

陽光無法眷顧的寶貝

深層海水的成因與特性

節水服務團 / 徐仕昇 整理

一、前言

台灣東部具有發展深層海水產業的優越地理環境及海域條件，深層海水含豐富的氮、矽、磷，以及人體所需要微量元素鎂、鉀、鈣、鐵、鋅等，被喻為「陽光無法眷顧的寶貝」。在國外它被利用的領域，除了水產事業、水和電力資源利用外，還包括醫藥、化妝、健康食品、飲料等產業。也因此許多地方稱它為「神水」，並已經成熟發展應用技術及產業。

本刊連續兩期以深層海水為題，分別介紹深層海水的定義、特性、多元產業應用潛力；以及我國發展相關產業，創造「高創新效益、高附加價值、高成長潛力」、

「產值大、創造就業機會大、產業關聯大」、「具有國際潛在競爭優勢」及「產業參與配合程度高」特質服務型產業的策略思考。

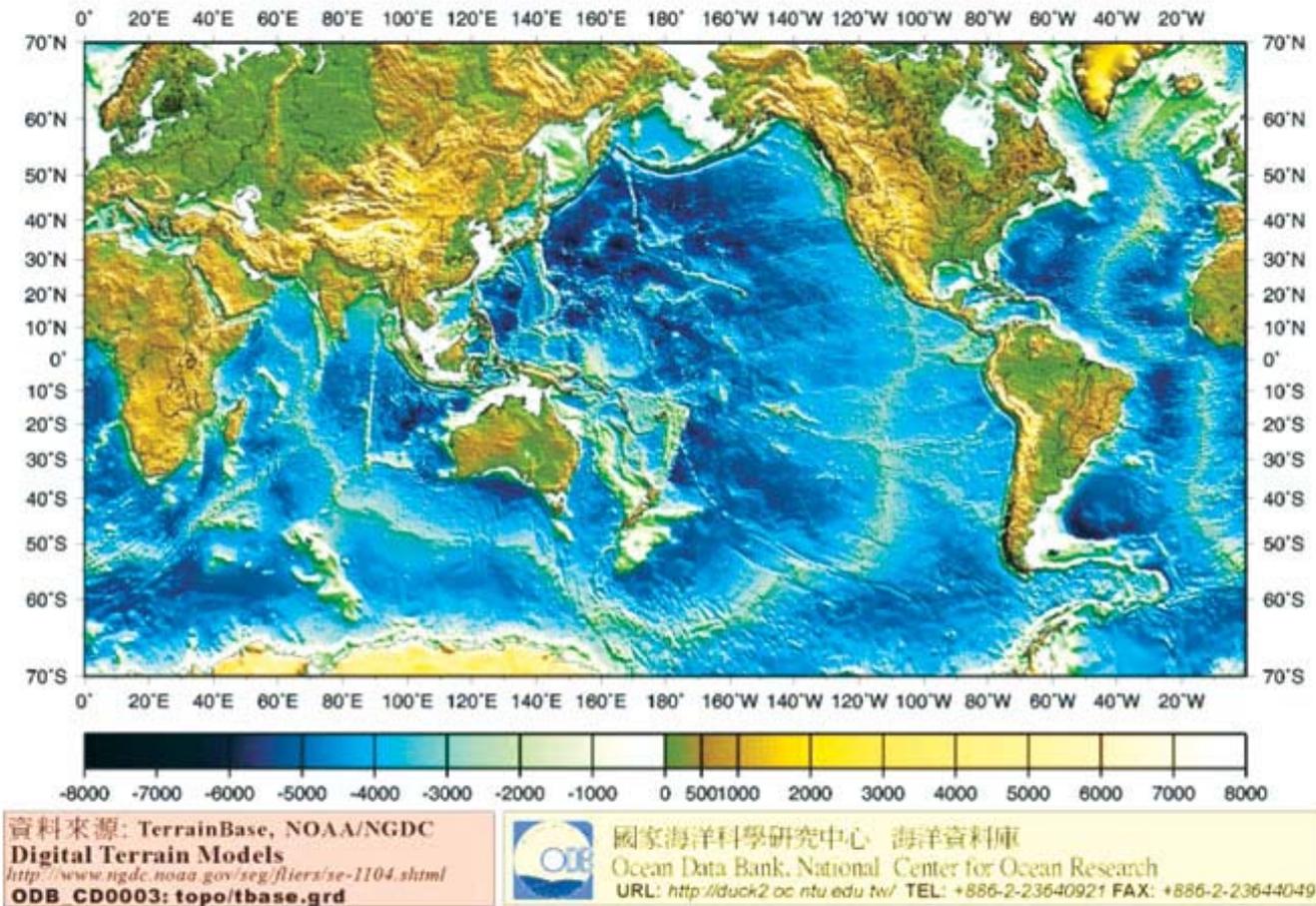
然而對於大自然中為何存在深層海水？以及深層海水為什麼會具有前期文章所說的各種特性？各種特性中微量礦物這種低含量物質為何受到矚目？等大家直覺的疑問，本文蒐集整理相關資料來說明這些問題，希望讀者可以從中增進對深層海水的了解。

二、海水溫度垂直分佈

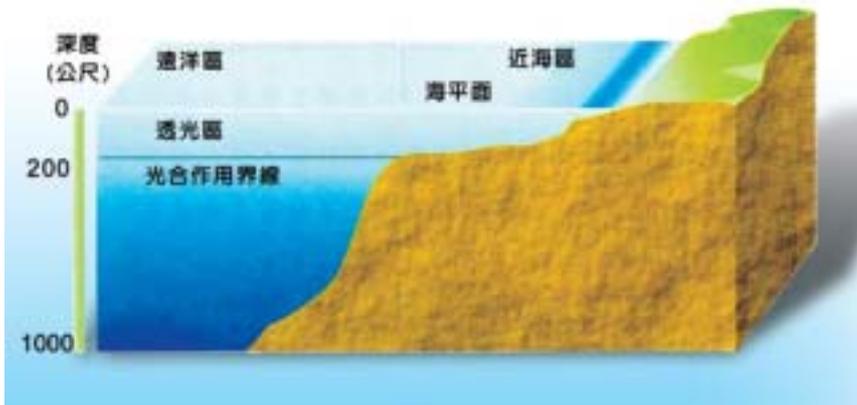
海洋一般平均深度大約是 4,000 公尺(如圖 1 所示)，因為陽光頂多只能穿透大約 200 公尺左右，約在 200 公尺以下便完全黑暗無光(如圖 2 所示)。因此，靠光合作用製造養份的海生植物只能存在於海水表面的一層。假如我們測量不同深度的海水溫度，很容易就發現海水愈深溫度愈低深度與溫度的關係(如圖 3 所示)。



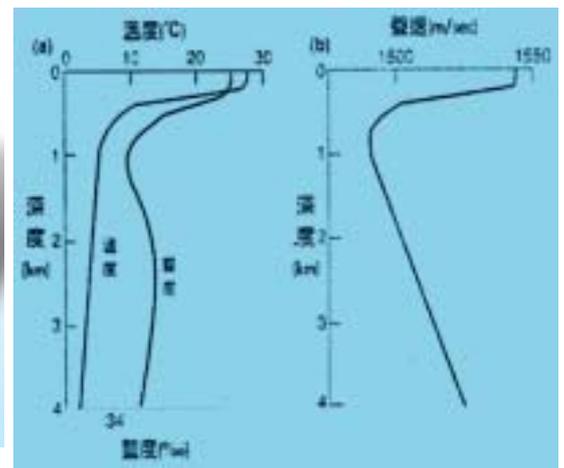
►圖 1 全球地形水深圖



►圖 2 光合作用水深範圍



►圖 3 鹽度、溫度、聲速與水深關係示意圖



很明顯地，由溫度變化的情形我們可以將海水劃分為三層：第一層為從海水面到大約 1、200 公尺深的地方，這裡海水的溫度幾乎不隨著深度而變化。這是因為海水面有風浪，同時直接受到太陽的熱量，這些海水很容易混合在一起，而保持上下的溫度不變，我們稱這層為表層海水，也有人稱之混合層。第二層大約從 1、200 公尺到 1,000 公尺左右，溫度很快地隨著深度而遞減。例如一般熱帶海洋，

溫度從攝氏 25 度降低到 5 度左右。我們稱這層為主要溫變層（Main thermocline）。溫度變化的原因是熱量的供給愈深愈少，距溫暖的表層近些的海水溫度高些，而距表層遠的海水則冷些。第三層叫深層海水，包括所有 1,000 公尺左右以下一直到海底的海水。這一層溫度沒有多少變化，大約從 5 度到 2 度左右。它的特點是溫度很低，因為根本得不到熱源。

氧的溶解度和溫度又有密切關係，溫度愈低，溶解度就愈高，所以水愈冷，含氧量會愈高，但總體而言，其量還是相當低，如在 20 3.5%的每公升海水中只含有 5.4 毫升的氧氣。氧氣在海洋的含量也隨不同深度而異，通常在水表層由浮游植物的光合作用以及大氣層的擴散作用，而含量最高，甚至呈過飽和的狀態。在水深 20 公尺以下則隨著水深而含量遞減，至 500 1,000 公尺的地方達最小值，這是因為這裡的生物會消耗氧氣，卻又缺乏浮游植物光合作用的緣故。在這最少含氧層以下的水層，由於含氧高的深海海水流入，含氧量又再次增加。

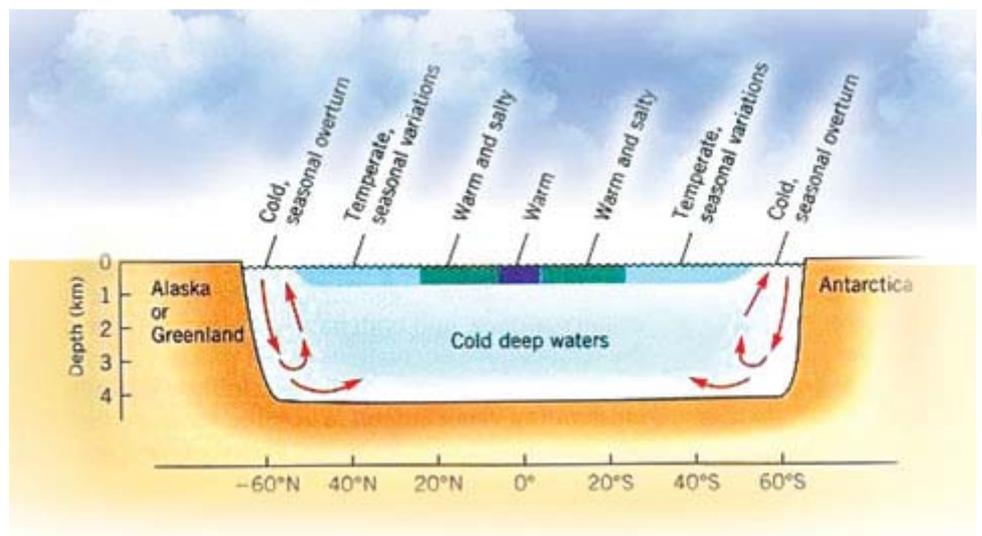
►圖 4 海洋之南北縱斷面示意圖

(摘自 Stowe, K. (1995) "Exploring Ocean Science", 2th ed.)

三、海水溫度水平分佈

如圖 4 所示，上述這種明顯的海水溫度、深度分層只限於南北緯 60 度之間。南北兩極周圍的海水沒有那麼明顯的差別，因為表層和深層的海水都是一般的冷。

在那些溫度分層清楚的地方，主要溫變層就如同障礙一般很有效地將表層和深層的海水分開，因為在這一層內上面溫度較高，下面低，不能引起上下的對流，因而形成很穩定的一帶。表層的溫水不容易到達深海，深海的冷水也很少有機會上昇到表層。



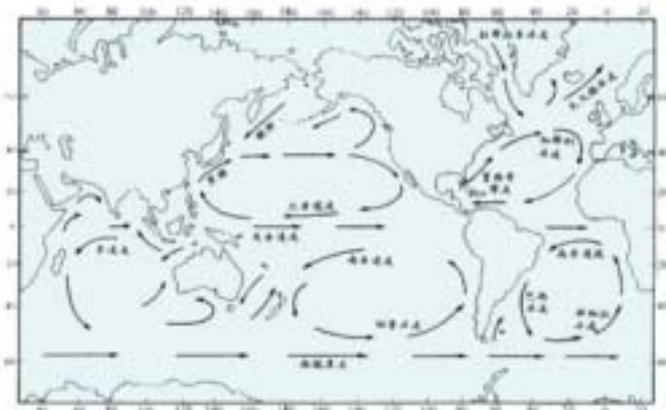
四、表面洋流

海洋水團的移動表現就是洋流，洋流是指海水朝一定方向的水平流動，主要是由海上的風向、地球的轉動和海水密度的不同等因素所共同造成的，我們也可以把它們想像成是在海上流動的河流。世界上主要的洋流系統如圖 5 所示，都是由於受到一些主要風帶上的風如圖 6 所示，不斷吹襲之下所產

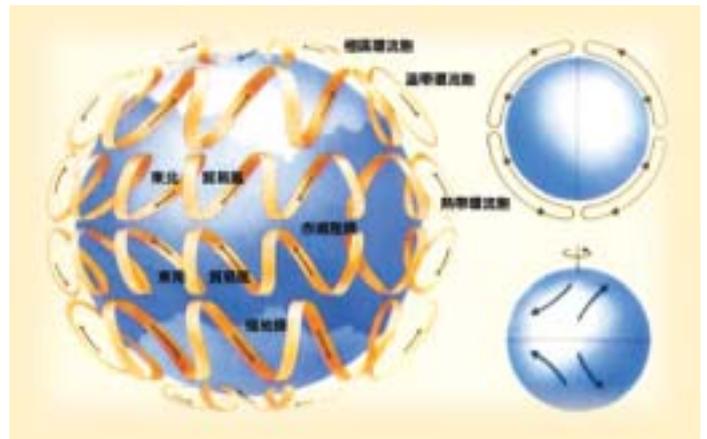
生的，這些風帶包括位在於赤道和北緯 30 度間的東北信風帶，和位在赤道和南緯之間的東南信風帶。所以北太平洋和北大西洋岸的主要洋流，都是順時針方向朝北流動，再朝東橫越大洋後，朝南與龐大的北赤道洋流交會。南半球的流向則相反，是逆時針。至於洋流的流速，是以節來計算，即每小時的哩數或每秒公分數(1 節 = 51.48 公分 / 秒)。通常在大洋西邊的洋流流速最快，如墨西哥灣流和流經台灣東岸的黑潮，流速均可達 4 5 節，而其他地區洋流的流速常不到 1 節。

洋流的流速雖不大，但所載送的海水量卻十分驚人，如南極洲周圍，世界上最大的洋流，每秒可載送 10 億噸的海水，相當全球所有河川總輸出量的 100 倍。洋流的流速強或弱，對海洋生物的影響各有利弊，譬如流速強時幼生不易著床，對攝食會有妨礙，但卻有助穩定地區性氧和二氧化碳的變動，加速幼生的擴散，以及有利浮游性食物的供應及攝取。反之，流速過弱的海域，會使海洋中氧含量降低，浮游生物的供應減少，對幼生的擴散分布不利。若流速過慢時，甚至會造成沈積加速淤積，這些懸浮物或沈積物會妨礙海洋生物的攝食和呼吸，進而造成窒息及死亡。當水流交換差時所產生硫化氫等還原性物質，也會造成地區性氧和二氧化碳濃度的劇烈變動。

►圖 5 世界上主要的洋流系統



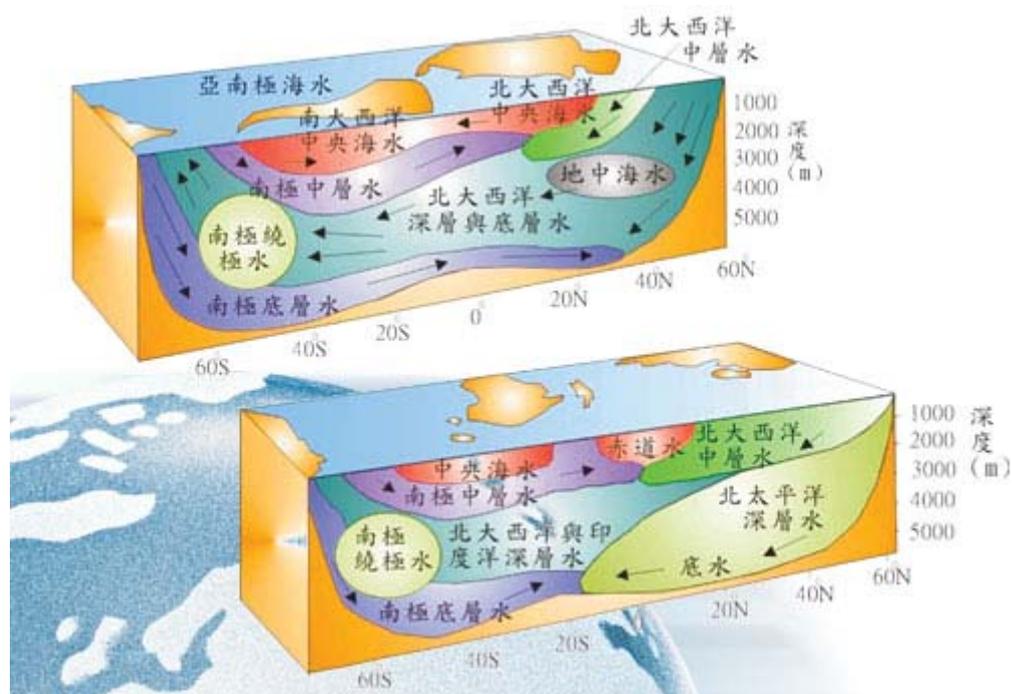
►圖 6 全球風帶示意圖



五、深層海洋環流

►圖 7 深層海洋環流示意圖

眾所周知海洋表面是流動的，可是在深海 1、2,000 公尺以下是否還會流動呢？以往認為深海是沉靜的死海。但近幾十年來不斷地研究，發現深海也是在流動的，其實整個世界的海洋都在交流著互相混合，如圖 7 所示，大西洋的深海水流經印度洋而混入太平洋；南北兩極的海水也經由大西洋而互相交流。在南極周圍海水溫度很低，由於結冰而使海水鹽度增高（因為冰裡幾乎

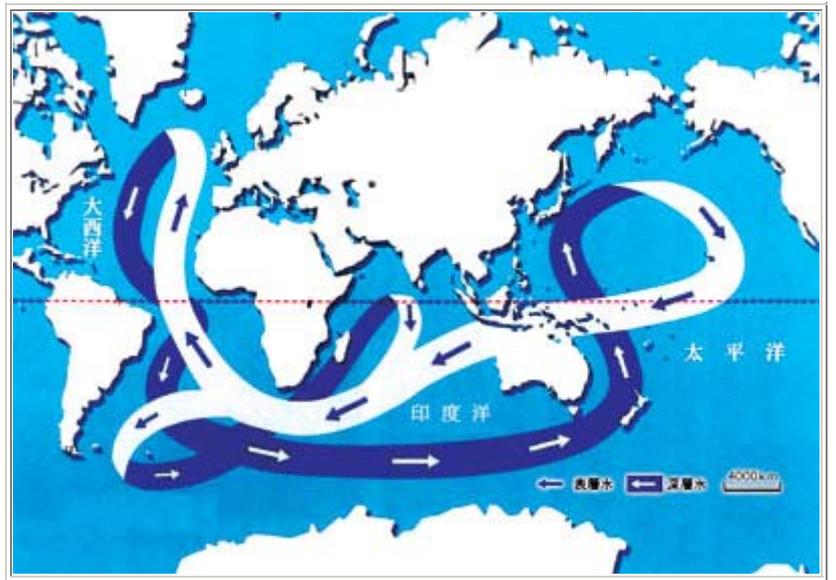


不含鹽），這種密度比其他地方高的海水很自然地往海底下沉，而後沿著海底往北流。在這南極底流上面有一層深流，大約在 2、3,000 公尺左右，是從北大西洋往南極的，這海水補充了南極下沉的海水。

在南極另有一種叫「間流」（Intermediate Water），海水下沉到 1,000 公尺左右便開始往北流，於是在北大西洋深流（North Atlantic Deep Water）上層的南極間流補充了往南流的海水。在這三層海流之間也常有上下混合的作用。在前面我們曾提到深海的溫度很低，其實深海的海水就是由南北兩極附近的表面海水下沉到海底而後流向赤道方向而成。由於深海充滿了南北極的冷水，難怪溫度會那麼低了。因此，我們可以直接說深海底的海水在兩極一帶露出水面和空氣接觸，這些深層均勻的海水只能以海流的動力才能衝破溫變層而上昇到表層。同理，表層的海水也只有經由反方向的海流才能容易穿過溫變層而下沉到深層去。不過，這種表層和深層的混合方法只局限在少數地區而已。就整個海洋來說，主要還是靠渦流（Eddy diffusion）或分子擴散作用以溫度層為中間媒介而使得表層和深層海水慢慢地混合。

六、深層水團水齡

深層水團的流動非常緩慢，通常需要數百年的時間才能越過整個海盆。例如圖 8 所示：北大西洋深層水團自冰島附近下沉後，在南極附近浮上重見天日所需的時間約需數百年左右。在南極附近浮上表層的海水，則會同時挾帶大量累積於無光帶以下、多年未被利用的無機營養鹽，如硝酸和磷酸，這也是為什麼南極附近海域的生產力很高，或成為糠蝦（南極蝦）主要漁場的主要因素。



科學家曾經很精密地利用海水中的放射性元素碳 14 估計一個深層海水分子平均需要 1,600 年左右，才有一次機會能到達溫暖的表層。這樣慢慢的混合速率也說明了所以將海洋垂直分割成兩層的原因。儘管這個混合速率是那麼的慢，它卻是海洋化學元素循環中最重要的一部份，也是海洋生物維持生命不可或缺的重要因素之一。

七、海洋化學元素循環

什麼叫做海洋化學元素循環？先從海水中的鹽是從哪來的來說，圖 9 顯示陸地上的火山噴發，沙塵暴以及河流均會帶入大量的鈉、鎂、鈣、硫、碳、氯等元素進入海中，海底的中洋脊處也會輸入相當數量的鹽類元素。當然，如果只有鹽類元素不斷的輸入海洋，海水會變得越來越鹹 (水氣蒸發是不會帶走鹽類元素的)。好在海洋中的生物會吸收許多的鹽類物質，而化學吸附與沉澱作用也會將部份海水中的鹽類轉為沉積物型態。從沉積物中所含的鹽分濃度推測，海水中溶解的鹽類維持在一個穩定的狀態。海水中的鹽類中有許多是海洋生物生長所需，稱為營養鹽 (如硝酸鹽、矽酸鹽、磷酸鹽等)。富含營養鹽的海域常形成良好的漁場。

與海洋生物有關係的幾個重要元素例如碳、氮及磷，這些元素在表層海水中被海生植物吸取以製造養份，而後海生動物如魚類等採食海生植物而生存。當海生動物死亡時就從表層下沉到深層，在此早有很多腐食生物已經等著它，利用深層海水中所含的氧氣將生物屍體氧化分解，然後把元素放回到深海水中。這些元素隨著深海流的循環，溫變層緩慢混合作用而上昇回到表層海水中，準備著另一循

環的開始，如此這般，這些元素週而復始，不斷地維持聚集在表層海水中生物的生命。

八、礦物質與健康

►圖 9 海水中鹽類循環示意圖

對人健康而言，人體所需的礦物質，根據美國農業部國家研究諮詢會的分類，可分為巨量礦物質 (macro minerals) 及稀有礦物質 (trace minerals)，人體每日需要達 100mg 以上，包括鈣 (calcium)、氯 (chlorine)、鈉 (sodium)、鉀 (potassium)、磷 (phosphorus)、鎂 (magnesium) 及硫 (sulfur) 等七種，其餘人體每日需要達 100mg 以下者，稱為稀有礦物質 (trace minerals)。



礦物質參與人體各項的酵素活動、平衡體液及能量補給等生化反應，擔任其中重要的觸媒角色，當人體缺少足量的礦物質時，會遲滯或破壞正常功能，終將造成人體基因突變、免疫功能及內分泌失調、皮膚病變、生成癌細胞及腫瘤，加速身體老化等症候。礦物質參與人體的生理功用如表 1 所示。

►圖 9 海水中鹽類循環示意圖

保護心臟、調整血糖及血壓	Na、Mg、Cr、Co、V、Zn、Cu
增強腦力、促進神經傳導	K、Mo
促進骨骼、牙齒發育及預防禿髮	Ca、P、S、F、Si、Sn、B
催化細胞代謝、補血、 增強氧氣運送、改善肌肉無力症	Mg、P、S、Fe、Ni、Co、Ge、La、Mo
抗老化	Zn、Cu、Se、Mn、Ge
促進荷爾蒙組成	I
調整體液	Cl、Na、K
保護心臟、調整血糖及血壓	Na、Mg、Cr、Co、V、Zn、Cu

人體長期缺乏礦物質，會減低體內酵素活動，減抑免疫功能及內分泌平衡，增加慢性疾病的發生機會。在過去國人十大死因的統計中，惡性腫瘤（即癌症）、腦血管疾病、心臟疾病、糖尿病、慢性

肝病、腎炎腎症候群及腎變性病、肺炎、支氣管炎、肺氣腫及氣喘，都屬於慢性疾病的範圍。如何預防慢性疾病及其併發症的發生，達到延長生命並增進生活品質，是二十一世紀醫學界的首要課題。預防疾病比起治療疾病來的更容易、更實際、而且更經濟。一個著名的美國營養權威曾指出：“一種能確實解決(美國)民眾容易受到感染的狀況就是(藉由食品)補充均衡比例的鐵、銅及其他的礦物質。”這種方法能有效刺激身體受感染時激發的自體免疫功能，達到其他醫療方法及人工藥物所無法比擬的功效。

在促進人體生化正常反應中，維生素的地位也不容忽視。維生素又稱維他命，包括脂溶性(A、D、E、K)及水溶性(B、C、生物素及葉酸)等 20 餘種，能維護體內系統正常功能，幫助細胞及蛋白質代謝，促進骨骼及牙齒生長，減緩老化。維生素屬於大分子結構，大部分無法由人體自行合成，必需藉由食物吸收，而讓維生素發揮其功能，關鍵在於是否有微量元素共同參與，缺少維生素，生化反應尚且能依靠礦物質完成，但缺少了礦物質，維生素就會失去作用。因此營養食品只提供維生素是不夠的，還需包括均衡的微量元素方能畢竟其功，而有些維生素成份是由化學合成製造，往往容易對人體產生不良的影響。

九、人體礦物質來源改變

以往人類礦物質來源主要靠食物中的蔬菜、水果供應。蔬菜、水果的礦物質主要來自於土壤經由植物有機轉換後留存於植物體內，人類直接食用蔬果或透過食用牲畜間接攝取。然而現在歷經 1、200 年人類濫用化學肥料及過度利用耕地，原本土壤內的豐富礦物質已經消耗殆盡。土壤中可提供多達 80 種以上的礦物質，除使植物進行正常代謝外，並幫助植物成長碩大體型，或增強抵禦嚴酷氣候環境下的生命力。植物有兩種方式取得並利用土壤礦物質，一是由根部吸收已被微生物(organisms)分解可直接吸收的礦物質，一是藉由根部產生酵素分解礦物質再利用。人類耕種偏好氮(nitrate)、磷(phosphorus)、鉀(potassium)等人工肥料，使作物喪失了吸收其他礦物質的機會，再加上同一耕地周而復始的重複使用，已使該地表土壤的礦物質大量耗失，還有除草劑及殺蟲劑普遍地使用，直接殺死土壤中可分解礦物質的微生物，使得土壤提供植物礦物質的途徑更加的困難。由於人為破壞造成的土壤中礦物質匱乏，因此就算攝取再多量的蔬菜水果，也無法提供人體生化功能所需的足量礦物質，缺乏足量且多樣的礦物質參與，人體的各項酵素活動、平衡體液及能量補給等重要生化功能將遭到遲滯或破壞，最後造成人體內的基因突變、免疫功能及內分泌失調、皮膚病變、導致癌細胞及腫瘤生成，加速身體老化的症候。

大自然中存在的金屬態礦物質普遍不能溶於水(具疏水性)，且服用過量會使人中毒，但經生物完

成有機轉換後，卻能擺脫原本金屬態型態會引起細胞中毒的危險，轉變成可完全溶於水(具親水性)的特性，使人體吸收後立時發揮功效，此稱之為”微量元素”，而多量且均衡補充人體天然溫和微量元素是預防新世紀人類慢性疾病的最佳途徑。

鑑於食物已無法提供人體充足的礦物質，有許許多多的研究機構，極力研發能提供足量均衡的礦物質營養補充品，幫助人類遠離慢性疾病侵擾。為了解決食物缺乏礦物質的迫切問題，科學家經過研究，歸納能補充人體礦物質的主要來源：

1. **海水**：陸地地層表土經過雨水及河川的沖刷，土壤中的礦物質會隨著河水匯集入海，沈積並最後完整地保留在深層海水及海床上，經研究證實，海水的滲透壓與人體體液相近，成份亦極為相似，食用經過處理的深層海水，其中的礦物質能輕易被人體吸收。
2. **火山**：地球主要由無機質構成，藉由火山噴發的岩漿，能將地心蘊藏的礦物質覆蓋在表土上，達到自然界自然機制的平衡，火山地區生長的植物(如蘆薈)，能從土壤中有機轉換，使它們雖處在充斥硫磺及缺少水份的惡劣環境，仍能展現充沛的生命力。
3. **植物化石礦**：七千萬年前的侏羅紀時代，地球孕育出體型龐大的生物。當時植物在頭一年能長高 10 公尺，食草性恐龍的嘴巴雖然不比現代馬來的大，卻擁有 30,000 公斤的體重，仍能行動自如，科學研究指出，讓這些碩大的生物能活躍並主宰地球的主要力量，來自於當時土壤提供了豐富且多樣的礦物質。雖然這些遠古生物已經絕跡數千年，但深藏地底的植物化石礦卻仍完整保留當時相同的礦物質，值得多加利用。

十、結語

深層海水之所以被喻為「陽光無法眷顧的寶貝」在於它含豐富的氮、矽、磷，以及人體間康息息相關的微量元素鎂、鉀、鈣、鐵、鋅 等。這些礦物質並非金屬態礦物質，而是經長期大自然洋流循環，多次生物有機轉換而成，可以被人體吸收。在人類長期過度利用土地的農業開發，食物中的微量礦物質已經逐漸稀少，深層海水正可以提供這些不足缺口，因此國外已經成熟發展應用技術，應用的領域，除了水產事業、水和電力資源利用外，還包括醫藥、化妝、健康食品、飲料等產業。也因此許多地方稱它為「神水」。台灣深層海水產業方興未艾，正值投入的時機。未來放眼全球市場，其前景不可謂不好。期望國內學、研單位加緊研究相關課題外，共重要的需要產業界的投入，共同創造台灣深層海水新創事業。