	4
貳、會議經過.....	5
參、會議研討內容.....	6
肆、心得及建議.....	14

壹、緣起

德國位處歐洲，礦產資源不甚豐富，主要生產中之礦產有煤炭、高嶺土礦、鉀礦、鹽礦，以及石灰石、白雲石等，金屬礦已無生產。其煤炭主要用於發電，隨者煤炭補助之取消，深部煤田的關閉，煤炭產量已大幅減少。因此，德國所需的礦產資源原物料主要仰賴進口，使其成為全球礦產品的主要消費國及加工者，進一步成就德國為全球礦產加工品主要輸出國。德國為工業化國家，深知礦產資源對經濟的重要性，隨著全球金屬礦物需求不斷增加，陸地金屬礦床品位逐漸下降情況下，海洋礦產資源遂逐漸獲得全球關注，因此，探勘開發利用尚未開發之海洋礦產資源，將有助於確保未來金屬原料之取得與供應之穩定。德國政府極為重視此項非傳統海洋海底礦產資源之探查，為此，隨著近年來各國政府不斷推進海洋資源之探勘開發與利用，德國政府也不斷加大對海洋礦產資源的支持力度，繼 2006 年取得近赤道北太平洋錳核帶之多金屬錳核探勘許可，海深達 3500 至 6500 公尺，該錳核帶從夏威夷延伸至墨西哥，錳核主要礦物有錳礦、鐵礦、銅礦、鎳礦及鈷礦。德國再於 2014 年更再度取得中印度洋海底塊狀硫化物探勘許可，海深達 1000 至 4000 公尺，該塊狀硫化礦物主要礦物有銅礦、鉛礦、鋅礦、金礦及銀礦。

不像陸地礦產資源開發，深海礦產資源之開發位於非國家主權範圍內，往往受到更嚴格的國際法規範及國際社會之高度關注與節制。另現今海洋礦產資源之探勘開發在技術上仍有其複雜性及風險性，且越來越多人也開始意

識到海洋環境的脆弱性，為此，德國政府同時執行一項海洋礦產資源整體生產鏈的環境友善技術示範計畫，期許海洋資源之探勘開發在聯合國海洋法公約之國際法架構管理下，也能將海洋礦產開發對環境影響降至最低。

本次會議係就未來深海礦產資源採選之經濟性、技術性及環境性等面向之發展，以及商業化合作方式等議題進行探討與經驗分享尋求合作解決未來海洋採礦之模方案。參與本次大會除可瞭解國際海洋礦產資源發展現況及未來情勢，作為我礦業發展之參考外，並可借鏡各國如何運用科技創新，以及如何面對礦業永續發展挑戰之經驗，作為施政之參考，同時亦可藉此促進國際間交流。

貳、會議經過

今年深海採礦會議年會由德國深海採礦聯盟主辦。本屆會議議題主要包含各國海洋礦區之探勘技術、設備、監測及國際法規等面向之最新發展情形，以及負責任的海洋資源開發等相關領域，由參與之各國產官學研專家學者進行報告探討分享。另主辦單位特於會後安排參訪德東百年地下金屬礦場關礦後之利用，分享德國在礦場二次利用的模式。

本次會議計有來自澳洲、美國、中國大陸、法國、德國、日本、韓國、俄國、挪威、紐西蘭、英國、等近 20 個國家，約 200 人與會。

參、會議研討內容

一、礦場二次利用的新模式

本次參訪之弗萊堡礦位於德國薩克森州，隸屬弗萊堡科技大學之教學研究礦場。該礦場位處”礦山”（Ore Mountain）地區，顧名思義該”礦山”乃賦存豐富礦產，因此，礦業從過去至現在，在該地區之經濟及文化發展上扮演著極為重要的角色。該”礦山”之採礦史可追溯至 1168 年在現今的弗萊堡發現銀礦開始，引發第一波採礦熱潮。接著 13 至 14 世紀又發現了錫礦。其後，14 世紀中葉重新發現銀礦，再度造就了第二波的採銀熱潮。直至 18 世紀又加入了鉍礦、鈷礦及鎳礦之生產。二次世界大戰後，再增添鉛鋅礦、鎢鉬礦、錫鎢礦及鈾礦之開採。隨著電動汽車對鋰電池的需求，近年該地區也開始探勘鋰礦，不愧為礦產寶庫，蘊藏各種金屬礦物。

弗萊堡礦區地下坑道東西橫跨 5 公里，南北縱向 6 公里，綿延在弗萊堡之岩盤下，長達近 2000 公里。該礦區採礦始自 1168 年至 1968 年因經濟因素最後一處坑道關礦為止，開礦歷史斷斷續續長達 800 年，統計生產近 5000 噸的純銀。因此，弗萊堡也被稱為銀都。此次參訪讓人體會到幾世紀前礦工所面臨惡劣的工作環境及使用的技術。上世紀使用的機器設備主要仍置於露天廣場。本次參訪始於換裝礦工裝備，再搭乘電梯進入地下坑道，此電梯在採礦後期從 1950 至 1969 年間作為運送礦

石使用，此為唯一留下來仍堪用的設施。沿途礦工志工解說銀礦礦床地質及礦脈，係屬熱液形成之多金屬礦床，包含以銀礦為主及其共生礦物，見證當年優良地下測量技術的印記，順梯攀爬或穿梭在寬窄不一的坑道內，經歷不同世代的採礦方式，遊走在不同風險的支撐材質下，聽著老礦工記憶中的故事，走過了炸藥庫，注意到了沿壁的排面鑽孔，想必是鑽孔實習所遺留下的成果。見證弗萊堡科技大學如何運用此教學研究礦場作為採礦、測量、地物、地質、礦物等學生教學實習礦場。

由於坑道參訪係在地下深處，崎嶇不平坦且濕滑，且途經窄道或昇樓，更有一段時間身處黑暗中，在考量礦坑環境適應性，個人體力挑戰，以及不同年齡層之狀況，該礦設計不同參訪路徑及時程，包含 45 分鐘的教學路徑，1.5 小時 2 公里的路程，2.5 小時 3 公里的行程，供訪客選擇。此差異化的貼心設計配合不同價格的門票，讓訪客得以依願無壓力地旅行於時光隧道中，享受一趟身歷礦境的知性之旅。

二、海洋礦產為永續礦業的未來

由於全球對原物料，無論是金屬或非金屬礦產，需求逐步增加，以及已知礦床品位逐漸降低，為確保原物料長期穩定供應，探勘新的資源，尤其是潛在的海洋礦產資源，包括深海平原的錳核、熱液礦脈的塊狀硫化物、海底山富鈷鐵錳結殼，實有其必要性，也能為礦業永續的未來提供長遠的支撐。

全球第一家深海採礦公司諾力特公司代表在本次會議中報告該公司開發巴布紐幾內亞海洋礦區的海底塊狀硫化物礦床最新發展概況時說明，該礦床屬高品位多金屬硫化物系統，尤其富含銅礦及金礦，推定資源量 1.54 百萬公噸，其中銅礦品位為 8.1%，金礦品位為 6.4 克/公噸。渠強調此高品位低表土之海底採礦較之陸地採礦所遺留下之採掘跡小很多。渠另指出海底採礦提供許多國土面積不大，但海岸線很長的太平洋島嶼國家，潛在的重大經濟利益。因為此類國家很可能從其 200 海哩的專屬經濟海域中因採礦而致富。目前該公司工作母船及輔助船正按計畫在中國大陸組裝新建，各項水下設備如海底開採機，礦石採集機，輔助切割機等都仍在進行測試，未來之生產方式將透過甲板上之中控室遙控水下機器設備來完成。報告強調相較於傳統陸地開採銅礦僅 0.6%，深海開採銅礦之品位可達約 8%，並說明該公司計畫在 2019 年開始商業化生產高品位的金銅礦，未來也會開採銀礦、鋅礦、鈷礦及錳礦。另渠說明該公司已完成環境影響說明，並獲得巴布紐幾內亞環境及保育部的環境許可，將以環境與社會負責的態度進行海底採礦。渠並預測 2040 年全球銅礦需求將達到現在的兩倍，屆時將有近 30% 的銅來自於海底。

察塔姆磷礦公司代表報告從跨塔司曼資源公司之海域鐵砂礦開採計畫獲得環境許可看該公司察塔姆磷礦計畫之未來表示，跨塔司曼資源公司鐵砂礦計畫於 2016 年 8 月申請環境許可，並於 2017 年 8 月獲得環

境許可，此為該國自 2012 年專屬經濟海域法公布後首宗在該國專屬經濟區獲得許可的礦產資源開發計畫。此項結果對於紐西蘭的海洋礦業開發與投資具有重要意義，將有助於促進該國低環境衝擊且可持續的新礦產出口產業之發展。渠並說明該公司所申請專屬經濟區磷礦近況，該礦區位於察塔姆海底山脊，其礦床為優質且含低重金屬的磷礦，以此磷礦所生產之磷肥可減少未來對環境的影響。該申請礦區資源量為 2 千 3 百萬公噸，預估可開採 20 年。該公司於 2013 年取得取得採礦權，但 2015 年卻因擔心海底及海底生物受損，此計畫未獲得環境許可。為此該公司表示將持續與利益相關團體溝通，並說明為避免採礦對深海有所影響，未來大部分環境重要的區域將不會進行開採，且採礦面積將限縮在小範圍內進行。另根據研究顯示，海底海洋生物並不喜歡棲息於磷礦礦床區域，該地區之海洋生物並非很豐富，因此，專家認為磷礦開採不致影響該地區之海洋哺乳動物、海鳥及魚群。該公司認為目前該國所有磷礦皆仰賴進口，倘能成功地開採本地之磷礦資源，除可大大地降低因運輸所產生之碳足跡外，也能確保資源安全及供應穩定，同時並承諾未來開採將遵循國際海洋礦產學會所公布之海洋採礦環境管理規範進行。該公司目前正準備重新申請許可，基於跨塔司曼資源公司成功案例，自信下次定能成功取得環境許可，並強調預計 2020 年開始生產。

三、海洋礦產資源評估

德國柏林自由大學地球科學系教授研究富鈷鐵錳結殼之資源評估指出，富鈷鐵錳結殼礦床係在有氧環境下由冷海水直接沈澱於海底山之斜坡、山頂或平台上而形成，經數百萬年之沈積後，其厚度約為 2 至 25 公分。渠表示，決定富鈷鐵錳結殼之潛能主要係深度範圍。水深越深，海底山所能提供沈澱之表面積越大，富鈷鐵錳結殼之總量愈高。但其每噸礦產價值隨水深反而越低，因為決定礦產價值之錳礦、鈷礦、鎳礦之品位隨水深反而降低。渠預估太平洋、大西洋及印度洋等三大洋之礦資源量分別為 236 億公噸，78 億公噸，37 億公噸。

加拿大紐芬蘭大學地球科學系教授在評估海底塊狀硫化物礦床的品位與資源量之報告中指出，全球海底塊狀硫化物資源評估係根據目前已知海底塊狀硫化物礦床報告估算量及品位進行統計分析，因此，此資源評估將隨著新資料的取得而與時更新。目前海底塊狀硫化物礦床大小預估最大的困難在於缺乏海底下礦床厚度的資料。渠表示硫化物礦床係以海底熱液噴口之黑煙囪脈狀呈現，自 1979 年發現迄今，計有超過 300 處，目前確定有明顯塊狀硫化物堆積的計有 165 處，估計資源量從 5 億到 50 億公噸。

四、管理法規環境監測工具並用

海洋礦產資源採取並不同於一般陸地礦床之開發，因為前者位於主

權領土之外，將受到更嚴格的國際法及國際社會監督。目前之法規管理架構主要係 1994 年生效的聯合國海洋法公約。管理機關為國際海底管理局，負責管理全球海洋資產，尤其是海洋礦產，並制訂海底採礦之法規，以確保海洋礦產資源在負責任的態度下開發經營。

加拿大馬茵斯庫伯公司報告最近國際海底管理局訂定海底探採礦之礦業法規發展情形表示，該局已訂定了礦場資源的探勘規範，但採礦規範則尚付之闕如，致使業者在即將結束之探礦階段後將無法進入採礦階段。為此，2016 年 7 月該局公告了採礦規範及標準合約條款草案，並尋求各利益相關團體意見後，今年起開始進行草案修正，以確保海底採礦係在環境完善之情況下進行。該報告特別指出，國際海洋管理局在草擬法規時，應借鏡陸地採礦及海域石油開採監管之經驗，並適當的回應利益相關團體合法與合理的關切，始有利於未來法規執行時能夠順利而安全的監督各計畫項目之開發、執行與關閉。其中，業者關心的議題有獎勵條款，亦即減免礦產權利金之收取，以及繁冗的監管審查規定，亦即避免造成業者投資退縮。

挪威 DNV 國際風險管理公司簡報表示，國際海底管理局最近研訂之環境管理草案作為管理開發利用海底礦產資源的規範，內容僅敘及海洋活動之環境管理與監測計畫報告格式與內容。因監測技術領域乃持續精進，故該草案並未觸及監測技術。針對此草案未涵蓋之監測技術，該

公司說明，事實上，海域油氣行業之監測設備與經驗很大程度上可應用於海底採礦。渠指出深海採礦與油氣開發同樣面臨類似的挑戰，如擾動敏感的海底棲息環境。渠舉出傳統監測方法中可用於監測深海環境之非破壞性技術有：視覺化繪圖，如運用 ROV、AUV 攝影及錄影；即時感知器，包含濁度、洋流測量、顆粒度分布、溫度、鹽度、酸度等；沉積物捕集器和被動採樣器；高清晰度水深測量；高光譜影像。其中又以 ROV 及 AUV 技術發展最為快速，未來將是監測深海採礦作業最重要的工具。上述設備所取得之環境資料將可作為風險評估依據。

法國 DCNS 集團報告環境友善的綠色深海採礦方案，提出兩項技術回應利益相關團體對海洋採礦的關切，第一項技術包括部署建置一套以 AUV 技術為主的長期觀測站，並及時監測對環境的影響，以利問題發生之當下即時解決負面影響。第二項技術包含設置隔離膜，用以封閉一個區域，減少懸浮粒子的排放和降低噪音。

五、循環經濟無法替代礦產資源開發

挪威科技大學地質與石油學院研究深海採礦之可行性報告指出由於再循環利用之資源並無法滿足更多礦產原物料之需求，且陸地礦產資源開採日趨複雜而困難，因此，渠認為應認真思考從深海開採礦物之可行性，包含環境、技術及營運管理等。

葡萄牙里斯伯爾大學教授提出回收及循環經濟真能無需海底採

礦之報告指出，或許因為名詞之故，讓許多人及組織團體認為循環經濟將使原物料開發利用成為過時，但真正的循環經濟不可能長久，因為一則使用的損耗是無法避免的，二則礦產資源消費將持續成長數十載。循環經濟傳達了一個錯誤的概念，好似製造業無需礦產原物料，然而更貼切的名稱應是回餽經濟（feedback economy）。渠強調循環經濟之二次資源利用是很重要的，但在地球人口持續成長的狀況下，以此取代初級礦產資源之開發是難以置信的。渠並認為以現代科技發展及經濟條件，深海海底生態系統將可在海底採礦中存活下來。

六、深海採礦對海洋生態影響

深海採礦活動無可爭議的將影響海底生態環境，因為該活動將擾動海床及其上方的水體。德國基爾海洋研究中心針對錳核採取對深海生物及生態潛在影響之報告強調，錳核生態系統應關注高度多樣化的海洋生物物種及錳核採取擾動所造成之影響，因錳核採取將損及海底完整性，對生態系統功能及族群密度有負面之影響。另渠指出錳核採取及沈積物移除所造成之擾動對錳核各種生態系統之影響將可持續達數十年，而海底山及錳核棲息之深海生物差異性也極大。由於深海生物群體棲息環境之獨特性，其所受影響規模將會視使用之採礦技術及面積而定，因此，研究報告強調建立生態健康指標，破壞環境影響之起始值及避免或減輕影響相對措施之重要性，以提升各項環境影響之監測成效。

針對環境管理計畫，渠並建議應考慮深海開採對海洋生態的多重影響，以及劃設之環境保留區必須符合各開採區之特性，始能保護特別脆弱及重要之生態環境。

肆、心得及建議

- 一、德國政府對於礦山關閉後之礦場土地及資源多元利用甚為重視。本次參訪之金屬礦場位於所謂之”礦山”，該”礦山”經歷數百年各種金屬礦物之探勘開發利用後，迄今隨著經濟發展對不同礦物之需求，探採科技的精進，過去技術所未及之深部地區或將有新礦體發現，因此，該地區仍持續進行著各種礦產資源之探礦活動，並未加以封山，顯示德國政府之宏觀與遠見。另對於關閉後之礦場更充分利用其殘餘價值，除了傳統上開發成為礦山博物館外，舊有之礦坑除部分規劃作為觀光教育用途外，更將礦場轉移給大學作為教學及實習之場所，此身歷其境之教育方式，讓學生極為受用，並符合業界之期待，此學用合一當有助於技術傳承及產業發展。目前台糖金瓜石礦場部分用地設施已作為博物館用途，其他部分之礦場或許可借鏡德國經驗，建議未來在相關條件許可下，將之移轉予大學作為附屬礦場，成為相關工程學系見習之處所，也可創造國內礦業永續利用的新模式。其他礦種也可以類似思維加以利用。
- 二、德國為製造業發達之國家，但製造所需之原物料主要來自進口，尤其是金屬，此與我國經濟狀況極為類似。本次會議由德國深海礦業聯盟主辦，

此聯盟受到德國政府支持，成立宗旨主要是希望能掌握穩定之礦產資源，避免受制於資源出口國之政情及政策影響，同時擺脫經濟發展長期高度依賴進口礦產品的現況。其次，隨著深海採礦業之興起，為該國既有的造船及海洋事業創造新的市場及研發新的技術。德國政府積極成立推動組織，並與他國相關組織合作進行研究發展，並主導參與歐盟相關計畫，該國對於深海探採礦積極態度，再再都值得政府借鏡學習。

三、深海採礦之未來前景為何？樂觀者可能高度期待海洋賦存礦物之經濟價值，悲觀者則認為應避免高估或低估礦產資源。事實上，就像 50 年代當時尚未存在的海域油氣探採活動。直到 60 年代海域開採油氣逐漸發展，至今海域油氣生產量已達全球油氣生產總量的 30%。各項研究顯示，海底蘊藏豐富銅礦資源，且陸地之品位遠低於海底，也較海底之銅礦難採，因此，可預見的未來將有大量銅礦生產係來自於海底。由於海洋礦產資源屬未來之新資源，尚未納入全球礦產資源，因此，吾人仍須認知就如同回收再利用之金屬並無法替代海洋礦產資源之開採，同樣地，海洋礦產開發也無法取代陸地礦業開發。

四、深海採礦係在一個生態敏感之地區進行，尤其目前深海採礦尚未達到技術完備階段，無論從資源發現到資源評估再到資源開發，尚不足以成功進行深海採礦作業。雖然深海採礦作業程序與陸地採礦活動程序類似，但因深海資源特性及整個價值鏈活動係在極端作業環境下進行之差

異，致使尚需開發完全不同的技術、硬體設施及操作流程，以為因應。因此，可以預期未來深海採礦尚需克服諸多挑戰，方能實現。此挑戰首先要考慮的是經濟成本可行性，必需完整評估整個採探選冶生產流程之成本；其次為技術完整性，必需融合各種深海技術於整個採選作業中；再次為環境相容性，必需評估生產過程中減輕深海生態環境衝擊之措施；再則為社會的包容性，必需諮商各利益相關團體取得同意；另尚無法規遵循性，必需遵守深海採礦相關法規及規範，以確保生產模式足以減低對海洋環境的影響。隨著各國探勘階段陸續結束，即將邁入開採階段，致使深海採礦法規制度之即時建立具有急迫性及重要性，否則未經規範的採礦可能釋放出有害物質進入大氣、水體及底土。

五、以環境友善的方式經營礦業已是全球礦業界的共識，因為對於不喜歡採礦破壞景觀環境者或是認為不應有採礦的個人或團體，礦業公司很容易成為他們抗爭的目標。基此，深海採礦或許可以減緩此類抗爭，因為深海採礦之生產活動係在水下，不會破壞山林，不至造成如陸地採礦之景觀衝擊。另海底採礦也不會像陸地採礦在鄰近採礦場處堆置廢石而形成廢礦堆及尾礦庫等地貌之變更。此外，海底採礦更不會影響地下水或地表淡水，也不會影響社區居民的日常生活。由此觀之，陸上採礦對景觀的負面影響反而在深海採礦獲得了正面的解決。

