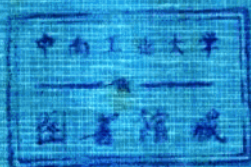


629200

部編大學用書

海洋物理學概論

殷 富 著



國立編譯館 主 編 出 版

部編大學用書

海洋物理學概論

殷 富 著

國 立 編 譯 館 主 出 編 版

中華民國七十三年九月初版

海洋物理學概論

版權所有
翻印必究

全一冊：精裝新台幣 貳佰肆拾 元
 平裝 貳佰

主編者：國 立 編 譯 館

編著者：殷 富

出版者：國 立 編 譯 館
印行者：

館 址：台北市舟山路二四七號

電 話：三 二 一 六 一 七 一

經銷處：黎明文化事業公司

地 址：台北市信義路三段二一三號

電 話：三 九 五 二 五 〇 八

自 序

海洋物理學又稱物理海洋學，是海洋學中的一部份，為研究海洋中各種現象的科學，包括海水的物理特性及海洋學上的要素（如風、潮汐、波浪、海洋、溫度及鹽度等）之地區性變化及週期性變化。

物理海洋學亦為各種應用科學的基礎，其在海洋工程、海岸工程、港灣工程、漁業、氣象及軍事上均廣泛地被運用，對增進人類福祉，開創生活知識的領域均有極為重要的貢獻。

物理海洋學既為研究海洋各種現象的科學，故亦可細分為海流學、潮汐學、波浪學、水中聲學、海洋流體動力學及動力海洋學等，本書不擬在此詳加細述，僅對物理海洋學作一概論性的略述，希望對初學者及在校同學有所助益。

本書係作者利用授課公暇之餘所編印，秉持最嚴謹之態度，期希將錯誤疏漏減至最小，尚祈專家學者賜予指正，以供再版修訂時之參據。

殷 富

中華民國七十三年八月廿日於

中國文化大學海洋學系

海洋物理學概論

目 錄

第一章 緒論	1
第一節 物理海洋學之範圍	1
第二節 物理海洋學之應用	2
第二章 海底的形態	5
第一節 陸及水的分佈	5
第二節 地球表面的形狀	8
第三節 濁流	20
第三章 海水的特性	23
第一節 海水的組成與鹽度	23
第二節 海水的密度	27
第三節 海水的熱膨脹	28
第四節 海水的最大密度與冰點	31
第五節 海水的壓縮性	34
第六節 海水的絕熱溫度變化	36
第七節 海水的比熱	37
第八節 聲音在水中的傳播	38
第九節 滲透壓	44
第十節 光在水中之傳播	46
第十一節 海水能見之深度	51
第十二節 海水的顏色	51
第十三節 海冰	52
第四章 海洋觀測與儀器	57

2 海洋物理學概論	
第一節 早年的海洋探險	57
第二節 海洋研究船	59
第三節 海水樣品之採集	65
第五章 海流	75
第一節 流體運動方程式	76
第二節 連續方程式	80
第三節 地轉流	81
第四節 慣性流	83
第五節 相關流及坡度流	87
第六節 風導流與艾克曼螺旋	89
第七節 海流之觀測	99
第六章 海洋環流及海洋之溫度與鹽度分佈	117
第一節 主要的海流	117
第二節 海洋環流模式	119
第三節 海洋的溫度分佈	122
第四節 海洋的鹽度分佈	138
第五節 溫鹽環流理論	141
第六節 暖水圈之海洋環流	142
第七節 湧昇流	155
第八節 冷水圈之海洋環流	160
第九節 水圈及溫鹽圖	162
第七章 波浪	173
第一節 概述	173
第二節 波浪的分類	173
第三節 波浪理論概要	178
第四節 波浪的波速、波長及水分子運動軌跡	178

第五節	波浪之羣速及能量	187
第六節	有限振幅波理論概說	190
第七節	波浪進入淺水區之變化	192
第八節	波浪之預報	208
第九節	波浪的觀測	229
第十節	台灣各海岸之波浪	234
第十一節	波浪造成之海流	238
第八章	潮汐	243
第一節	潮汐現象	243
第二節	引潮力及引潮位勢	244
第三節	平衡潮理論及平衡潮高	248
第四節	平衡潮理論導出之結論	252
第五節	平衡潮理論的修正	255
第六節	淺海潮及氣象潮	257
第七節	潮汐的型	259
第八節	潮流	261
第九章	潮汐的分析與預報	263
第一節	實測記錄統計法	263
第二節	調和分析法	268
第三節	潮流之調和分析與預報	272
第四節	動力學的潮汐論	274
第五節	海濤	279
第十章	海嘯與暴潮	281
第一節	海嘯	281
第二節	暴潮	285
第十一章	海洋能源的利用	291

4 海洋物理學概論

第一節 潮汐能之利用.....	291
第二節 海流潮流之能源利用.....	294
第三節 波浪能源之利用.....	296
第四節 海水之溫差能源之利用.....	299
第五節 鹽差能源之利用.....	302
參考文獻.....	311

第一章 緒 論

第一節 物理海洋學之範圍

物理海洋學 (Physical Oceanography) 是海洋學 (Oceanography) 中的一部份。故要瞭解物理海洋學必先瞭解海洋學。

海洋學 (Oceanography) 是聚集許多其它科學知識來研究地球表面海洋的科學；它主要是涉及海水的各種特性，如海水的運動，化學組成，物理性質，它與陸塊的關係，與氣象的關係，與各種生物間的關係等。海水運動會造成熱能的傳送、海岸的侵蝕及沉積物之堆積。風在海面上的拖曳力會造成海流與波浪，因此海洋學與氣象學是有密切關係。海上生物的迴游及生活環境等均與生物學有密切關係。幾乎所有一般性的基礎科學均與海洋學有關，也就是幾乎所有一般性的基礎科學均可運用到海洋學方面去。

一般而言，海洋學分爲四大分支：物理海洋學，海洋化學 (Marine Chemistry)，海洋生物學 (Marine Biology) 及海洋地質學 (Marine Geology)。有時它被更細分爲海洋氣象學 (Marine Meteorology)，以及其它工程上的分支，如海岸工程學 (Coastal Engineering) 及海洋工程學 (Oceanic Engineering) 等等。

物理海洋學又稱海洋物理學，是研究在地球之水球 (hydrosphere) 內的結構分佈，運動情形，成分、組成及能量分佈特性。也就是研究海水的物理特性，海洋學上的要素 (如風、潮汐、洋流、地形、溫度、鹽度等) 之地區性變化及週期性變化。

海洋化學是專門研究海水之化學成分與其分佈狀態及各種成分的提煉技術，海水淡化技術，海洋中有機物與無機物之組成與利用，海水污染之分析與防治等等。

2 海洋物理學概論

海洋生物學是研究海洋生物之分類，習性及與海洋環境的關係。

海洋地質學是研究海底地質組成分佈，海盆結構、沉積，海底礦物資源等。

物理海洋學可以更細分為海流學 (Ocean Current)，潮汐學 (Tides)，波浪學 (Ocean Waves)，水中聲學 (Underwater acoustics)，海洋流體動力學 (Marine Hydrodynamics)，冰山海洋學 (Ice Oceanography)，海空反應學 (Air-Sea interaction)，動力海洋學 (Dynamic Oceanography) 及理論物理海洋學 (Theoretical Physical Oceanography) 等。

第二節 物理海洋學之應用

物理海洋學為研究海洋中之各種現象之科學，亦為各種應用科學之基礎，其在海洋工程，海岸工程，港灣工程 (Harbour Engineering)，漁業 (Fishery)，氣象學，航海 (Navigation)，造船及軍事上均為必需精研的重要基本科學。在目前最主要的應用，敘述如下：

一、海洋工程

近年來，由於探油由陸地漸移至海洋，其中以北海 (North Sea) 及墨西哥海灣 (Gulf of Mexico) 之海上探油最為成功。目前，除北海及墨西哥海灣外，印尼、澳洲、台灣海峽、菲律賓、泰國、馬來西亞、韓國、日本、中國大陸等地，莫不在作海上石油之開採及探測。而海上石油之開採及探測，均需要海上鑽油台，而海上鑽油台之設計施工，均需以當地之海流、潮汐及波浪情況作為設計之最主要依據。又海底管線及海底電纜 (Submarine Cable) 之鋪設亦需要瞭解當地之海流，潮汐及波浪情況。又最近日本欲在海洋上設立一海上飛機場，而此等海上結構物之設計，均需要充份的物理海洋情報，作為

設計的基礎。

近年來，石油能源，由於政治上，經濟上及資源上日益感到缺乏，利用海水表層與深層的温度差異來產生新能源（簡稱温差發電），逐漸受到重視，而此温差發電之巨型海上設施，即需要考慮到海流及波浪之大小以設計此設施，使不致被海流沖走及波浪能量所破壞。利用潮汐之發電已成功地在法國、加拿大、蘇俄等地實施。效果甚佳，波浪發電已利用於離島及燈塔之用，大規模經濟利用目前尚在研究中。

二、海岸工程及港灣工程

防波堤，防沙堤，海埔新生地的開發，近海海底管線之鋪設，海岸漂沙的防治等，均需物理海洋的知識以提供洋流，波浪及潮汐等資料，作為研究設計的基礎。又海水的物理及化學性質可以提供海上結構之腐蝕預防知識。

三、航海及造船工程

在航海上，物理海洋的知識可提供船舶航行之一條最迅速與最安全航路。船舶在海上航行時，受到洋流、潮流及波浪影響甚大，尤其在進出狹窄的航道及港口為甚。如能順着洋流前進，則可節省很多的航行時間及燃料，如能繞道波浪小的地方行駛，可減少海難的發生，潮汐之漲落直接影響到船舶在狹窄航道港口之進出，以及貨物之裝載，如能選擇適當潮汐時間進行，可減少很多危險與問題。

在船舶設計時，船殼的強度，必需能抵抗所航行地區之波浪襲擊，又船殼外型的設計必須與波浪頻率相配合，始可消耗最小之馬力而獲最高的航速。

四、氣象上

海空的互相反應對氣象影響很大，由洋流每年將赤道附近的熱能帶到高緯度，證據顯示，其所運輸熱能的多寡，影響到翌年的颱風、氣團的生成與動態，因此若欲作長期的天氣預報，就必須先瞭解洋流

4 海洋物理學概論

的長期變化。

五、漁業方面

湧昇流對漁場之造成，有密切的關係，漁羣之生活環境，與海流、水溫、鹽分、水團均有密切的關係，例如烏魚大多在水溫 20° 至 24° C的範圍內迴游，且在台灣海峽所發現的烏魚是隨大陸沿岸流的冷水團伸展而迴游，最近已發現用聲音，可以吸引漁羣，使漁羣集中，以便捕獲。人工漁礁的設置，提供了漁羣很好的生活居所，它能夠促使漁羣集中及繁殖。但湧昇流之調查，海流、水溫、鹽分的分析，水團動態的預報及人工漁礁設置地區之找尋等，均需要有物理海洋的知識作為基礎。

六、軍事方面

波浪、潮汐及洋流是兩棲作戰最基本的情報，如波浪過大，登陸車艇容易在登陸途中翻覆，一般登陸小艇（LVT）在波高5米以上，即不適宜航行。如在潮汐不適當期間登陸，則大型登陸艦，無法接近海岸，或接近海岸後水位太低無法退出，使下一個潮波的船艦無法登陸或運輸等等，都是一般造成兩棲作戰失敗的主因。

由於海水密度之分佈不均，在反潛作戰上之聲納所發出的聲波，常有死角發生，若潛艇躲藏在該死角內，水面上的艦艇就不易發現該潛艇的所在地，因此，吾人必需瞭解物理海洋，才能作更進一步的發展與應用。

第二章 海底的形態

第一節 陸及水的分佈

地球可以說是一個水球，在全部表面積 $510.1 \times 10^6 \text{km}^2$ 中的 $148.85 \times 10^6 \text{km}^2$ 是陸地，其它 $361.25 \times 10^6 \text{km}^2$ 是被水所覆蓋。在極地，陸地是被覆蓋在冰之下，很難決定陸與水的交界線，但它的誤差，對陸與水的1:2.43比列，影響很小。也可以說，地球表面是29%的陸地及71%的水域。

陸地與水域的分佈是不對稱的，因為陸地是集中在北半球。圖2-1代表陸半球與水半球，陸半球是以 47.25°N ， 2.5°W 即以法國為中心，水半球是以 47.25°S ， 177.5°E ，即近紐西蘭為中心。然而在陸半球亦有53%是水域，而水半球亦有10%的陸地。

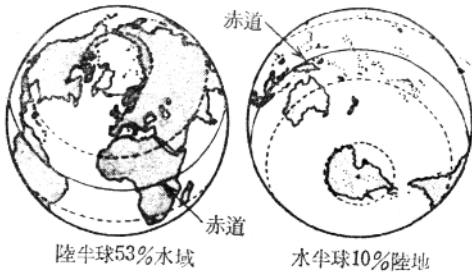


圖 2 — 1 地球上的陸半球及水半球

6 海洋物理學概論

圖 2—2 是在每 5 度緯度內的陸地與海水的百分率比較，從此圖可知，僅在北半球 45° 及 70° 間陸地面積是超過海洋，南半球除了南極大陸外，陸地所佔面積比 25% 的地表少些。在 35° S 及 60° S 間陸地僅佔全部面積的 2.5% 而已。這種水陸在每緯度之分配，對氣候、氣象及海洋，都有很重要的影響。例如在北海的海格蘭島 (Helgoland Island) 與在不同半球，但同緯度的南大西洋布偉島 (Bouvet Island) 比較，在布偉島上永遠是被雪及冰帽所覆蓋，全年的氣溫變化大約在 -4°C 至 2.5°C 之間，水溫大約在 1°C 及 -1°C 之間。而在海格蘭島之水溫，年變化約在 3°C 至 18°C 之間。

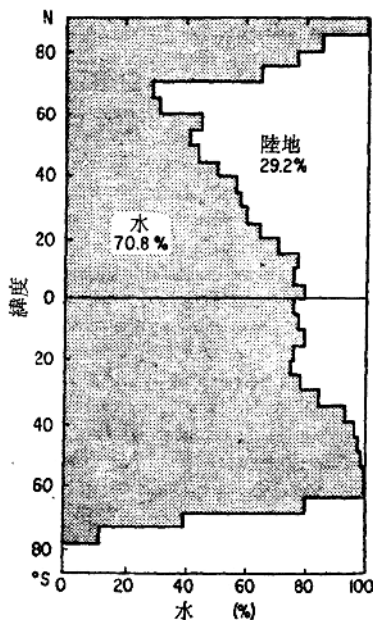


圖 2—2 各緯度的水及陸地的分佈

表 2—1 海洋及鄰近海的面積（單位取百萬平方公里）
及平均深度（單位取公尺）
（取自Stocks 1938,及 Kossinna 1921）

	海		洋	
	（含鄰近海）		（不含鄰近海）	
	面積	平均深度	面積	平均深度
大 西 洋	106.2	3331	82.2	3868
印 度 洋	74.9	3897	73.4	3963
太 平 洋	179.7	4028	165.2	4282
大 地 中 海				
	面積	平均深度		
歐洲地中海	2.97	1458		
美洲地中海	4.31	2174		
北極地中海	14.06	1526		
亞洲地中海	8.14	1212		
小 地 中 海				
	面積	平均深度		
波羅地海	0.422	55		
哈得生灣	1.232	128		
紅 海	0.438	491		
波 斯 灣	0.239	25		
鄰 近 海				
	面積	平均深度		
北 海	0.575	94		
愛爾蘭海	0.103	60		
勞倫斯灣	0.238	127		
白 令 海	2.268	1437		
鄂靈次克海	1.528	383		
日 本 海	1.008	1350		
東中國海	1.249	188		
加 州 灣	0.162	813		

大陸塊把地球表面分成三大水域：即大西洋，印度洋及太平洋。一般人認為北極海是大西洋的一部份，南極在地理上被三大洋分成三個海盆。這並不是說每一個大洋都是孤立，並與其它大洋互不相關，但在某些物理性質上，它們又各有其不同的特性。

由於海洋中，水陸交界線的不規則分佈，海洋有更細分的必要。地中海 (Mediterranean Seas) 及邊緣海 (Marginal Seas) 構成一大塊毗連的海。北極地中海包括北極海，挪威海 (Norwegian Sea)，北芬灣 (Baffin Bay) 及加拿大多島海 (Canadian Archipelago)。亞洲地中海 (Asiatic Mediterranean) 是太平洋的一部份，位於太平洋與印度洋相會間，也就是黃海，渤海，台灣海峽，南中國海及暹羅灣等。在歐洲地中海包括黑海等。美洲地中海包括加勒比海及墨西哥灣等。

邊緣海中像波羅地海 (Baltic Sea)，哈得生灣 (Hudson Bay)，紅海 (Red Sea) 及波斯灣 (Persian Gulf) 等，被稱為小地中海。其它的邊緣海而有特殊海洋特性者，有北海 (North Sea)，愛爾蘭海 (Irish Sea)，英吉利海峽 (English Channel)，白令海 (Bering Sea)，日本海，東中國海，加州灣及孟加拉灣等。表 2-1 說明了最重要的海洋及鄰近海的海水面積，以及它的平均深度。

第二節 地球表面的形狀

海洋所佔的重要角色，不僅在它的表面積佔全球的百分之七十點八，而且它所佔的體積亦相當龐大。在海平面上陸塊的體積僅為海平面下海水所佔體積的十分之一弱。假如將陸塊整平成光滑的表面，則被海水覆蓋的陸塊，大約有2400公尺之深。

無論海水所佔的體積有多麼大，它與整個地球比較起來仍是很渺

小的。它的平均深度大約是3800公尺，它與地球半徑的比率僅有一千七百分之一。

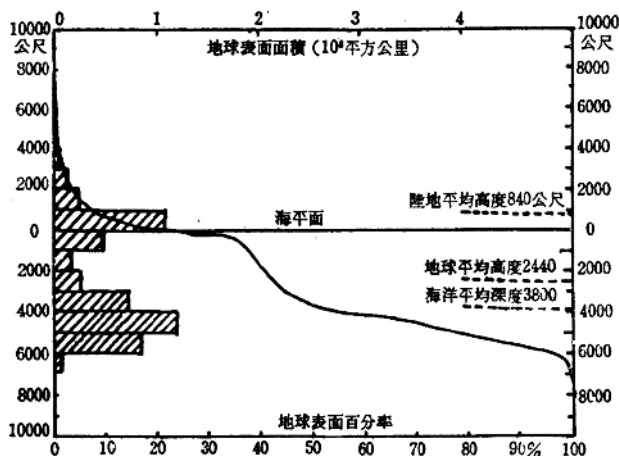


圖 2—3 地球表面各高度及深度所佔的百分率

圖 2—3 之左方表示以海水水平面為參考面，所統計出各種高度及深度所佔的比例。高過三千公尺的高山及低過六千公尺深度的深海是佔很小的比例。值得注意的是在海水之水平面上270公尺到水面下4400公尺之間的地區，佔了極高的比例，而在此地區內由-200到-2400公尺間區域是佔最小比例的高度，此平均深度約為-1270公尺。地球表面的高度圖以出現頻率的累積曲線表示在圖 2—3 的右方。地球表面的形態可用表 2—2 來表示。大陸平原 (Continental plateau) 平均高度大約是在海平面上270公尺的高度，而深水海底平均大約是在海平面下4420公尺的深度。高山，大陸坡 (Continental slope) 及深海海溝 (deep sea trenches) 所佔的比例最小。