

科學圖書大庫

電子航海

編譯者 李啓隆

徐氏基金會出版

我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啟發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啟導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧鏗氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種；本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

譯者序言

本書係以美國海軍協會（United States Naval Institute）刊行之“Electronic Navigation”為藍本編譯而成。

電子航海係完全依靠電子儀裝備來測定船位的一種航法。由於電子航法測定船位簡捷而精確，遂為航海界所廣泛運用，加之科學工藝日新月異，新精密電子儀器乃不斷地加以發展應用於航海上。

但是，諸位需建立一個正確的觀念；就是不可因電子航海之簡捷精確而完全依賴它，而忽略了其他航法的重要性。

由於電子航法在航海中佔極重要的一環。乃翻譯此書，一方面介紹認識新電儀航法，另一方面使學者能循序漸進，以求領悟。庶幾能運用多種航法以維護船隻安全，而順利達成海上任務。

本書共計有十章，書末並有附錄詳細說明 H. O. 229 表之使用。本書最大之特點，是作切合航海實際需要，且將運用廣泛的羅遠航法和 Omega 航法作較詳盡之解說。至於其他章節之衛星航法、Omnirange 航海系統，亦加以介紹並予以敘述其運用之操作原理。其目的，使學者明瞭新電儀航法之知識領域。

書中錯誤之處容有難免，尚祈同好先進不吝賜教糾正，至禱。

譯者識

目 錄

第一章 電子學	1	§ 210 羅遠之優點.....	27
§ 101 導言.....	1	§ 211 羅遠之缺點.....	29
§ 102 基本現象.....	2	§ 212 干擾.....	29
§ 103 地波與天波.....	4	§ 213 羅遠船位線之作圖	29
§ 104 反射與折射.....	5	§ 214 Decca 航海系統	31
§ 105 繞射.....	6	§ 215 無線電測向系統	33
§ 106 干擾.....	7	§ 216 全向直讀式無線電 測向儀.....	33
§ 107 游離.....	7	§ 217 航海無線電示標...	38
§ 108 電磁波週率範圍...	8	§ 218 無線電測向台.....	39
§ 109 不規則現象.....	12	§ 219 無線電方位線之應 用.....	40
§ 110 雙曲線航海系統...	12	§ 220 OMNIRANGE 系統.....	41
§ 111 距離方向航海系統	14	§ 221 CONSOLAN 航 海系統.....	41
第二章 基本之電子航海系統		§ 222 CONSOLAN 之 收聽距離、準確性 及方位.....	42
§ 201 導言.....	15	§ 223 CONSOL 航海 系統.....	45
§ 202 無線電所供給之資 料.....	15		
§ 203 羅遠.....	15	第三章 奧米加航海系統	48
§ 204 羅遠原理.....	16	§ 301 導言.....	48
§ 205 羅遠台之辨識.....	17	§ 302 奧米加系統.....	48
§ 206 羅遠收訊指示器...	18		
§ 207 羅遠天波之修正...	24		
§ 208 羅遠訊號之發送延 遲.....	25		
§ 209 羅遠之準確性.....	26		

§ 303	巷道識別.....	50
§ 304	奧米加台之選擇...	51
§ 305	奧米加訊號之修正	52
§ 306	收訊器.....	53
§ 307	較差奧米加.....	54
§ 308	優點及缺點.....	54
§ 309	結語.....	55

第四章 羅遠 C 及羅遠 D 56

§ 401	羅遠 C	56
§ 402	羅遠 C 之特性.....	57
§ 403	基本原理.....	57
§ 404	發訊台設置之位置	59
§ 405	羅遠 C 之地波與天 波傳播距離.....	60
§ 406	準確性.....	61
§ 407	收訊器.....	61
§ 408	羅遠 C 之作圖.....	61
§ 409	時間校對.....	62
§ 410	羅遠 C 收訊器之操 作.....	62
§ 411	羅遠 D	64

第五章 航海無線電天文 66

§ 501	導言.....	66
§ 502	背景.....	66
§ 503	無線電能之來源...	67
§ 504	發射過程.....	67
§ 505	無線電望遠鏡.....	68
§ 506	無線電天文航海...	69
§ 507	船用自藏航海系統	70
§ 508	SSCNS 無線電 六分儀之操作	72

§ 509	無線電六分儀定位 法.....	73
§ 510	結語.....	74

第六章 音差航海..... 75

§ 601	導言.....	75
§ 602	音差效應之實質...	75
§ 603	海水中發送之聲波 訊號.....	77
§ 604	音差航海儀.....	78
§ 605	音差航海系統在海 上保持之準確推算 描跡.....	80
§ 606	第二代音差航海設 備.....	80
§ 607	音差系統對油輪靠 泊時之效用.....	81
§ 608	結語.....	81

第七章 慣性航海..... 82

§ 701	定義.....	82
§ 702	船用慣性航海系統	82
§ 703	背景.....	82
§ 704	概念.....	83
§ 705	加速計.....	83
§ 706	迴旋儀.....	86
§ 707	系統裝配.....	88
§ 708	慣性航海之誤差...	90
§ 709	更新程序.....	92
§ 710	計算機.....	92
§ 711	結語.....	92

第八章 衛星航海..... 94

§ 801	導言	94
§ 802	音差變化或音差效 應	94
§ 803	系統之組成	94
§ 804	衛星每日更新之需 要	96
§ 805	船上NAVSA T 設備	97
§ 806	船隻運動計算機之 輸入	98
§ 807	船上計算機所需要 之輸入	98
§ 808	定位方法	99
§ 809	SRN-9 型收訊 器	101
§ 810	時間訊號	102
§ 811	結語	102
第九章 現代天文觀測儀 器		
§ 901	導言	103
§ 902	星體追蹤儀	103
§ 903	船用星體追蹤儀	105
§ 904	星體追蹤儀及慣性 系統	107
§ 905	電羅經裝配光學航	

海儀	108
----------	-----

第十章 航海計算機

§ 1001	導言	110
§ 1002	計算機在航海上之 功用	110
§ 1003	類比計算機	110
§ 1004	數字計算機	111
§ 1005	航海資料吸收轉換 計算機	111
§ 1006	小型慣性航海數字 自動計算機	113
§ 1007	將來之計算機使用	114
§ 1009	商航使用之計算機	115
§ 1010	結語	116

附錄：美國海洋局最新刊行 117

H.O. PUB. NO. 225

新型天文航海表之應用 117

壹、前言	117
貳、表之排印格局	117
叁、本表之一般用法	118
肆、本表之特殊用法	130
伍、本表之其他應用	141

第一章 電子學

§101 導 言

電子學之定義爲電子在真空中，通過半導體（Semiconductor）及適當線路，進行其發射、流動及影響之一種科學與工藝。而電子航海之意義，則爲利用電子儀器及接收外源之電波發射，而定出船位之航海學術。

無線電報時信號，乃爲此類助航設備之首先應用者。由此種報時信號，我們在海面上可以獲得極其精確之時間，以便天文航海之測算。其後進展爲，當我們提出詢問時，可從部分岸台，獲得該台對本船之無線電方位，從而利於定出船位。惟此種方法，通常每次僅可獲得一根方位線。再後又發展爲在船上裝設無線電測向儀，此項裝置，可接收任何電台所發射之電波，以測得該台之方位。在許多鄰近海岸之海域，可測得數根方位線，用此等方位線定出之船位，具有相當之準確性。由於無線電測向儀之廣泛應用，而有“無線電航海”一詞之出現。隨後設計並發展了高度準確之電子航儀系統，“電子航海”一詞遂取代了原先之“無線電航海”。

過去數十年間，在此一領域內曾作廣泛之研究發展。由於長程飛機之問世，乃產生了對電子航儀系統製作之需要。隨後更發展了彈道飛彈潛艇所用之指揮系統，以及現代之太空飛行導引系統。

推算與定位系統之發展，包含兩方面：其一是保持推算位置之系統，例如慣性系統（Inertial System），其二是位置測定系統，亦即電子航海系統（Electronic Navigation System）。前者需要極度靈敏精確，但價昂之迴旋儀及加速器；後者必需高度精確之儀器，以測定無線電信號在空中進行之時間，以及利用自動光學與無線電測量追蹤儀器，測量天體高度。再者，利用人造衛星發射無線電波之航海方法，亦已獲致極佳效果。

在沿岸航行方面，應用雷達及聲納定位，已很準確。利用不斷之測量海底深度，經計算機分析之測深航海（Bathymetric Navigation）亦顯示非常成功，但需要極精確之深度標定之海圖。

理想之航儀，仍待發展。此種航儀應具有世界性，獨立完備，完全可靠，高度準確等性能。現有之航儀，雖未具備上述之全部性能，但已相當可用，如奧米加（Omega），衛星航海（Satellite Navigation）等。奧米加使用岸台發射之無線電信號，衛星航海則依靠一個運行於精確軌道上之衛星所發出之信號。

§102 基本現象

本書由於篇幅關係，不可能對電磁學作詳盡之討論。以下所作有關電子專門名詞之簡單敘述，係假定讀者已經具有相當之基本物理知識，或者曾讀過有關之課本。

(1)赫芝（Hertz）及每秒週（Cycles per second）：許多年以來，交流電之週率向以“每秒週”來表示。此一看來很自然之術語，係表示在交流電路中之電流方向及電壓兩極之相互轉換之完成。近年來，對此一術語之使用已漸減少，代替之新術語則稱為“赫芝”，與“每秒週”之意義完全相同；在美國及其他許多國家都已如此使用。此係爲了紀念在電磁輻射方面之先進，德國科學家Heinrich Hertz而改用。其正式定義爲“等於每秒一週之週率單位”。所以“赫芝”與“每秒週”可以相互通用。

(2)電磁感應（Electromagnetic Induction）：基本之交流電理論指出，當交流電通過一線路時，在其周圍有磁場產生，如果此磁場發生變化時，則將引起磁場中之導體感應，而有電壓發生。事實上，即使磁場中並無導體存在，電壓仍會感應而生。此種電壓，實際上感應至空中，成爲電場。如是，若使一磁場發生變化，則在空中將產生一變化之電場。由此變化之電場轉而產生位移電流，復又促使磁場增其強度。變化之磁場又產生電場，如此週而不息。這種彼此相互感應之過程，乃名之曰“電磁感應”。整個的稱爲電磁場，此一效應在所有交流週率中均會發生。

一個電磁場一旦產生，即可不再需要電源供應。當電流截斷時，此電磁場即能繼續存在，且向空中傳播，因它具有自立之互相作用。

在一個電磁輻射場中，電力線形成自閉狀態。並不依附於電荷，且磁力線亦與導體中之電流無關。電磁場真正的獨立，就像是漂入空中。

在此過程中，亦有運動之內涵。大約一百年以前，馬克士威（James Clark Maxwell）就將全套理論予以擴展。他聯成了一套四個聯立偏微分方程式，說明了電磁場中電與磁之相互關係，以及對電流及電壓之關係。這些方程式成爲今日電磁學之理論基礎，它們的應用，解決了電磁場及輻射之

所有問題。這些方程式就是：安培電路定律，高斯電場定理，高斯磁場定理及法拉第電動勢定律。這些定律雖由別人寫出，而由馬克士威綜合於位移電流觀念之內，以便於電磁傳播之計算。

若要計算電磁波由發生之處傳播至空中之速度，必先考慮電磁波賴以傳播之介質之性質。馬克士威方程式指出：電磁場速度應等於介質之導磁性（Permeability）與容電性（Permittivity）之乘積平方根之倒數，以有理數公尺—公斤—秒（RMKS）為單位。

真空中導磁性等於 1.26×10^{-6} henrys per meter；真空中容電性等於 8.85×10^{-12} farads per meter。於是，依據馬克士威定律，在真空中

$$\text{電磁波速度} = \frac{1}{\sqrt{1.26 \times 8.85 \times 10^{-18}}}$$

或者以 3×10^8 meters per second 來表示。

馬克士威指出此一速度極其近似光之速度，暗示出光線乃電磁輻射之一種形式。

(3) 波長與週率（Wavelength vs. Frequency）：電磁波之波長愈大，則週率愈小。此關係可以下式表示：

$$\lambda = \frac{300}{F}$$

其中 λ 為波長，以公尺表示； F 為週率，以百萬赫（Megahertz）表示；常數 300 為光速，以每微秒公尺（ $m/\mu s$ ）表示。

(4) 吸收（Absorption）：電磁波於空中傳播之過程中，其部分能量為存在於空中之不良絕緣物質而生之損失，稱為吸收。無線電波與光波兩者，均會因吸收而發生能量損耗，其方式為能量轉變為熱，其原因為電子間之碰撞，受激於電場與空中物質之其他分子碰撞等。此種損耗之計算，與電路中因電阻而生之能量損耗之計算相同。假如電磁場係輻射至純真空中，場內之能量毋需用以作功，故其強度可保持不變。交流電與磁場就可交互作用，繼續傳播，而仍保持最初輻射時之能量強度不變。

例如，在接近地面之一根天線，輻射出一個電磁場，則在其電場力量之影響下，空氣中之電子開始移動。作用力維持在一個方向之時間愈長，亦即輻射場之週率愈低，則電子在輻射能每半個週波中所獲之速度愈大。假如這些已自由之電子之運動不受阻礙，在其加速度中所耗之能量，將回歸於電磁

波中，因磁場之本身亦在運動。然而，這些電子在高速運動狀態下，會撞及氣體中之原子及空氣中之其他分子，其能量大量損耗於碰撞所生之熱。

導磁性與容電性之數值，隨大氣之密度而稍生變化。因此，根據馬克士威規則，電磁輻射之速度，將隨大氣密度之增加及傳播介質中其他物質而稍微減慢。

§103 地波與天波 (Ground wave and Sky wave)

前一節已將電磁場由天線輻射至空中之情形略予提及，在此應予討論電磁場如何向外傳播。

電磁能量自天線射出時，係向所有方向輻射而出。一部分能量平行於地球表面行進，是謂地波；其餘的則向上向外散射，直至碰擊電離層，而反射回地球，是謂天波。後一過程可表示如第一圖，天波 1 稱為一程波 (One hop wave)，天波 2 稱為二程波 (two hop wave)。

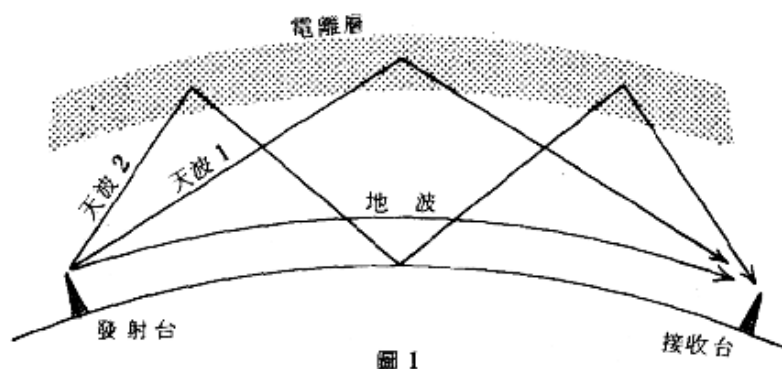


圖 1

當我們使用低週率時，地波顯然很重要，地殼之電導性成為重要因素，使信號因吸收而衰減（電波或電流發射後，離電台愈遠則波幅愈小），也影響了傳播速度。由於此電導性，電磁場在某種程度上穿透過地表面。因此電波之下面部分稍微受阻於此一增加電導性之介質，但電波之上面部分却無此影響。其結果使電（磁）力線傾向於離開發射台，致令電磁波之運動依隨地表面之曲率而彎曲。我們必需記著，電場之力線垂直於磁場之力線，而電磁波之運動方向却與前兩者均成垂直。如第二圖。

就因具有此種隨著地表面曲率之趨勢，才能使地波之傳播及於遠方。但

因電磁波能量部分耗於穿透地表面，對於遠距離之地波發射需使用高能量才行。

陸地區域之地表面特性因隨地而異，故地波之傳播效果難於預測。海洋表面之電導性却十分固定，故越過海洋區域之傳播速度，可預測得相當準確。祇有低週率之電波傳播，才有足夠之彎曲度隨著地球表面而至遠方。電磁場在高週率時不能深透地表面，所以地面作用於其速度之阻力也較小，電波祇稍微彎曲，不足以使地波由發射天線傳至遠方。

§104 反射與折射 (Reflection and Refraction)

運用高週率之無線電波作長距離通信，係由電磁波射達大氣上部之電離層，經反射及折射而成。

無線電波與光波在形態上均係電磁波，祇是週率不同。光學上之某些定律，可適用於無線電波。

任何一種表面均可反射光波。如表面平滑且予以擦亮，則反光效果像鏡子一般。而粗糙面之反射則成擴散，暗晦深色之表面，其反射力不佳。當一個表面祇反射了一部分的光，則其餘的已被吸收，此部分被吸收光波之能量，就在該物質內轉變成熟。

無線電波也會反射，對光滑表面會像鏡子樣反射，對粗糙表面則會擴散。於良導體表面會反射，於不良導體則被吸收。無線電波會通過某些電之絕緣體，如像玻璃。大多數之物質既不完全反射也不完全吸收電波，祇將少部分之電波反射出來。

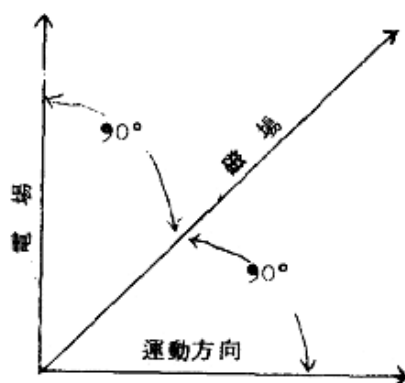


圖 2

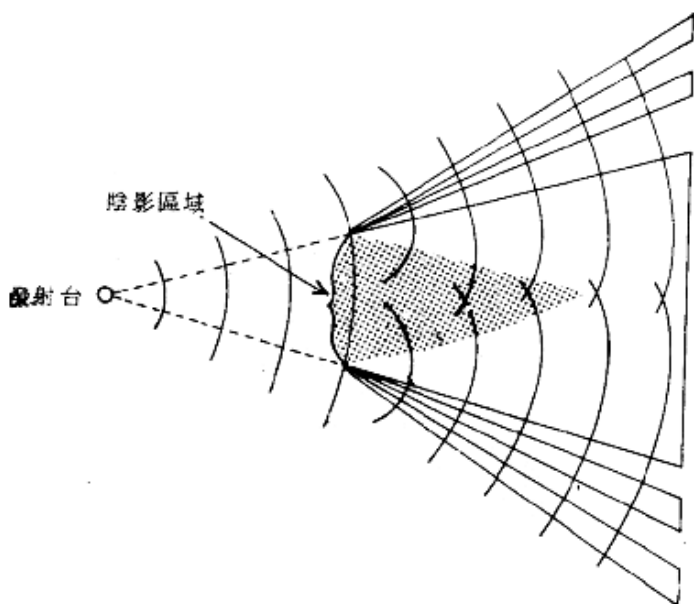
對光及無線電波而言，某物質之反射能力，要看其表面之不規則程度與電磁波波長兩者間之比例而定。一個十呎高之海浪，對波長數百公尺之無線電波反射得像鏡子一般；而對波長僅數公分者，其反射則不良而擴散。

當無線電波得到如鏡般之良好反射時，其波面性質不變。就像六分儀的鏡面反射光線一樣，其反射角等於入射角。當由一個粗糙面反射時，入射之波面則會破碎，向不同之方向散亂反射。

電磁波在自由空間之行進方向是直線的：然而在含有物質或物質之分子之區域，電波就會彎曲，或稱折射。天體之光以斜角射入大氣層後，會繼續向下彎曲，原因為愈向下層，大氣之密度愈增加。同樣的，無線電波在行進中，如以斜角由一介質進至另一不同性質之介質時，行進方向也會發生彎曲，波面之先頭部分其速度受到影響時，後續部分仍未受到影響。如前所述，電波之行進方向係垂直於波面，所以行進方向會向著速度減低之方向而改變。

§105 繞射 (Diffraction)

當一個電磁波，無論是無線電波或光波，一部分被某種不能透過之物體阻擋時，在物體後面之區域即被遮蔽，而未被阻擋部分之波面，則繼續照原方向前進。若係光波，此物體使之投下陰影；原應達到此一區域之波被其阻



斷。

依照馬克士威方程式，在該物體邊緣之波面部分，並不能全部保持原方向前進。能量之一小部分會傳播進入此一陰影區域。這一現象稱之為“繞射”。如第三圖。按照馬克士威方程式，可以測出該陰影區域之電磁場強度。

§106 干擾 (Interference)

假如兩個以上之無線電波同時到達空中之同一點時，干擾即會產生。電波之歸併應按照電場之重疊原理。每一電磁場以向量代表其在空間之方向及強度。依照向量相加原則，即可得出總合之電場或磁場之方向及強度。

§107 游離 (Ionization)

地球表面之大氣層接受日光之部分，承受著太陽強烈紫外線之轟擊。大氣層之極高部分，氣體之原子比較稀少，電子受強烈紫外電磁力激動，其電極之反轉達每秒 10^{17} 次之多。此種激烈之振盪，致使原來相互結合之電子與陽離子分離。這些游離之電子又會尋求那些缺少電子之原子結合，但為繼續不斷之紫外線所阻。於是游離之電子乃形成了游離層，當太陽升達最大高度時，其強度最大。

游離層次 (Layers of Ionization)：游離在大氣中具有自成層次之趨勢，這些層次會發生變化，消失，合併及分離等現象。一天之中，時間不同，變化就不同；一年之中，季節不同，變化也不同；每十一年一次之太陽黑點週期之變象，也會影響；總之這些層次隨時隨刻都在變化。第四圖所示之四種游離層，對於電波之傳播研究，最為重要。

(1)D 層：此係最接近地球表面之游離層，其強度較其他三層均小。D 層存在於離地面 60 至 90 公里處 (1 公里 = 0.54 海裡)，此層僅在白天存在，夜間完全消失。

(2)E 層：存在於離地面約 110 公里處，夜間仍然存在，祇不過強度稍減。在太陽正下方之區域，強度最大。大多時間某些不定區域會發現極強之游離，此等區域稱之為散亂 E 層，白天夜間均會發現。

(3) F_1 層：此層僅於白天存在，當太陽之紫外線減弱時，游離之電子顯然的與陽離子又重新結合而成為空氣普通之原子。此層通常存在於離地面 175 至 250 公里之處。

(4) F_2 層：此層之高度與強度均會變化，有日變，季變與太陽黑點週期變化等。 F_2 層存在於離地面 250 至 400 公里處，該處大氣非常稀薄，致每

日之分佈情形更為複雜。由於在此高度，空氣密度極小之分子撞擊率關係，太陽能可能貯存許多小時。氣體原子較少，而相距較遠。當紫外線強烈期間所釋放出之電子，在太陽隱沒於地平線後數小時仍聽任其自由動作。在此情況之下，自由電子與氣體原子間之撞擊，使其他電子被逐而出，甚至在夜間

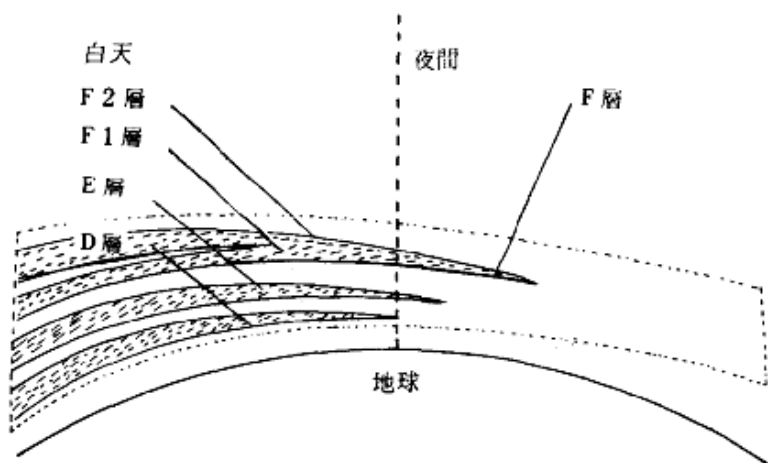


圖 4

亦會發生。在這一高度中，太陽能可能依此方式貯存許多小時。

在大氣中之高層，有些分佈層次可以辨識出來。離地大約 300 公里高之 F_1 與 F_2 層，於夜間有合併之趨勢。日出以後，該層之上部重又被太陽光線所增強，而 F_1 層則一面增強一面下移。

無線電波之傳播受著各層游離層次之影響，其情形依電波發射之波長或週率，游離層次之高度及強度而不同。游離之層次可以有助於電磁能天波之傳播至所想要接收之地點，也會妨礙甚或阻止電波傳播，下面數節，將予以討論。

§ 108 電磁波週率範圍 (Electromagnetic Frequency Spectrum)

電子之放射係依電磁波之形式，稱為無線電波。所有之交流電週率均會產生電磁場。電磁波週率之範圍，自每秒電極變換一次開始，漸增至無線電週率，紅外線週率，可見光線週率，紫外線，X光線，加瑪線以至 10^{15} 百萬赫 (MHz)。電磁波週率範圍，如第五圖所示。

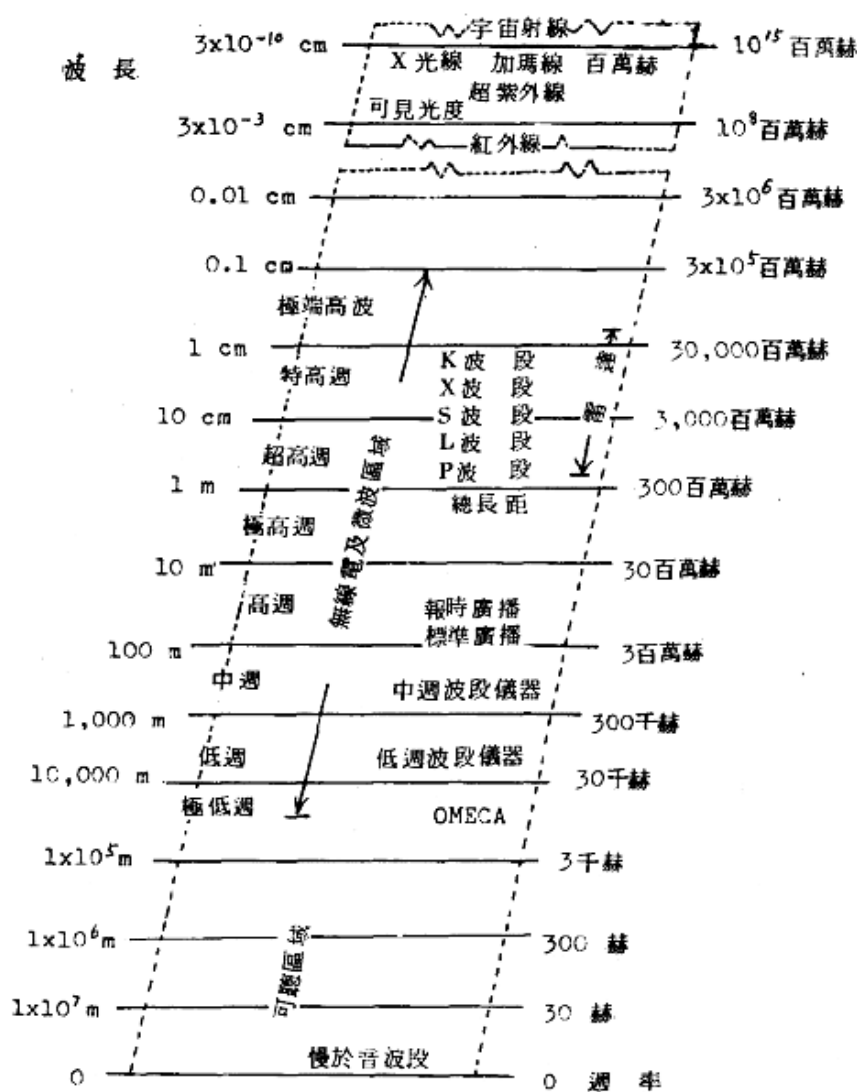


圖 5

無線電週率範圍，自 5 千赫 (kHz) 至 3×10^5 MHz。此一範圍之週率，又分為八個波段。

(1) 極低週 VLF (Very Low Frequency)：極低週波段包含低於 30 kHz 之一段。此一波段之優點為遠距離傳播之可靠性，但要使用高功率發

射機。VLF 地波可傳播之距離，遠達 4000 至 8000 哩，便於以電波之行進時間來精確測量距離。VLF 天波從電離層反射時，能量損失較少，因其在電離層內行進距離較短。然而，隨之而起之地面反射却吸收了可觀之能量，特別是在陸地區域為然。VLF 週率之折射現象，則比高週率者為大。更困難的是在此波段不易獲得良好之天線效果，天線設置價格也高，而高週率者則較易。爲了要確保長距離收發之可靠性，而使用高功率機，則其花費當然很大。

航海上使用 VLF 波段之儀器，主要的是 OMEGA 系統。

(2)低週 LF (Low Frequency)：低週波段 (30 至 300 kHz) 之電波由電離層之反射效果不佳，地面之損失隨週率之增高而增加，折射則減少。然而低週波段之天線效果，較極低週者為佳，在相當之距離，仍可得到良好之地波傳播。VLF 及 LF 之電波均可滲透入海洋中至相當深度，故可用以發送信號給潛航中之潛艇。在 10 kHz 左右時，信號發送至水面下 40 至 50 呎處之潛艇，其可靠性很大；100 kHz 時，信號祇能送至水面下數呎。

航海上之計時測距系統，可以使用 LF 波段之一程天波，祇要將天波多走之距離予以修正即可。利用一程天波所得之精確度自然不如地波，但對許多航海使用上已合要求。若要求精確度在一哩以內者，則以利用地波為宜。航海上使用 LF 波段之儀器，主要者為 DECCA，LORAN-C，LORAN-D 及 CONSOL。

(3)中週 MF (Medium Frequency)：中週波段由 300 kHz 至 3 MHz，此一波段之週率可得到 700 哩距離內之可靠地波傳播。白天電離層吸收力強，限制了天波傳播，夜間可以獲得遠距離之天波傳播，對天線之要求，不如 VLF 及 LF 那般嚴格。

航海上使用 MF 波段之儀器，主要為 CONSOL，RAYDIST 及 LORAN-A。

(4)高週 HF (High Frequency)：高週波段為 3 MHz 至 30 MHz 之間，適宜作遠距離通信，可以利用電離層之反射。在此波段，天線之效果極易獲得，比低週率者好得很多。發射機祇需中等功率，即可作遠距離通信，然而必需選用適合於當時情況之週率。在某些情況下，較高之週率在電離層中行進之距離較大，沒有足夠之折射來使電波反射回地球。信號進入電離層之入射角妨礙了其折射回向地球，而穿透過各電離層次，消失於太空。白天，在此波段內，較低週率之傳播能量被大量吸收而損失，致發生一短距離之隱沒 (Fade-out) 現象。夜間，較高之週率假如全然反射回地球，而達遠離