

第三十九冊

原子與海洋

譯者：江祥輝
鍾仁賢
呂東輝



目 錄

1. 尋求答案.....	1
供探勘的能量.....	2
2. 海洋世界.....	5
海洋運動.....	6
元素的混合.....	8
海的接觸面.....	9
海的資源.....	10
3. 核能的任務.....	10
海中的放射性核種.....	11
研究計劃.....	19
海洋學儀器.....	29
環境安全研究.....	35
海洋中工作的原子.....	37
海洋工程.....	43
海水變淡水.....	44
海產食品輻射貯藏.....	45
耕犁計劃.....	47
新弗拉姆號.....	47
4. 三維海洋.....	48

原子與海洋

原著：E.W. SEABROOK HULL
譯述：江祥輝 鍾仁賢 呂東輝

尋求答案

未來的歷史學家將會記錄著：人類幾乎同時打開了原子能的秘密，以及傾全力對於海洋這個新的範疇作深入的探討。

歷史也可能顯示出：這兩項造福人群的努力如何地彼此交織在一起——有不同形式和各種應用的核能，在探勘和開發我們地球上“另外的四分之三”這項努力中，如何地來扮演一個重要的角色，此外，核技術的發展，促使我們需要對環繞在我們四周的海，作更進一步的瞭解。

核能是一項基本的物理現象，就如同滑輪、槓桿或斜面的作用一般。與化學燃燒或電力一樣，它只不過是為人類工作的另一種工具而已，不管這項工作是有益於科學、商業、娛樂或者戰爭。核能非常的普遍，可以如同陸地上或外太空一般的應用到海裏面去。無論人類要到何處，也不管他做些什麼，他總是需要能量把他帶到那裡，而且當他到達時，更是需要能量為他效勞，替他工作。人類目前想要去探險的某些地方，若使用了體積頗為龐大的傳統性能源——煤、燃料油或蓄電池，十分難於達成任務。廣大的海洋就是這麼一個地方。

原子是最濃縮的能源，而且是最與眾不同的東西之一。我們不僅能夠做與核能差不多好的事（核動力潛艇即為一戲劇性的例子），而且也能夠做一些以前所不可能達到的事（例如，研究海洋中溶解鹽的擴散，或者經過照射處理來延長海鮮的貯存時間。

核能至少使我們可以實現了朱利斯佛納（Jules Verne）的冒險

故事，海底六萬哩長征（*Twenty Thousand Leagues Under the sea*），並且建造了一種真正的潛艇——它的潛航時間僅僅受了船員們生理的及心理的忍耐時間的限制。這項事實使我們對於海洋需要更多的瞭解，因為海是個不透明而又奇異的環境，所以，只要誰對海洋知道的最多，誰就可以獲取到海中的一切資源。

我們擁有了核能，跟着也帶來了核廢料；無可避免的，像其他廢物處理一樣，這些廢料的大部分都要倒進海裏去。在我們讓這些東西繼續流進海裏之前，我們有必要對這個水的世界知道得更多。

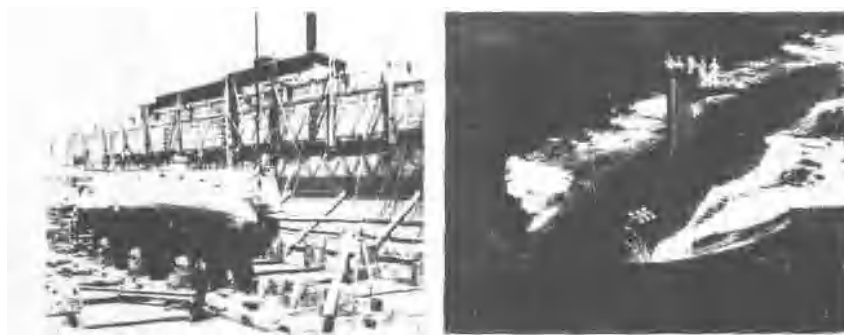


圖1 1900年美國海軍委託建造了第一艘潛水艇，USS Holland號，由John P. Holland監造。左圖是1898年時，在新澤西州波斯安布（Perth Amboy）的乾塢裏。右圖是USS Plunger號，是紀念一艘早期的John Holland潛艇，它是美國海軍現役核子潛艇的一例。

七海之水裏面，含有足夠量的氘和氚，可以在未來的數百萬年中，用來推動熱核電廠（註一）。這些珍貴的重氫儲存在廣闊的海洋之中，蘊藏著一種不受國籍限制的能源，只需要發展一些技術來提取它，之後利用它來為我們工作。

供探勘的能量

為了這項探勘，人們必須把儀器、航行警標以及其他裝置放入深

〔註一〕要瞭解它操作的情形，請見本文庫中的“控制核塔合”。

海底，它們必須在那裡長期的運轉，既沒有人照顧也不可能由外界獲取動力。放射性同位素推動的發電機，利用放射性原子的蛻變能量，幾乎是唯一能夠符合這些條件的裝置（註二）。人們也想在海洋下面做些生產工作，諸如在海底鑽探油井、開礦以及打撈一些數千年來海洋貿易所沈落在海底的貨物。更妙的是，有人想要在海底下的地面從事耕作。

所有這些活動都需要能量，在這種環境下，大部分的能源都應用不上。尤其是，人們想要親自下去勘探和工作，也許可能操作由核能推動的機械人，去做更多的工作。這意味著需要袖珍的、載人的、非軍事性的潛水器——容器持久性應該不因傳統性動力源壽命較短而受到限制，這勢必要使用到分裂原子核，使它在小型的反應器內發電（註三）。

圖2 一名畫家描繪著（用鉛筆和無光澤的塑膠紙）一艘七世紀拜占庭的船隻，沈沒在愛琴海120呎的海底下的位置。核能將可能使未來的歷史學家，在海底下做長期的逗留，以便探查遇難的船隻，或遠離地表面的古城。



要在任何環境裏很有效地工作，首先我們必須知道和瞭解它。這就是科學的工作。在尋求知識和瞭解海洋方面，核能供給科學家更好的儀器去放入深海，以及嶄新的技術來研究許多海洋作用的過程。

例如，利用放射性同位素示踪劑的作用；這些示踪的原子，有史以來第一次使我們能夠探究小浮游生物的新陳代謝作用，浮游生物是海中游動的微小動物，以它難以置信的存量構成了海裏食物鏈的基礎，包括了我們常吃的魚。即使是核子試爆所生的放射性落塵，也使我

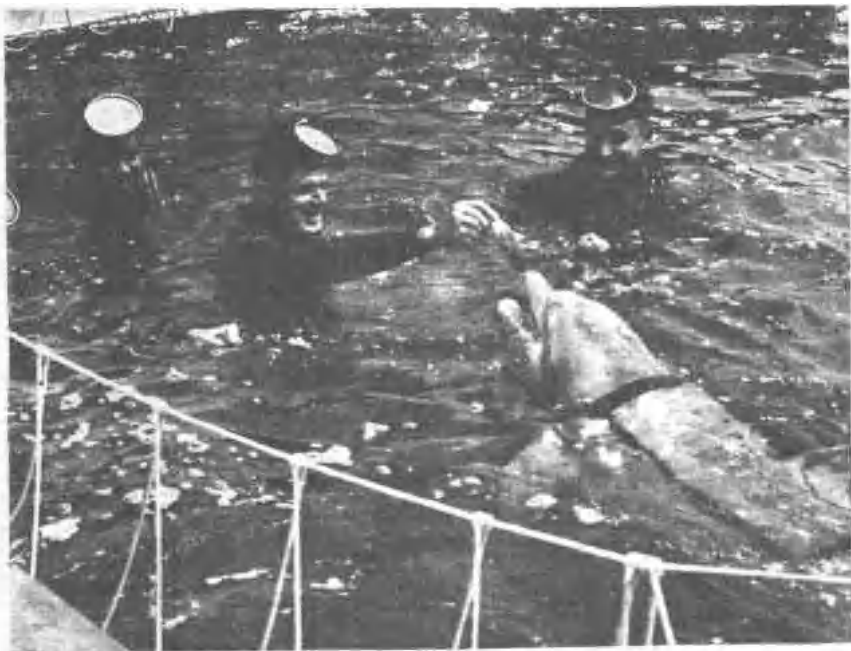
〔註二〕這些裝置以後還會一再的提到，詳情請見本文庫中的「放射性同位素動力」。

〔註三〕見本文庫中的「核反應器」，它敘述分裂過程和反應器如何地運轉。

們能夠追溯到一些重要物理的海洋學現象，就如這稱為循環的冗長過程，把它富有氧的表水輸送到深處去，而把富有營養的底層水送到表面來。放射性同位素示踪劑也提供了一項工具來研究沿海土地的變遷作用，此項作用使得有些海岸一直在下沉而有些則在上昇。這種示踪劑也可以使我們知道，是否海洋過程把落塵粒子集中起來達到危險的劑量，經由食物鏈而送到我們的餐桌上。（註四）

利用其他核能技術，我們更容易探知深海沖積物的年代和組成，以及它們沈澱的速率，tsunami（潮波）如何能傳越到這麼遠的距離，海洋中的潮流怎麼樣流動，每年秋季卡羅林納海濱的小褐蝦就消失

圖 3 海軍人員正在從事海底研究前的準備工作，它們飼養一種友善的海豚，名叫 Tuffy，它在以後的“人類在海中”計劃裏擔任著消息的傳遞。



〔註四〕本題目進一步的情形請見「核試爆的落塵」。

掉，還有鮪魚、旗魚和其他有食用價值的魚的游踪。

尋求海洋世界，我們僅得到了一些答案——對於魚類的增產甚為重要，更準確的長程天氣預報，可能控制住颶風和颱風，污穢物質的控制，更安全更經濟的船運，更佳的美樂，和許多其他與我們健康，幸福以及日常生活有關的事情。

在所有這些努力之中，海洋施出了極大的影響力。而在每一項裏，原子能幫助我們獲取了答案。

海洋世界

使用原子，我們對於周圍環境中的什麼東西，會投以熱切和期望的眼光呢？因為從來就沒有——本書對海做過非常詳盡的敘述，在此，我們準備簡單的描述一下。

海洋世界覆蓋著我們地球表面百分之七十點八，包含有 324,000,000 立方哩的海水。生活於其中的動植物，其種類不下百萬種之多。它的範圍由只能用顯微鏡觀看的單細胞生物，到曾經在地球上生存過的最大動物——巨大的藍鯨，捕獲的標本長度超過九十呎重達一百噸。

海洋的深度，從大陸邊緣上暗礁的六百呎不到，到馬里亞納海溝（**Marianas Trench**）的三萬五千呎以上。平均深度為 12,451 呎。海底地形包括着廣闊的平原，世界上最長的山脈，峻陡的“**guyots**”

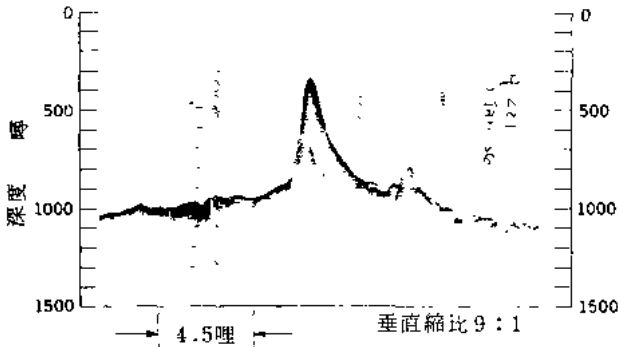


圖 4 由Woods Hole海洋學院的回聲聲納在Caribbean地區繪得的海底山脈。深度是以聲音由儀器中發射到達海底再回到水面所需的時間而得。

高峯，平緩的斜坡，窄狹的河谷，險峻的峭壁。比埃佛勒斯峯（Everest）還高的山，由海洋底部升起還未能穿出水面。

海洋運動

海洋通常都在運動狀態中——不僅波浪及潮汐可以標示出它的表面，而且在大陸之間有巨股的水流在打着漩渦，把大量的熱由世界的一處帶到另一處。在表面流的下面深藏著另外一種水流，它通常不會

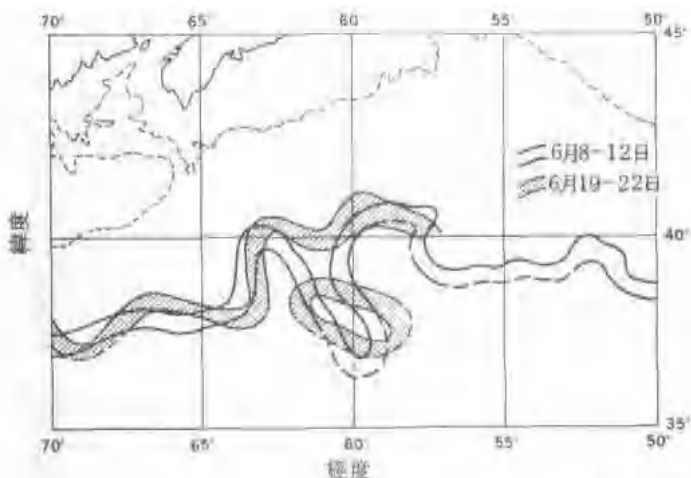


圖 5 六艘探測船經過兩個星期的探測，發現了流經大西洋的灣流路線的變化情形。紅外線照像底片上顯示出了灣流的邊緣。右邊的灣流與拉布拉多寒流之間有條明顯的分界線，而充滿馬尾藻的拉布拉多水集中在表面。



與表面流的方向相差太多。

這些巨大的「河流」——十分不穩定，有時移動著，通常它的支流與漩渦的形態跟我們所解釋和預言的大相違背——時常造成了大災難。例子之一是 El Nino，發生於南美洲西海岸的週期性大災難。這一段海岸通常都籠罩著寒冷而富於生物的漢堡流（Humboldt current）。通常漢堡流緊貼著海岸，而且延伸到海外 200 至 300 哩之遙，且富於生命。它生長著世界上最大的商業用魚類，而且根據記錄是一種最具娛樂性的黑馬林魚的成長地。由水中獲取食物的海鳥的排泄物，可以當肥料（guano）用，是智利、秘魯以及厄瓜多爾的經濟來源之一。

然而，每隔數年，漢堡流就消失掉。它遠離了海岸或沈入海裏，取而代之的是一股我們稱之為 El Nino 的溫暖的表水。同時，傾盆的大雨襲擊著這一段海岸，魚類和鳥類成千成萬的死去。漁業貿易中止。海濱充滿著屍臭。El Nino 完全證明了人類對於海的依賴性，使我們不得不對它作更深的瞭解。

在動盪不定的海中，還有其他的運動。流動的海水也許要花數百年的時間才能循環一周，它主要的作用是把氧帶給深海裏的動物，而把營養物（肥料）由海底帶到海表面。漂浮的浮生植物（海中的植物）經由光合作用（photosynthesis），產生有機物質，它將會再構成營養循環。大量的這種細小的海生植物，不同於生長在土壤上的，被好幾哩垂直的海水和陸地隔開。有時候，一種快速的深水巨浪衝上海面，這種過程稱為漲潮（upwelling）。

在密度不同的水之間有內波浪（internal waves）存在着，它遠在水平面之下，且會有相對運動。這些波浪很像在水面上由風推動的波浪，只不過稍大些：內波浪可能有三百呎以上的高度以及六哩以上的長度！

海的其他運動之間有崩裂或亂流，它混雜著泥巴、岩石、沙子、以及水，並以每一分鐘一哩的速度衝落到海底山脈的山腳下。它沿途摧毀一切東西，在深淵裏的平原上展開了碎片形成的雲，就像下了一場沙雷雨一般，所產生的沈澱由斜坡的根基像扇子形般的散佈開來。於是就有了 tsunami 或海震波，一般錯叫為「潮波」，它由海底地震

或火山爆發來傳遞能量。在海中，這些波只有幾吋高而已，但是它可能以每小時500哩的速度傳到很遠的地方。當它接近海岸淺灘時，它的速度被減低到每小時30哩，同時變成了巨大的海浪，可以摧毀港口和海岸建築。

圖6 雙原子的 *Corethron hystrix* 的分開細胞圖。雙原子單細胞的光合植物是淡水中有機物的原始產物。

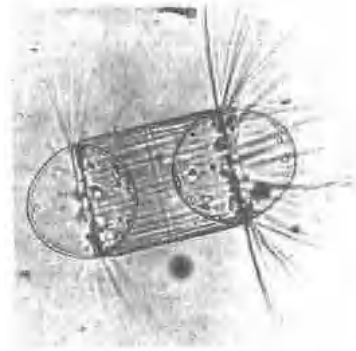


圖7 在加利福尼亞州 Baja 外海的一處海底峽谷，海流把沙土由附近的海灘上沖落到這個「沙瀑布」，高度有三十呎以上。



元素的混合

海洋也是一種化學。在可度量的範圍內，有六十種以上的元素以溶液或懸膠液態存在於海洋中。其中大部分以鹽的形態存在著，使海水成爲具有電解性，和高侵蝕性的流體。腐蝕的研究和與海奮鬥的技術仍然是核能繼續在努力的目標。

由於海洋的化學，對於世界上日漸成長的工業需求而言是一種潛在的礦物資源。目前，我們所有的鎂和大部分的溴都是由海水中直接提取出來的。油和硫磺礦儲藏在海底或更下層，就像煤（英國及日本）、鐵礦（日本）、錫（泰國及英國）、鑽石（西南非）以及金礦（阿拉斯加）一般。在覆蓋著海洋流域底面深達數千呎的沖積層裏，地質學家相信，也許可以在這兒發現一些地球歷史的斷簡殘篇。



圖8 此類含有鎂元素的瘤狀體，覆蓋在海底下數百萬英畝的土地上。許多瘤狀體富有鎳、鈷、鋅、和銅。冶金學家正在尋求方法去把這些金屬提煉出來。

海洋是一種不透明的流體，光線只能穿過百呎左右，而大部分其他的輻射能只不過幾碼而已；可是，就同樣的流體而言，聲波卻可以傳遞到好幾千哩之遙。

海的接觸面

海的接觸面是什麼？地表面四分之三以上有水 and 空氣接觸著，不斷的交換熱量和溼氣。這是改變天氣和氣候的一個主要因素。海不斷地經由在水表面小爆裂氣泡的電子擦洗作用（**electron-scrubbing action**），而把電送入空氣中。它也把小粒結晶鹽和微細海生物的殘餘物送入空氣中。也許，溼氣會凝結在原子核上，因而觸發了颶風，由於它帶有空氣蒸發的潛熱，使得熱帶海面上過份的潮溼，因而也就儲存了颶風的能量。

在大地的邊緣，海——有時溫和地，有時猛烈地——裂開了岩石的峭壁，開鑿著海灣和港口，造成了海峽，搗毀防坡堤，把泥沙帶上海岸又沖入海裏去。

海的資源

大略而言，海洋，這個我們地球上最大的地理學特別單元，是十分的善變和複雜的。我們正要以我們從未料想過的方法來研究這個負擔了我們代代生命的地區。它是我們激增中的人口之最大食物來源，是支持世界工業負擔的最大礦物資源，最大能源，當然也是最大的水源。它是人類最大的垃圾場，可以用來處理城市以及工業所產生的廢物，也是快樂和娛樂的泉源。

經過實驗，人們可以在水底下生活數週之久。海底實驗室和軍事基地，兩者都在計劃中或已建造中。海底採礦的機械設計也已在構想中。可以把娛樂性的海底旅館很安全地建造在靜止的水面下，這只是時間上的問題而已。私人的娛樂用潛水艇，雖然也許貴了一點，但也有可能實現。不難想像的，在不久的將來，人類可由人口氾濫著的陸地上，移居到一個完全自給自足的海底社會。

核能的任務

核能在海洋的研究、勘探以及利用等任務上的最好說明是，引用美國原子能委員會（AEC）在海洋學方面的特殊興趣：發展較為良好的儀器和裝置，以供海洋中工作及研究之用，發展十分強大的海洋電力，變海水為淡水，海洋界線的可能變更，對進一步的知識作純科學性的探討，而且，至少可以間接地改進海洋工程的狀況。核子時代的技術性產物是放射核種（radionuclides）中子源及其他輻射源，放射性同位素熱能和發電機，以及核反應器。所有這些都被應用到與海洋問題有關的工作上。

AEC的幾個部門對於海洋學十分地感到興趣。研究部以及生物和醫藥部的環境科學支部，都主辦過和指導過純粹海洋學的研究；同位素發展部發展和研究儀器以供海洋上的應用；同時，反應器發展及技術部對核反應器的安全性和有效性都十分的重視。AEC在海洋學方面的特別計劃的摘要表，見表一。

海中的放射性核種

在跟隨著原子進入海底之前，我們應該考慮到，當我們最進步的技術之一侵入了地球上最不瞭解的環境之一，此時我們可能會遭遇到一些或好或壞的潛在問題。研究人造放射性在海中的情形，以及海洋

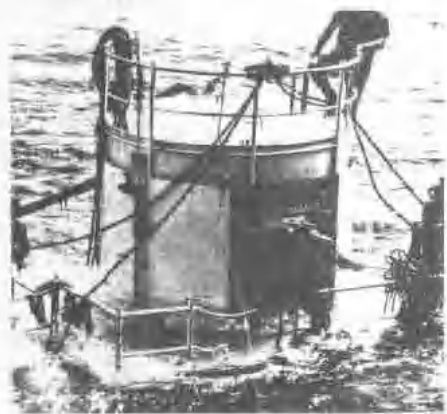


圖9 1965年美國海軍在“人類在海中”計劃下從事了45天的實驗，十名船員在加利福尼亞州的La Jolla外海，海平面205呎下生活和工作。他們的海底基地是海實驗室二號（Sea lab II）上面的照片攝於命名儀式時，下面的攝於潛水前的最後檢查。他們從事些實驗性的救護工作，海底研究，並經過了一系列的生理和心理測驗。

表

AEC海洋學計劃	1968年 經費估計
研究活動	
生物及醫藥部	\$ 4,000,000
研究放射性同位素在海生物中的濃度，分佈和效應，研究元素的地質化學循環，以及地質物理的擴散和遷移。	
研究部	25,000
研究珊瑚和其他海裏或陸地上石灰質物質的地質年代。	
同位素發展部	190,000
應用到海洋系統的放射性同位素裝置，如水流表，沖積層礦物的分析和發現，水底聲音的傳遞。	
反應器發展和技術部	197,000
研究影響意外釋放出的放射核種的溶解和散佈之各種因素，以及估計它的位置。	
太空核系統部	275,000
核動力源應用於太空船上。	
軍事應用部	850,000
海洋環境的觀察和預測。	
研究活動總經費	5,537,000
工程活動	
反應器發展和技術部	5,900,000
放射性同位素以及反應器動力發展。	
海軍反應器部	1,320,000
研究用深海潛水車。	
工程活動總經費	7,220,000
AEC海洋學計劃總經費	12,757,000

本身不受污染的問題，這些冒險性的探測已經分門別類的展開著。

由自然輻射源或自從 1945 年以來美國和其他國家所完成的核能運轉，可以找到放射性核種（放射性原子）進入海裏的踪跡。過去所產生的特殊人造源包括有，大氣中或水底下的核試爆，核反應器，實驗器和核動力船的冷却水和廢料，海中處理放射性廢料的容器（註五），放射性同位素能量裝置，爲了科學研究用而故意放入海中的放射性同位素示踪劑。將來，也許會包括了核子火箭的首節或供給衛星用核能源的再進入大氣層。

圖 10 照片上用水道測量線繫著的南森（Nansen）瓶是海洋學所用的標準工具之一。當這種瓶子降到預定的深度時，一個可以滑動的重塊使它傾斜而成上下倒置以便收集標本。南森瓶旁邊的溫度計則記下海水的溫度。這種裝置是那威的海洋學者和探測者南森所設計的。



爲了估計這些物質對海洋環境的影響，我們必須知道許多的事情。諸如：放入了多少輻射？什麼樣的形式？放在什麼地方比較恰當？在物理、化學、生物和地質上，這些放射核種如何的分佈和聚集著？每一狀況的最後結果是什麼？以及此後幾年它會變成什麼？

這些問題很不容易答覆。到目前爲止，沒有滿意的實驗室取代開放的海洋。大部分的研究都是在海面上進行，在此測量工作很難達到準確，因此它的結果也令人產生懷疑。此外，假如我們要研究人類所導致的改變對於自然環境有何影響，最好在改變未發生前就已知道了環境的特性——但對於這唯一並又巨大的海洋，我們不能夠。因此，

〔註五〕本題目的詳細討論和 A E C 所做的安全測量，請見本文庫中的「放射性廢料」。

表二 海水中42種元素的濃度及數量

元素	濃度 (毫克/升)	海水中元素數量 (噸/哩 ³)	海洋中元素總數量 (噸)
氯	19,000.0	89.5×10^6	29.3×10^{15}
鈉	10,500.0	49.5×10^6	16.3×10^{15}
鎂	1,350.0	6.4×10^6	2.1×10^{15}
硫	885.0	4.2×10^6	1.4×10^{15}
鈣	400.0	1.9×10^6	0.6×10^{15}
鉀	380.0	1.8×10^6	0.6×10^{15}
溴	65.0	306,000	0.1×10^{15}
碘	28.0	132,000	0.04×10^{15}
鋁	8.0	38,000	$12,000 \times 10^9$
矽	4.6	23,000	$7,100 \times 10^9$
砂	3.0	14,000	$4,700 \times 10^9$
錳	0.17	800	260×10^9
鐵	0.12	570	190×10^9
磷	0.07	330	110×10^9
碘	0.06	280	93×10^9
銀	0.03	140	47×10^9
銻	0.02	94	31×10^9
鉍	0.01	47	16×10^9
鐵	0.01	47	16×10^9
鉛	0.01	47	16×10^9
鋇	0.01	47	16×10^9
銻	0.004	19	6×10^9
錳	0.003	14	5×10^9
銅	0.003	14	5×10^9
鉀	0.003	14	5×10^9
鉍	0.003	14	5×10^9
鉍	0.002	9	3×10^9
錳	0.002	9	3×10^9
錳	0.002	9	3×10^9
錳	0.0005	2	0.8×10^9
鈷	0.0005	2	0.8×10^9
鉍	0.0005	2	0.8×10^9
鉍	0.0004	2	0.6×10^9
鉍	0.0003	1	5×10^8
鉍	0.0001	0.5	150×10^6
鉍	0.0001	0.5	150×10^6
鉍	0.00005	0.2	78×10^6
鉍	0.00005	0.2	78×10^6
鉍	0.00003	0.1	46×10^6
鉍	0.00003	0.1	46×10^6
鉍	0.000004	0.02	6×10^6
鉍	1×10^{-10}	5×10^7	150

採自「海中的礦物資源」 John L. Mero 著作，1964年，紐約 Elsevier 公司出版。