

待開發的 海底礦產資源

美國 C. G. Welling 原著
高熙政 陳汝勤 譯
國立臺灣大學海洋研究所

今天，雖然我們已警覺到能源危機的日益嚴重；但是另一項礦產資源的危機卻鮮為人知，如同石油一般，全世界最富、最易開採的礦產資源正走向枯竭的盡頭；某些不可或缺的工業金屬也因為供應上空前的短缺，而變得格外昂貴。這項危機在美國造成的影響尤其重大；由於美國目前正是這些嚴重短缺的工業金屬的主要消耗者，加以近來美國本土的出產量日漸減少，自然地對國外進口的依賴就大為增加。不幸的是這些嚴重缺乏的金屬礦多位於第三世界，而這些國家對西方或美國並非可完全信賴的友邦。為了求得這些金屬，美國和日本、西德等關係欠佳的國家之間，彼此也競爭得十分激烈。顯然供求律是毫不容情的，原料愈是不足，其價格愈是無止境的上漲，而物價上漲也正是今日困擾我們的全面通貨膨脹的部份原因和後果。

當然我們不必擔心某些種金屬有完全耗盡的一天，但卻有可能變得如黃金一般稀有的一天。

一旦富礦體被採盡時，我們仍可以開採次級礦體、三級礦體，甚至更貧的礦體，而事實上，我們已經在這樣做了。多年來，利用低等級的礦早司空見慣的事了，但是我們卻付出了相當可觀的代價，其中最主要的便是能量。根據自然法則（熵律），礦體的等級愈低，則開採、萃選所須的能量愈高，但就能源本身而言，如今方便、多用途且價格合理的燃料已是不易獲得了，然而為了取得這些重要的金屬，我們不得不耗用更多、更貴的能量。處於如此的困境，難道我們就束手無策了嗎？

海底礦藏

多來以來，陸上的金屬礦探勘工作已經進行得相當廣泛而深入。如今，在交通便利的地區，發現到的礦牀等級正日趨低落，而較富的礦區卻多遠在如北極、南極般偏僻荒涼的地方。

好在，近年來海底探勘的結果發現了多種金屬礦，大量覆蓋在數百萬平方哩的海底上。這些被稱為錳核的物質，除了含有大量的錳之外，更重要的是它們也含有充分的鎳、銅、鈷等嚴重缺乏的金屬。或許這些物質應該被稱為“礦物核”，或者更正確的稱之為“多金屬核”。

以經濟學來估計，雖然目前陸上富礦牀所提供的錳，並不十分缺乏，但在本世紀中這些富礦牀，預計將被開採殆盡。同樣的，我們估計陸地上鎳的未來供應量也並不樂觀。鎳不僅是不可缺少的，同時也是深俱戰略價值的，但在全美國僅有少數值得開採的鎳礦，因此，當我們取得了海底的錳核時，首先就可以解決鎳的供應問題。此外，錳核中所含的鉬、鈷，益加肯定了錳核在經濟上重大的價值。其中，鈷和鎳一樣的缺乏，卻也是工業和戰略上不可或缺的重要金屬。目前，由於錳的市場須求量並不算大，故將來僅需自錳核中提煉少量的錳即可滿足供應。總而言之，錳

核無論在商業上或軍事上都佔有十分重要的地位。

這些礦核散布在廣大的深海盆底，尤其以北太平洋海底分布的密度較高，而其中又以夏威夷到美國本土之間的海底最為密集，此一地區如經開採，則美國就是一個最靠近、最便利、最現成的市場。

錳核的組織

為何數百萬平方哩的海底，會被這些富含錳的核所覆蓋？這實在不是一個可以輕易回答的問題。然而，大部份的錳核似乎是以一些小的固體如鯊魚牙齒、火山浮石的碎片等為核心，漸漸生長而成的。這些核心物質必須能夠保持很久的時間，而不至被快速分解或溶於海水中，如此，一個礦物外殼才能夠開始在核心四周形成。這些層狀的外殼，是經過百萬年來自海水中元素的沈澱作用所造成的。至於一個錳核能夠生長到多大、多久，似乎是沒有一個上界的；大如巨碟的錳核可以重達 850 公斤，但一般的錳核均是很小的，分別像是葡萄、胡桃、高爾夫球或小蕃茄。

無論錳核生長的速度是快是慢，它們的數量卻是多如星斗無法估計。或許用重量來估計可能比較容易。僅僅一個太平洋底就能供應數十億噸的錳核，而錳核在佔地球面積百分之七十一的海洋中均有發現，那麼它們的總數量之多，應是多麼難以想像的了！

海中錳核的這些特殊金屬含量，與陸上高品位的礦牀相比較，實際上並不算很高。但是目前大多數重要而缺少的工業金屬，其中包括鎳、鈷、銅，均是來自陸上低級的貧礦體。而另外一項因素，就是陸上開礦必須同時建立龐大的配合設施，亦即公路、鐵路、適當的運輸工具、港口、城鎮、坑道建築，以及處理無數噸礦石的機械。其中礦體的等級愈低，提煉後的廢石也就愈多，而許多新的富礦，因為地處偏遠，上述的建設不

僅困難而且昂貴。相反的，錳核的開採者，可以設廠於工業區附近，並利用已有的道路、城鎮、和發電場。除此之外，海底礦牀因為本身的物理特性，而能夠以較低能量的方法加以萃選。所以我們認為開發海底礦源，將會比陸上許多型式的採礦更合乎經濟的效益。

中北部太平洋錳核的開採

經由工業界和科學機構所作的廣泛的調查，結果顯示最能引起商業界興趣的礦區，是一個位於中北太平洋，長約三哩的錳核密集帶。

但是海底的錳核並不是垂手可得的。採取錳核，首先必須有一個龐大的計畫，大量的資本，以及高度發展的技術，而由計畫到實行更須要一段相當長的時間。我們預計礦物危機的到來（約在西元 1990 年代，或在西元 2000 年），距離今天並不遙遠，事實上，發展深海採礦的計畫早已在十七年前就已開始了。

技 術

目前，第一階段中的初步技術已經發展完全了，我們所進行的是第二階段的發展。除了技術的改良之外，並且要擴大基礎系統，以獲得操作上的可靠性以及生產資料。在現在所提出的開採方法中，大多數和海域鑽油的方法相似，因為它們均包含有一個長而重的導管系統；但採礦過程所用的導管系統較鑽油的還要來得大而重。另外，必須要使用一架可以遙控的海底自動推進採礦機，它能夠在海底爬行，並採取錳核；然後，經由一個可彎曲的導管，將採到的錳核送至一個中間“抽取站”；這個站是懸在海底採礦機上方數百呎的海水中，接著，錳核再由抽取站經過三哩長的導管系統，送到水面的採礦船上。其中，採礦機和中間抽取站中均是無人駕駛的，它們可以算是一個大型的機器人。以上描述的種種並不是

空想，或僅是一個藍圖而已；事實上，縮小的模型和試驗系統已經在海中試用過，並且十分的成功。

實驗用的海底採礦機，大小像是一棟房子，重約 100 噸。三哩長的管串，直徑約兩吋，可以將錳核送到重約七百萬磅的採礦船上，目前所使用的船是 Glomar Explorer 號。

真正的開採設備，實際上，應比這些巨大的試驗模型，還要大上好幾倍。對任何一位工程師而言，建立一套真正的設備，實非易事。除了在工程技術方面長期的努力之外，還須要不虞匱乏的資金。然而目前，資金的吸取卻是一個困難的工作。最主要的原因就牽涉到國際海洋法的問題。

早在 1960 年代，就不斷地有各種海洋法會議的召開，但是一直至今，國際海洋法尚未定案。最大的爭議所在，就是“究竟誰擁有海底的所有權”？“應該由誰來控制對海底資源的開採與發展？”或者這樣說：“如何發展海底資源才是最理想、最適當的？”

當前，海洋法草案十分的雜亂，尚須其他的條款來改善之，然而我們可以在此概述一下大致的情形，美國宣稱“海底是人類共有的財產”，顯然，這是無庸爭辯的，但是這句話到底意味著什麼呢？大多數開發中的國家主張“既然海底是人類共有的財產，那麼如何控制與發展，應該由大家投票來決定，同時必須是一個國家，一個投票權”；自然，某些國家卻贊成另外的提議。

無論如何，參加會議的國家，大多數是開發中國家，當然這些國家希望能發展他們的工業基礎，更希望能有優先利用權，以及分配、銷售權。

缺少投資

不僅如此，他們更要求已開發國家提供技術、知識和資金，而將資源的所有權和控制權留給開發中國家。這在美國人看來，似乎並不是一個

合理的折衷辦法，不論這些多數國家所主張的道德與公平是什麼；他們的態度，卻造成了一個嚴重的後果，那就是阻止了投資的意願。而沒有資本，海底採礦就成了無法實現的夢想。

發展海洋礦產資源，必須大量的投資，而私人工業和私人投資者對深海採礦也認為可行，並感興趣；可是在目前這樣的政治氣候下，很少有人願意冒險投資，因為沒有人樂意自己栽培的果實，卻由他人所獲得。以上就是多年來深海採礦工作膠著的狀態。

近來，美國國會通過了一項海洋採礦立法，以促進這項事業的發展，在此法案中，自西元 1988 年元旦起，准許商業性的開採海底礦物；而實驗性質的萃取海底礦物，將獲准由現在到西元 1988 年間進行。這項立法的確可保持工業的生機。

雖然發展海底採礦是一件刻不容緩的事，但我們同時也要瞭解，這並不是一蹴可及的，長時期的努力是絕對須要的。另外我們要牢記在心的是，來自陸地供應的關鍵金屬（如鎳、鈷），它們的售價，預估在西元 1990 年，將會遠超過海底錳核所提供之相同金屬的預期售價。

沒有代替品

首先，我們要知道鎳和其他嚴重缺乏的金屬是沒有代替品的。鎳在不銹鋼上利用很廣。一般人最常見的不銹鋼，有餐具、廚具等，此外更廣泛的應用如製造煉油廠，液態瓦斯船，海岸鑽油平台等。鈷，則用於製造通訊器材、電子設備、噴射引擎所必備的永久磁鐵，甚至許多醫療設施也不能缺少鈷。

通常大家都存有一種流行的觀念，就是一旦某種金屬用完了，我們還可以用另一種金屬來取代之，譬如用鋁取代鐵。就是金屬用完了，仍可以塑膠代替。事實上，這只是往昔某些工業的誇

大宣傳罷了。取代品的觀念並不完全是正確的，就算是真的可行，研製一項成功的取代品往往也須花上數十年的功夫。

金屬是人類文明的基礎，而關鍵性的金屬如鎳、鈷、鉬，更是極端的重要。縱使塑膠可以取代許多東西，但是製造塑膠的原料—石油，至今又所剩幾何呢？

較為廉價的海底採礦

陸上採礦，必須將採到的礦石加工壓碎成小塊，以便於提煉其中的金屬。而海洋中的礦物核本身已經夠小了，另外，整個錳核上布有很多小孔，使得錳核極易破碎，所以如果有進一步壓碎的必要，那麼所須的能量也並不大。至於在化學處理的過程中，錳核由於組織很細，故甚容易受酸溶解或起其他的化學反應。

因為陸上的礦區等級愈來愈低，大量的廢石必須加以處理丟棄。為了節省搬運的費用，這些礦體最好是在礦區的上坡處。而一個低等的礦，所能得到的金屬產量僅佔所有礦體重量的一小部份，有時甚至少於百分之零點五。若是一個高級的礦牀，卻又因為地處偏遠，而必須耗資修建運輸道路、建立電廠，甚至還要將採到的礦石送到遠在數千哩外的提煉廠。

反觀錳核，我們有信心可以用較省能源、較便宜的方式開採。錳核位於海底，上面並沒有任何的覆蓋層，不像大多數陸上的礦牀須要開挖，只要用一種水質的泥漿，將錳核抽到水面的接收船上；然後再由運送船運到陸上的工廠加以處理、萃取，在運送的過程中，雖然錳核含有一半的水，但海洋運輸的費用仍較陸上運輸來得低廉；最後提煉出來的金屬送到北美現有的市場上銷售；或由建立在海上的提煉廠直接送到市場去。

微小的環境衝擊

經驗指出海洋採礦對海洋環境的干擾與衝擊是相當微小的。目前，工業界正在贊助一個由大學教授們所做的環境研究計畫。例如測量海水柱表層與底層的稀有元素含量，由於要測的量、十億分之一之微量，所以實驗室必需保持絕對清潔，並且要設置在船上，以防止樣品的污染。

經由科學的研究，已經指出最安全、最不污染環境的礦渣處理方法，就是將這些金屬提煉後剩餘的物質再丟棄到海中。另外，由於採礦面積對整個海底而言，僅是很小的一部份，故對於生物造成的損害也很小。我們除了配合國家海洋大氣管理局的指示來發展努力，更與各有關的環境機構保持資料與新知的交流。因為獲知具體的科學知識才是解決問題的方法。

當然，發展海洋採礦是需要大量的投資，但是只有實現這項構想，才能使日趨短缺的關鍵金屬獲得穩定而合理的供應。 □

〔原刊於 Stockton's Port Soundings (August 1980)〕