

國家圖書館



000043879

大學用書

地學通論

(數理之部)

黃廈千 編著

正中書局印行

大學用書

地學通論

黃廈千 編著



正中書局印行

由國家圖書館典藏

國家圖書館數位化

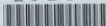
609
8377

序

地理學之來源甚早，在昔地球之整個情況如形狀、大小、運動等，尚未獲有確論前，則羣致力此類整個問題之探討，是即數理地理，亦稱天文地理之所由濫觴。自德人洪保德 (Alexander von Humboldt) 氏以綜合及因果原則，倡導為新地學後，地理學之目標一變，地理學之範圍亦因而擴大；沒假而有人以為地理學是社會學，或以為是科學，又有人以為是哲學，『望衡九面』，各得其一，亦可見地理學範圍之廣大也。於此有一義焉：即對於有志研習地理學者，於其進習之初，宜有一地理方面之通論或概論是也。此項通論，其範圍宜包括地球之本身，以至人地之關係，使學者對於我人所居之地球，先有一確切之認識，而又能見地學之全，方不致流於空疏偏狹之弊。泰西地理學書籍中有地理學原理或地理學大綱一類，意即在是乎？顧此類書籍，其內容在談論整個地球方面，每失之太略，例如關於地球之形狀、大小等，往往僅有結論，而不詳述原委，將何以使人深信不疑？又如地球之來源，時與曆、潮汐、日月蝕及在地面上位置方向之決定等，通常雖列在天文書中討論，然究其實，則皆以地球為研究對象之地理學者所當知，而在數理地理中不宜缺略者也。中文於地學原理一類書籍，尚少概見，聞嘗思有以補其缺，適部頒大學課程中有地理通論一門，其前半當屬之數理地理，因即彙集地理學者在數理地理方面

(1)

國家圖書館



000043879

必須具備之知識，編著是書，不斤斤以數理地理之成法爲準繩；而以學者之所需要爲主；多舉事實，詳述方法，每章之末，設法配置習題，以期讀者能確信所述，而又能得一實際應用數理原則之機會，習題中有非在本書中一索即得解釋者，則欲讀者多運用思想與數理原則也。若習題能完全解答，則對於書中所述，亦庶幾完全了解矣。每章之末，另有參考書目，以備讀者自行參考，而補僅讀本書之不足。全部材料，期以每週三小時，歷一學期之時間授完。若與後半部之地文地理方面通論配合，則適成爲一全年學程。稿成後，曾在國立中央大學試授二遍，尙屬合用，因再整理一遍付梓。是書之作，雖在適應地理課程方面之需要，然我人生活於地球之上，地球之情況如何；又豈僅地理學者所宜知？博雅君子，知必亦有感興趣於此項問題者，其卽以是書爲科學常識之一也可。

黃廈千序於重慶國立中央大學 三十年八月

目 次

第一章	地球之來源	1
第一節	太陽系	1
第二節	初期之宇宙創造論	3
第三節	行星塵說	6
第四節	小行星說	8
第五節	潮汐說	9
第二章	地球產生以來之演變	12
第一節	熔融時期	12
第二節	地殼之固結	13
第三節	海陸區域之構成	15
第四節	地表演變時期及玄古界之開始	16
第三章	地球之年齡	18
第一節	概論	18
第二節	由月地關係推求地球之年齡	18
第三節	由沉積巖推求地球之年齡	20
第四節	由海水中鹽分推求地球之年齡	21

第七節	五帶	86
第七章	時與曆	90
第一節	時之意義及種類	90
第二節	恆星時與太陽時	91
第三節	視太陽時與平均太陽時	93
第四節	地方時與標準時及國際日期變更線	95
第五節	曆之意義及種類	98
第六節	陽曆	99
第七節	陰曆	101
第八節	節氣	104
第九節	擬議中之國際新曆	106
第八章	月與地球	110
第一節	月與地球之關係	110
第二節	月地之距離	111
第三節	月球之軌道及月繞地一周所需之時間	112
第四節	月之視象	114
第五節	月逐日上升之時間及所謂「稜月」「獵月」	117
第六節	潮汐	120
第七節	日蝕月蝕	125
第九章	地球上位置方向面積之決定	141

第一節	概論… … … … …	141
第二節	緯度之測定 … … … … …	145
第三節	經度之測定 … … … … …	148
第四節	地平方向之測定 … … … … …	151
第五節	高度之測定 … … … … …	156
第六節	距離及面積之測定… … … … …	163
第十章 地面情況之描繪 … … … … …		169
第一節	概論… … … … …	169
第二節	地圖投影法大意及各種投影法之特徵… …	170
第三節	地圖之縮尺 … … … … …	173
第四節	地圖之放大及縮小… … … … …	176
第五節	地圖之接合 … … … … …	177
第六節	由地圖推求面積之方法… … … … …	179
第七節	求積之應用 … … … … …	181
附 錄		
一、	各項常用單位對照表… … … … …	185
二、	三角公式 … … … … …	188
三、	三角函數表… … … … …	189

第一章 地球之來源

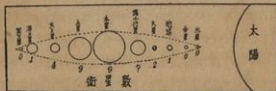
第一節 太陽系

太陽系爲現時我人所知較詳之一行星組織系統，以恆星太陽爲主，諸行星圍繞之。太陽爲一團極熱之氣體，質量較地球大 324,430 倍，體積大一百三十萬倍，其表面溫度，現時約尙有攝氏七千度左右，故能發出大量光熱，圍繞其外之行星，依據現時所知，大者有九：即水星(Mercury)、金星(Venus)、地球(Earth)、火星(Mars)、木星(Jupiter)、土星(Saturn)、天王星(Uranus)、海王星(Neptune)及冥王星(Pluto)是也。九大行星，依其距離太陽之遠近及體積之大小，可分爲內外二羣：水星、金星、地球及火星四者，稱爲內行星；木星、土星、天王星、海王星及冥王星五者，稱爲外行星。在內外二行星羣之間，有小星一千餘，稱爲小行星(planetoids or asteroids)。各行星成繞太陽旋轉，軌道成橢圓形。小行星之軌道，除有極少數外，或在火星與木星軌道之間。九大行星中，六大行星有衛星(satellites)，各衛星又各以其所屬之行星爲主而自成一小系統，一如各行星之繞太陽旋轉然。各大行星之體積，以木星爲最大，土星次之，天王星海王星又次之，地球之體積，在各大行星中係居第五位。冥王星之發現，雖在 1930 年，但當 1915 年時，美國天文學家勞威爾(P. Lowell)氏已斷定有第九行星

存在，並推得其重量約為地球之六倍，實際上依據現在所知，其體積或尚遠較月球為小，有人以其距離太陽甚遠，謂為係太陽系中另一小行星羣之首先被人發現者，此則尚有待於今後之證明也。各大行星之大小及距離太陽遠近既不同，行動亦互異，依據現時所知，其詳如下表：

名稱	平均直徑 (公里)	比重	距太陽里數 (單位百萬公里)	公轉週期	自轉週期	衛星數
太陽	1,394,500	1.4	—	—	—	—
水星	4,841	4.48 ?	58	88 日	?	0
金星	12,391	4.86 ?	117	225 日	?	0
地球	12,740	5.23	149.467	365.25 日	23時56 分	1
火星	6,981	3.58	228	686.9 日	24時37.5 分	2
木星	142,213	1.25	775	11.86 年	9時55 分	9
土星	119,328	0.63	1,420	29.45 年	10時14 分	9
天王星	48,530	1.44	2,900	84 年	?	4
海王星	56,030	1.09	4,500	165 年	?	1
冥王星	?	?	6,726.4	294 年	?	—

由上表所示各行星之大小，得一可堪注意之點，即就距離太陽遠近言，以居中土木二星之體積為最大，衛星亦最多，自此向兩旁進行，星之體積及衛星數均漸減，如第一圖所示：



第 1 圖 太陽及諸行星(各星大小依比例距離太陽遠近未依比例)

上圖所示各星之大小，衛星數及距日遠近等，是為地球之生成進一說，後將再論及之。

太陽系中除上述諸行星外，尚有二種不規則之星體：一為彗星 (comets)；一為流星 (shooting stars or meteors)。彗星形式，常作帶狀，距離近時，頭大如月，尾長可自地平以達天頂，體積甚大，但質量不過地球十萬分之一，故密度極小；軌道長短不一，或為橢圓形，或成拋物線，或成雙曲線；其光輝一部分發自本體，一部分來自日光之反射，故以距日遠近不同，光度即有強弱之分。

流星為空中之固體，因受地心吸力而下降，速度甚大，普通每秒約達四五十公里，入地球之空氣層後，因摩擦而發熱生光，終至燃為灰燼。其降達地面者，稱為隕石 (meteorites)。隕石體積甚小，成分以岩石為主，雜以鐵鎳及其他礦物，以其為外來物質之故，可由此研究其他天體之組織成分，即地球內部之物質，亦可藉以推知一二，是為流星物質所啓示於我人之知識。流星發生之次數極多，一日夜中，常達千萬以上，時間以清晨為多，晚間較少。其降達地面之物質，一年中約達二萬噸，故有人以為地球質量，仍在繼續增益中，過去蓋亦由遠較現時為小之質量而以此法繼續增益得來者也。

第二節 初期之宇宙創造論

初期之宇宙創造論，除太古先民之神造說及非神造說而無十分科學根據之臆說不計外，以普魯士哲學家康德 (Immanuel Kant) 氏及法國數學家拉普拉斯 (Marquis de Laplace) 氏之學說為最早，其要如下：

康德氏之臆說 西洋至十八世紀初期，對於從前曾壓迫哥白尼 (Nikolaus Copernicus) 氏及伽利略 (Galileo Galilei 普通即稱為 Galileo) 氏地動說之宗教迷，已漸次覺悟，對於太陽系之情形，亦逐漸明瞭，惟存在於火星與木星間之小行星羣，尙未能發現，當時僅知太陽之四周，有水、金、地、火、木、土六星圍繞之，此等星之軌道，大概近於圓形而幾在同一平面內，各行星均圍繞太陽，以同一之方向，自西向東公轉 (revolution)，太陽本身，則以自西向東之方向自轉 (rotation)，各行星亦各以自西向東之方向行自轉，土星之外，尙附有一不可思議之光環而已。康德氏承受英國數學物理學大家牛頓 (Sir Isaac Newton) 氏萬有引力說之影響，乃首先對於宇宙之構造，作較有科學基礎之解釋。氏設想太空中原有之細硬質點，因相互吸引之故而衝擊時，發生熱及旋轉作用，如此則原為冷而靜止之微細物質塵，將漸變為溫度高之星雲 (nebula)，以極大之速度旋轉，結果在其赤道部分，因自轉速度最大之故，發生極大之離心力，與其中心部分分離而成為一環，此剩餘之中心部分，即為今日太陽系中之太陽，環經凝結後成為行星，行星以同樣方法，旋轉生環，凝結後成為衛星，今日整個太陽系，蓋即由一團極大星雲，依此方法造成，**康德氏之學說**，在理論方面，有一不完備處，即依據力學原理，在同一組織系統內，各部分間之交互作用，不能增減此組織系統內以角度為單位之總旋轉能，是即所謂旋轉能不變原則 (the principle of the conservation of angular momentum)，而**康德氏之臆說**，則與此相違者也。惟此臆說與拉普拉斯氏之臆說，不謀而相暗合，亦一有趣味事。

拉普拉斯氏之臆說 拉普拉斯氏解釋宇宙之造成，與康德氏之臆說大同小異，所不同者，拉普拉斯氏更推溯至構成宇宙之另一種幽遠物質，稱為宇宙素 (world-stuff)，並避免康德氏之錯誤，而假想構成宇宙之原始物質，即已為溫度高而旋轉之星雲，由此星雲冷卻，則體積收縮而旋轉速度增大，離心力亦當隨之增大，至在赤道部分物質所起之離心力，與自其中心發出之吸力，適相平衡而止，達此階段後，在赤道部分之物質，即無重量，而能獨立於其原位置，當其中心基本部分仍繼續冷卻收縮時，此部分即與之脫離而成為一環，此環再冷縮而為星體，是即行星，其最後所遺之中心基本部分，則為太陽。行星亦可以此同樣方法，產生較小星體，是即衛星，以完成今日之太陽系。此臆說足以解釋太陽系中各天體皆有同樣轉向，及若干個行星軌道在同一平面等事實，惟亦有若干衛星為例外耳。

拉普拉斯氏於其所創之臆說，僅粗舉綱要，且亦不為其所專心之事，此於評論拉普拉斯氏臆說前所當代為聲明者也。至此臆說，現已不為人所贊同，其故以就太陽系中各天體之質量，距離及運動言，現時所有之總旋轉能，實不足使此一團星雲，由離心力而發生分離作用，若果有此過度旋轉能，則由冷縮而實行分離，亦當縮小至今日水星所在之軌道而後始能完成第一環，則水星軌道以外各行星，宜均無由造成矣。至於脫離本體之物質如何由環狀凝結為球狀，拉普拉斯氏及其信徒均未言明，依力學原理言，此環宜斷碎為若干個球體，在同一軌道上運行，此則在今日太陽系中所發現之事實又不如是，更就環之產生言，構成星雲之質點既甚小，冷縮又係逐漸進行，如是則環與本體間，宜無顯然之分界線，如今日土星所示之形式矣。

併合以上所指出諸點，及天王海王二星之衛星以與衆星相反之方向繞行等事實，爲拉普拉斯氏臆說不能得近今學者贊同之重要原因。拉普拉斯氏後，雖有人對於此臆說加以修正，洛克賢 (Sir Norman Lockyer) 氏易爲流星說 (meteoritic hypothesis)，謂原始星雲，係由無數流星簇聚而成，由流星之相互擊撞，而產生溫度極高之氣體，此說僅易拉普拉斯氏之星雲爲流星，故凡足以評論拉普拉斯氏臆說之理由，咸適用於此，而不必再爲深論。

第三節 行星塵說

行星塵說 (planetesimal hypothesis)，或以其所論列之星雲 (nebula) 呈螺旋形，亦稱螺旋星雲說 (spiral nebula hypothesis)，係 1904 年時張伯令 (T. C. Chamberlin) 氏及摩爾登 (F. R. Moulton) 氏所創，其原意蓋在解釋行星之產生方法，而不在于一般星雲之構成。此說與以前諸說相異，不以行星之產生，爲一大團原始物質逐漸演進之結果，而乃由於太陽與其他一大恆星相接近時，發生相互吸引作用所致，故可稱爲雙親產生法 (bi-parental origin)。當其他一恆星行近太陽時，太陽內部原有爆發趨勢之物質，因受外界吸力而實行爆發，現時太陽系中各行星之總物質，約僅有太陽系全體物質之七百分之一，但運動能則占全體百分之九十八，由是可推想及必曾有其他恆星引其爆發之力能存在。太陽於每次爆發時所射出之物質，有行星塵 (planetesimal) 及結核，較大之結核，首先吸引其旁之行星塵，以增益其體質，終於成爲一行星，地球即由此方法造成，較小之結核，亦吸引其近旁之行星塵，成爲一星體，附於一相鄰之行星旋轉，是即

行星所屬之衛星，行星衛星由結核發展之情形，初期甚快，其後則漸慢，行星內部之熱力，係由其本身物質，在生長期中，凝固得來，膠融狀岩石為易溶化之物質所構成，又受壓力而外流，完成岩殼在外，重金屬在內之沉澱作用，至現時地球面部所有之空氣及海洋中之水，依據此臆說，與岩石之來源無甚相異，亦由行星塵中得來，概括言之，此臆說在力學依據方面，自較康德及拉普拉斯等臆說為優，但亦有若干令人不能全信處，舉其要者：當其他一恆星行近太陽，其引力且足使太陽起爆發作用，產生離太陽甚遠之海王星及冥王星時，則整個太陽，必當以起極大潮汐之故而大失其原形，自轉公轉，均當受其影響，甚者或以此另一恆星所施於太陽之引力，稍大於太陽本身吸持其物質力之故而完全潰散；若不潰散，則當太陽噴發物質時，必有一部分仍為太陽吸回，此吸回部分，斜進達太陽面時，必復增加太陽之自轉力而使自轉愈速，又就理論言，其他恆星與太陽相接近之位置，必不能常在太陽之赤道平面附近，因而由恆星引力，發生太陽面上爆發作用後所產生之諸行星，其軌道平面，必不能皆與太陽之赤道平面成相合一之勢，今也太陽自轉一周，仍需二十五日，而太陽系中諸行星之軌道平面與太陽之赤道平面，平均僅得七度左右之交角，易言之，即諸行星之軌道平面與太陽之赤道平面，幾相合一，此事實與理論有不合者也，現時太空中雖有不少螺旋星雲存在，但無有如張伯令及摩爾登氏所言各階段星狀者，不特此也，現時太空中所見之螺旋星雲，其體積均異常龐大，分佈區域，不在星座叢聚之處，而在寥闊之空中，歷時且似已甚久者，依理論言，此項星雲，宜早已消滅，蓋自此等星雲生成以來，必已自轉公轉多次，經數度旋轉後，星

雲之兩臂，必當以捲起或混合之故而成爲一球狀，尙何有如許具備兩臂之螺旋星雲存在？凡此種種，均不能不於此臆說有懷疑焉。

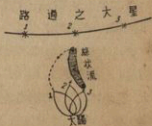
第四節 小行星說

小行星說 (planetoidal hypothesis) 或稱熱地球說 (hot earth hypothesis)，係美國地質學家巴萊爾 (Joseph Barrell) 氏所創導，與螺旋星雲說大致相似，所不同者有二：其一，巴氏認爲與地球相合併之物體，不爲星塵而爲小行星 (planetoids)；此項小行星，亦由太陽爆發時噴出，爲數甚多，現時火星與木星間之小行星帶，卽爲太陽系中行星之始終在初生狀態者，約自直徑二三十公里至八百公里不等，體積愈小，數量愈多，直徑不足二十公里之小行星，或尙較所見者爲多，以非今日望遠鏡之威力所及，故未有所發見。小行星之軌道，若與地球之軌道相交，則當其運行至與地球軌道相交處，必互相衝擊而發生大量熱力，液化膠融而合併於地球，地球之體積，因以增大。此項增益方法，顯然較併吞行星塵爲快，因小行星之體積，遠較行星塵爲大；其二，巴氏認爲地球由星雲時期以至現在，其間必曾經有一液體或膠融狀時期，此可由地球內部物質之比重分佈情形得其證明。現時地球外殼爲花崗岩 (granite) 類物質，比重約爲 2.7，其下爲玄武岩 (basalt) 類物質，平均比重約爲 3.1，再下至地球中心爲膠融狀物質，比重更大(約在 7 以上)由此可知地球曾經一液體或膠融狀時期，重物質下沉，輕物質上浮，如熔鐵爐內鐵精下沉，渣滓上浮然。其後因熱力發散，溫度降低，表面物質乃結成固體，是爲地殼。地心部分，以熱力不易發散，故至今仍保持膠融狀態。巴氏於其所主張之二

點，論證甚詳，茲不過略述綱要而已。

第五節 潮汐說

潮汐說(tidal hypothesis)亦稱熱地球說(hot earth hypothesis)，係最近英人秦斯(Sir J. Jeans)氏及傑弗勒士(Harold Jeffreys)氏所創。此說亦主張太陽系中各行星係由太陽之爆發作用所造成，惟放棄螺旋星雲說派太陽內部原有爆發趨勢之假想，而認太陽之爆發，完全由於另一星體，行近太陽，發生潮汐作用而起。太陽在最初時期，原為一團極大氣體，其直徑約與海王星軌道之直徑相等，密度極小，當其與另一體積大數倍之星體相接近時，發生極大之潮汐作用，古太陽之稀疏物質，遂分裂而拋出一部分星雲，拋出之時，因初力不大，繼力甚盛，終則衰微，故成葉卷形之絲狀流(filament)。絲狀流之中部極膨大，兩端次第縮小，其中所含結核(knots)，吸取近旁物質後，即成為新生之行星，體積亦以居中者為最大，漸向兩端漸小，此與現時太陽系中諸行星體積大小排列情形極相合(參閱第一圖)，可為一有力證據。按之物體對於熱力之關係，同樣物質，體積大者熱量之保持較易，小者散熱快而易於凝結，故歷同樣之時間後，末端星雲，次第凝固，而中央部分，尚保持氣體狀態，即今之木星及土星是也。地球以近於此絲狀流末端之故，體積較小，散熱較易，其表面狀況，已由氣體而液體，由液體而更凝成今日之地殼矣。



第2圖 太陽起潮及爆發

讀者參考舉要

1. Joseph Barrell: The evolution of the Earth, Yale University Press, New Haven, 1913.
2. S. W. Wooldridge: & R. S. Morgan: The physical basis of Geography. Longmans and Green Co., London, 1937.
3. Harold Jeffrey: The Earth, Cambridge University Press, 1924.
4. Alphonse Bergert: The Earth, G. P. Putnam's Sons, New York, 1915
(Translated by
E. W. Barlow)
5. F. R. Moulton: An introduction to Astronomy, The MacMillan Company, New York, 1923.
6. E. G. Skeat: The principles of geography, Oxford University Press, London, 1923.
7. 松山基範著, 王譯譯: 地球, 商務印書館發行。

習 題

1. 設若以直徑一公尺之圓球代表太陽, 則地球及其餘各行星之直徑宜各為若干?
2. 依據太陽及太陽系中八大行星(冥王星之直徑未定, 暫除外)之直徑及比重, 求八大行星之質量總和與太陽質量之比。
3. 以諸行星之軌道悉依正圓形為例, 求諸行星在軌道上運行之速度。
4. 比較康德(Kant)、拉普拉斯(Laplace)、張伯令(Chamberlin),

及摩爾登 (Moulton)、巴萊爾 (Barrell)、泰斯 (Jeans) 及傑弗勒士 (Jeffreys) 諸氏所創地球來源學說之異同。

5. 太陽現時直徑為 1,391,100 公里, 若其體積縮至現有之半, 則其自轉速度應與現時成何比數?

6. 太陽與地球直徑之比, 為: 1,391,100 : 12740; 比重之比, 為: 1.4 : 5.5 求二者引力之比。



第二章 地球產生以來之演變

第一節 熔融時期

地球成立後之演變情形，依推論地球創造者之學派不同而稍有出入，小行星說及潮汐說兩派，係主張地球曾經有一熔融時期者，已如上所述。依據巴萊爾氏推論之大意，謂地球自太陽爆發生成後，一方吸收其近旁自太陽中同時噴出之微細物質，一方因軌道相交之故，與小行星相衝突，衝突所得之力能，至少足使地球表面部分，生熟液化而成熔融狀態 (molten state)。若地球之組織與自天空中墜之隕石相似，則在熔融狀態時，就一熔鐵爐言，體質較輕，不熔化於鐵內之渣滓，宜浮於表面，是即地表部分之矽酸鹽類 (silicates)，籠罩於此熔融狀地表之外，為一濃厚之原始氣界，所含氣體，大部為水氣，其次為二氧化碳 (carbon dioxide)、一氧化碳 (carbon monoxide)、氯氣 (chlorine)、鹽酸 (hydrochloric acid) 及少數氮氣 (nitrogen)，但無自由氧氣 (oxygen)。現時大氣界中之氮氣及氧氣，以包含於溶液方法，侵入水中，原始大氣界中之水氣，亦以同樣方法，侵入熔融狀岩石中，矽酸鹽類之花崗岩，本在攝氏 $1,300^{\circ}$ 至 $1,500^{\circ}$ 時熔化。若混入大量水氣後，則液化點可縮至攝氏 800° 左右，由此可知當時地面溫度，諒亦與此相近。在此溫度情形下，水氣尚不致分離為氫氧二元

蓋，故地球得保有一濃厚之水氣圈。此水氣圈及其中所含有之大量二氧化碳一氧化硫，實為阻遏地表熱力發散之一良好外罩，使地表溫度，一時不易下降，論其作用，一方在此原始氣界底部，吸收地面放射之熱力，一方則即在氣界頂部，向外放散熱力，氣界底部與頂部之溫度，因之不同，而發生對流作用，上升之水氣，溫度降低，凝結為雲，更進而為雨，雨滴降達地面後，復立即蒸發為水氣而上升，往返不已，發生強烈之雷電，原始氣界中，蓋無時無地不在震撼山岳之雷陣中也。日光在此時期，為濃雲所反射，不克透達地面，自他星視地球，光芒四射，一如我人今日在地面上視土木二星然，惟在雲層之上，水氣不多，二氧化碳及其他氣體亦逐漸稀薄，始為一透明之氣層而已。

第二節 地殼之固結

依據巴萊爾氏之小行星說，地球在初成立時期，增長極速，其後則較緩，由與小行星衝擊時所增加之熱力，亦漸不如前，熔融物質中對流情形，因之減退，地表溫度乃逐漸下降，一部分不易熔化之物質，首先凝結而為岩石，最多者宜為重基性結晶物，如含有金屬之硫化物、磁鐵礦、角閃石等，此項結晶物，因其比重較大，在對流運動中趨於下沉，到達深處後，以溫度增高，再液化為熔融狀態，其後溫度愈低降，始為積聚於深處液體層中之不熔化物質。地球自沉積此一部熔岩後，所餘者將為含矽愈多之較輕物質，最後熔岩層逐漸消薄，結晶作用，繼續進行，對流運動，以受阻礙而停止，地表冷卻愈易，遂成為固體岩石，即今日以花崗岩為主之地殼是也。大氣界至此時期，由濃雲中凝聚下降之水滴，可以直達地面為雨，雨勢甚大，且無停息之

時，直至掩蓋全球之大洋，深達數千尺爲止。大氣界以有大量水氣凝結下墜，濃度突減，溫度亦降低，剩餘之氣體，以二氧化碳爲主，水氣則退居於附屬地位，瀰漫大氣界之雲，不復如前之濃厚，且有破碎處，日光可自雲隙射達地面，地面溫度之高低，漸受日光之支配，地面成立行星風帶 (planetary wind belts)，氣候帶亦自此成立。以上爲主張地球初生時溫度甚高學派，自拉普拉斯氏以至達那(J. D. Dana)氏巴萊爾氏對於大氣界演變所作之解釋。距今約八九十年前，英國地質學家，以習熟於印度及非洲地質之故，開始指陳地球在古生代 (palaeozoic era) 以前，曾經歷一較冷時期，雖一時未能推翻拉普拉斯氏等相傳之學說，但以其後在加拿大境內發現更顯著遠古冰河遺跡之故，不能不對於古代氣候，作另一解釋，因而原有之大氣界演變臆說，亦根本推翻。新學說包括張伯令氏在內，主張地球在初成立時直徑僅有 8,850 公里左右，實不能吸有氣體，自後體積逐漸增大，乃能保有水界及氣界，惟當時原始氣界之組織，實與今日氣界情形大不相同，各氣體中占有成分最多者爲二氧化碳，氧氣則占絕少數，其後以有生物出現，吸收碳氣，分離氧氣，所析出之氧氣，雖有一部再與他物化合，存在於岩石及礦物中，但其總數仍繼續增加，遂成今日大氣界之組織情形。此項臆說，近年頗有一部分地質學家信從之。

當地球在熔融時期，水僅能以氣體狀態存在時，氣界壓力甚大，一部分氣體，即包含於熔岩中。迨入本時期後，大部水氣，凝結爲雨，氣壓減少，以前被壓入於熔岩中之水氣，乃復逸出而凝結爲水，流入海洋，是爲幼年水 (juvenile water)。此項加入於海洋中之水，在地球初凝固時期，爲量甚大，即在其後，以陸地有熔岩自地球深處流出

之故，幼年水隨之流出，爲數亦頗可觀，故地質學家蘇斯 (E. Suess) 氏有地內產出海洋之說。

第三節 海洋區域之構成

地球在熔融時期，表面本極平滑，與一去殼後之鮮桂元相似；今日則陸有高山，水有深淵，極高低不平之至。概括言之，地面共爲海陸二界：陸界較高；海界較低，此其構成，不在地表固結之時，而在固結以後。所謂地殼，其厚度約僅有 80 至 120 公里。地殼以下，仍爲膠融狀物質，各物之組織相等，亦無甚高低差別，當地殼有破裂處，則膠融狀物質，流出而爲熔岩，積聚於地面。熔岩之物質，概較表面花崗岩類爲重。地殼以支持在膠融狀物質上之故，其底部宜相均一，是即所謂地殼等壓說 (theory of isostasy)。譬之水面浮有冰塊，冰以體積較水爲輕之故，表面宜較水爲突出，其底部壓力，則仍與同質量之水壓力相等，以保持流體之靜力平衡 (hydrostatic equilibrium) 狀態。由地內深處流出之熔岩，其比重既較地表岩層爲大，則凡熔岩積聚較多之地，必將以重而下沉，形成一低陷區域，今日地表海洋區域，殆即在地殼固結以後，由此方法造成，惟在熔岩積聚不多區域，重量方面之差別不大，當無甚顯著高下耳。近年大地測量漸周密，在各處所測得之地心吸力，確實表現低陷處地內物質之比重，顯然較隆起處爲大，如美國五大湖區域之蘇必略湖 (Lake Superior) 附近低地，由深處流出之基性熔岩甚多，確有造成過重而下沉之情景，地中海一帶，亦有此現象，以上所述深處熔岩外出，因重下陷，構成海洋區域情事，不特以在地殼初成立時爲最盛，即在若干較近之地質時期

中，亦尚續有發生，以在地面上有若干區域，顯然有因地面下沉，海身容量增大，水面低降之證據也。

第四節 地表演變時期及玄古界之開始

所謂地表演變作用 (surface processes)，係指在地面發生之風吹雨打，水移冰運等一切破壞及建設作用而言。地面自顯然成立陸海高低區域後，水以就下之故，必以流入海洋為歸宿，當其在陸地流行時，常挾泥沙以俱，侵蝕作用，因以開始，非至陸地之水，全歸海洋，或全球之水，悉在同一高度，使水流完全停止，則此侵蝕作用，將永無已時，今固猶在此時期中，推而至將來，亦尚不易遽脫離此時期也。在陸地方面，自有陸海區別後，熔岩之外流仍盛，元始岩石，經大規模地殼變動後，已不可見，其能保存於後者，為破爛之結晶狀沉積物，及在較新熔岩上之古熔岩片，此種業已變態，並有熔岩侵入之水成岩，即所謂最早之玄古時期 (Archean) 岩石。其離地球之成長時期，究有若干年，尚無法推知，惟自此以後，地球已進入地質時期，一切有岩石可資考證，從地質立場言，可稱為脫離無史時期而進為有史時期矣。

讀者參考舉要

1. Joseph Barrell: The evolution of the Earth.
2. Alphonse Bergert: The Earth.

習 題

1. 設有直徑 80 公里之小行星，以每秒 12 公里之速度，與地球

相衝突，由此所發生之熱力，若以半數作用於小行星之本身，小行星之比重為 7.2，比熱 0.12，未衝突前溫度為 0°C ，試推求衝突後此小行星之全部平均溫度。



第三章 地球之年齡

第一節 概論

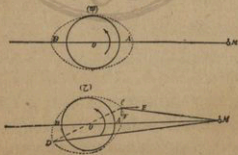
地球之年齡問題，中外古代之先民，均各早有論及，如迦爾底人 (Chaldean) 謂世界年齡，共有二十一萬五千歲，波斯之瑣羅亞斯德 (Zoroaster) 學派，謂世界成立以來，僅有一萬二千年，我國亦有創世以來，已達十二萬年之說，均無學術方面根據，僅為一種神話而已。歐洲至十八世紀中葉，以地質學生物學等發達，漸有人依進化原則，參之滄海變化遺跡，想像及地球歷年之久遠，首先推求其應有之年齡者為凱而文 (Lord Kelvin) 氏，地質學界以凱氏發表之地球年齡，失之太短，乃亦共同參與討論，今成為天文、物理、地質三方面共同問題，論證甚多，出入亦大，其要可於下列諸節中見之。

第二節 由月地關係推求地球之年齡

公元 1794 年，鄧桑 (Dunthorne) 氏依據比較古今日期所得結果，倡言地球之自轉速度，今較古時為慢。其後百餘年，亞當斯 (Adams) 氏對此再加以研究，計算得地球之自轉速度，每百年增長時間二十二秒。亞氏自言其所用之計算資料，不甚可靠，蓋一初步之推算而已。康德氏於其所著之宇宙哲學論中，曾談及地面潮汐之摩擦力，能使

地球之自轉速度減少。晚近湯姆遜 (J. J. Thomson) 氏以多種方法，推定地球內部物質，較地面之鋼為硬，並假定地球自經歷熔融時期，逐漸冷卻，以至凝結有地殼後，形狀未嘗改變，自轉速度，則以一致之變化減少；若地球之扁平度可用種種方法測定，自轉減速率亦能由歷史方面求出，則地球自有地殼以至今日之年齡，即不難推定。依據湯氏之意見，地球之年齡，至多不過十萬萬年，若較此數為大，則地球在今日之扁平情形，亦宜加甚。湯氏所謂地球內部物質較鋼為硬，與天體力學方面相應，惟與地震方面所得之紀錄不符，又其所作之二假定，不易令人置信，故其所推得之地球年齡，亦在可疑之列。

月球繞地球而運行，其體積與其他星體比，雖甚渺小，然以距地最近之故，對地面起潮之力最大，若地球為一極光滑之圓球，完全無摩擦作用，則於正向月之面及其對蹠點起高潮，如附圖甲所示；但實際上地球表面並不平滑至無摩擦作用，故高潮地位，不在連貫月地中心線上之 AB 位置而延緩至 CD ，月球在 C 處之起潮力為 CM ，分析之得二力 CE 及 CF ，如附圖乙所示， CF 與地球之轉向相反，故



第 3 圖 月在地面起潮情形

地球因潮汐關係，旋轉能日漸減少，依據力學原則，此月地系統之總運動能宜不變，今地球之旋轉能既減少，則月球在軌道上之運動能必宜增大，是即非增加月地之距離不可，由此推論，月地在古代之距離，必較今日為近，究其極，月球必曾有一日幾乎與地球相接，此日期殆即為月球初生之時。自後以發生潮汐之故而逐漸遠離，以達今日之位置，是為達爾文 (George Darwin) 氏由潮汐演成之推算地球年齡方法。若能將潮汐與地球自轉速度之關係決定，則地球自析出月球以來之年齡，即可求得。據達氏計算所得之結果如下：

年 數	每 日 時 數	每 月 日 數 (以現時一日為單位)
○	23 時 56 分	27.32 日
40,300,000 年	15 30	18.62
56,600,000	9 55	8.17
56,800,000	7 50	3.59
53,810,000	6 45	1.58

近來張伯令氏等考究潮汐影響於地球自轉速度問題，頗為精密，得每五十萬年延長每日之時間一分，與達爾文氏算得之結果，相差甚遠，但達氏終不失為運用此法之創導者。

第三節 由沉積岩之厚度推求地球之年齡

地球自有侵蝕作用以來所歷之年齡，易言之，即自水陸兩界分離以來所歷之年齡，地質學家統稱之曰地質時代。我人若能測知沉積物 (sediments) 之總厚度，及每年累積之數時，則地球自水陸二界分離以來所歷之年齡，不難求得。據索拉斯 (Sollas) 氏發表地質時

代各岩層之總厚度，依最大數言，約為 100,000 公尺。地球在表面積聚沉積物之速度，據多方調查及推算，以結成岩石後之厚度言，每年平均約為 0.014 公分，積 7,200 年後，始達一公尺，若此平均沉積速度，僅有實際最大速度之五分之二，則約歷 2,880 年，即可增厚一公尺，以此數除沉積岩之總厚度，得地球自水陸二界分離以來之年齡為 288,000,000 年。實際上沉積物增厚之速度，不能以最大數為例，故由此法所得之地球年齡，至少宜在 300×10^8 以上。茲再表列歷來用此法推算所得之地球年齡如下：

推算者	沉積岩之總厚度	每增厚一公尺所需年數	總年數 (以百萬為單位)
費立普(Philips)	2,200 公尺	4,369 年	95
赫胥黎(Huxley)	30,500	3,280	100
拉帕稜(Lappard)	45,740	1,968	60
蓋基(Geikie)	30,500	2,538—22,304	78—680
馬 岐(Mc Gee)	80,468	19,680	1,584
佐 來(Joly)	80,793	984	80
索拉斯(Sollas)	102,380	656	80

上表示各推算者所得之數字，出入甚大，則以地面沉積岩之厚度，及沉積物增厚之速率難確定故也，而此法之理論簡單，實行困難情景，亦由是可見一斑矣。

第四節 由海水中鹽分推求地球之年齡

海洋為水流之所匯歸，水流中所挾之溶解物質，最後咸傾注於海洋，故海水中所含之溶解物質，有與日俱增之勢。各種溶解物質中，

有屢經變化而仍沉積於海底者，如海洋中有若干種生物，生時吸收石灰質為其軀殼，死後仍沉於海底而為石灰岩，惟食鹽（NaCl）不生何種變化，故當 1715 年時，哈雷（Edmund Halley）氏首先創議謂世界之年齡，可由海水中鹽分求出，但以資料缺乏，未即置之實行。其後李特（M. Reade）氏始實際運用此方法推算，亦以資料不充足，所得結果不佳。1899 年佐來（J. Joly）氏繼之作詳盡之研究，可稱為此法進達實行時期之始。佐氏採用 $1,555 \times 10^{13}$ 公噸為海水中現有鈉之總量，至於每年由陸地流入海洋中之鈉量，雖不易決定，但有兩途可以推算，主要者係由河流運出，另有一小部分，係在海濱被潮汐刷去。由河流携入海洋中之鈉量，因河流之總流量尙未十分決定，祇能以慕萊（John Murray）氏所作全世界十九大河之分析及測量為代表，計每年送入海洋中之鈉質，約為 $15,976 \times 10^4$ 公噸。被潮汐洗刷入海洋中之鈉量，遠不能與前數比，至多約僅有前數百分之三左右。如此，則以河流及潮汐每年送入海洋中之鈉量，除海洋中現有鈉之總量，得數宜即為地球之年齡。但事實並非如此簡單，因每年由河流送入海洋中之鈉，並非全由岩石中流出，亦不盡是初次流入海洋，其中有由陸而海，由海而陸，再由陸而海者，名曰循環鈉，其歷史既與尋常鈉不同，即難依尋常鈉推究其入海所歷之年數者也。又據慕萊氏調查，河流每年排洩 272×10^{11} 公噸水中，約含有 847×10^5 公噸氯氣（Cl），易言之，即氯氣與河流排洩量之比為 3 : 1,000,000。雨水歸入河流時所含之氯氣，據分析所得，約為 1 : 1,000,000，由是可知河流排入海洋中之氯氣，約有三分之一係自海洋吹來而混雜於雨水中。在海洋中氯氣與鈉之比，並非完全相等，即令所有氯氣，全與

鈉化合爲食鹽 (NaCl), 亦尚有百分之十八氯氣過剩, 故自海洋吹入陸地之氯氣, 至多僅能含與彼百分之八十二當量之鈉, 即約 15×10^6 公噸化合。如此, 則每年自岩石中流入海洋之鈉, 應爲:

$$15,976 \times 10^4 - 1,500 \times 10^4 = 14,476 \times 10^4 \text{ 公噸.}$$

河流每年携入海洋之氯氣中, 既有三分之一自海洋中吹來, 則自岩石中吐出之氯氣, 應爲:

$$847 \times 10^5 - 282 \times 10^5 = 565 \times 10^5 \text{ 公噸.}$$

地面自發生侵蝕作用以來, 若每年流入海洋中之氯氣量爲一不變數, 則以總年數乘每年流入海洋中之氯氣量, 應即等於海洋中現有之總氯氣量。設每年流入海洋中氯氣量爲 c , 年數爲 X , 則海洋中總氯氣量應爲 cX 。若海洋中實有氯氣總量爲 C , 則 $C - cX$ 既非河流携去, 祇得認爲海洋中固有之氯氣, 此或者曾與氫氣化合, 成爲 HCl, 而早存於海洋中乎? 我人若承認此假定, 而再設想: (一) 古今岩石成分相似; (二) 氯氣僅能與鋁、鎂、鉀、鈉等化合, 則海洋中固有之鈉量, 即不難求出。據克拉克 (F. W. Clarke) 氏調查, 現今凝結岩中含此等原質之平均分量如次:

原質 鋁(Al) 鐵(Fe) 鈣(Ca) 鎂(Mg) 鉀(K) 鈉(Na)

分量 7.90% 4.43% 3.43% 2.40% 2.45% 2.43%

以上各物質, 若皆與氯氣化合, 則與鈉化合之氯氣, 僅有氯氣總量之百分之 6.7, 由此得海陸初分時與氯氣同入海洋之鈉, 應爲:

$$\frac{6.7}{100} \times \frac{23}{35} (C - cX) \text{ 即 } 0.044(C - cX).$$

由海洋中現有之鈉量, 減去固有之鈉量, 所餘即自海陸劃分以來逐

年流入海洋中之總鈉量。命海洋中現有之總鈉量為 N ，每年由河流携入海洋之鈉量為 n ，海陸劃分以來之年數為 X ，則 X 可由下式求得：

$$X = \frac{N - 0.044(C - cX)}{n}$$

$$\therefore X = \frac{N - 0.044C}{n - 0.044c}$$

上式中

$$N = 1,555 \times 10^{13} \text{ 公噸};$$

$$C = 28,796 \times 10^{12} \text{ 公噸},$$

[據狄忒馬(Dittmar)氏分析海水之結果];

$$n = 14,476 \times 10^4 \text{ 公噸};$$

$$c = 565 \times 10^5 \text{ 公噸};$$

故得

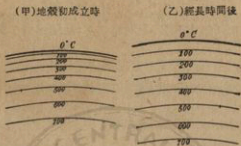
$$X = 100,000,000 \text{ 年}.$$

每年被潮汐沖洗入海之鈉量，與每年經人類用過，再流入海中之鈉量，大約皆在五百萬公噸左右，前者應加入除數內，後者應自除數中減去，二者相消，不必加，亦不必減，但再徹底言之，以上所算得之 X 數，即地球自有侵蝕作用以來之年數，實際上究不可靠，以所作假定太多也。

第五節 由散熱作用推求地球之年齡

地球在古代，曾經歷一溫度甚高之熔融時期，已如前一章中所述，自地殼成立後，在表面散失之熱，僅賴傳導作用，自內部補充，岩石非良導體，傳熱遠不及失熱之速，地面溫度，乃盛行低降，在近地面處，造成極大之垂直溫度差率，時間漸久，冷卻作用漸深入，垂直

溫度差率乃漸減，易言之，即等溫面間之距離漸增大，如附圖甲及乙所示：



第4圖 地殼內等溫層之距離隨年代而變化圖

故由等溫層之疏密情形，可推知地球之年齡。今以地表開始冷卻時之溫度為 θ ，則在 t 年代後，近地面處溫度每差一度之垂直深度為：

$\frac{\theta}{\sqrt{\pi kt}}$ 。式中 k 為一常數，與傳熱壁之比熱及其傳熱率有關。據凱而

文氏試驗各種岩石之結果， k 之值約為40，現今地面各處之垂直溫度增加率，平均約為三十五公尺增攝氏一度。我人在地面所見各種物質，溫度達攝氏三千度時，大多趨於熔化，故可以此數為地殼成立後開始冷卻時之溫度。以上列各數代入式中，得：

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\theta}{dX}\right)_0 &= \frac{\theta}{\sqrt{40\pi t}} \\ &= \frac{1}{11} \frac{\theta}{\sqrt{t}}. \end{aligned}$$

命 $\left(\frac{d\theta}{dX}\right)_0 = \frac{1}{35}$ 並將 θ 之實數代入，得：

$$3,000 = \frac{11}{35} \sqrt{t},$$

$$\therefore t \approx 100,000,000 \text{ 年.}$$

此法爲凱而文氏所倡導，實際上缺點甚多，故所推得之數，亦殊難令人置信。

第六節 由地殼中放射性物質推求 地球之年齡

礦物中有所謂具有放射性能 (radioactivity) 者，常於某一定時間內爆裂而生某種物質，故若能測知其爆裂情形，則由其爆裂後生成物質之總量，可推斷此礦物所經歷之年齡，始創此法者，爲刺特福 (Rutherford) 氏。彼採用之礦物，現時以鈾 (uranium) 爲最多，以鈾之放射性能最有規律也。鈾之原子爆裂時，順次放出陽電子而變化，至成釷 (thorium) 爲止，共放出陽電子三個，此陽電子失去其所負之陽電後，即成爲氦 (helium)，釷成立後，亦順次放出陽電子而變化，共放出五個陽電子而變爲鉛 (lead)。如此則由一個鈾原子爆裂，可生成八個氦原子及一個鉛原子。氦之原子量爲 3.994，鉛之原子量爲 207.08，故由某一定量之鈾所成之氦及鉛，其比例應爲 $3.994 \times 8 : 207.08 = 1 : 6.481$ ，據盧瑟爾 (H. N. Russell) 氏估計，現時地殼中含鈾量約占地殼總量之 7×10^{-6} ，含鉛量占 22×10^{-6} ，若地殼中所有之含鉛量，全爲由鈾放射而成之鉛，即所謂鈾鉛 (uranium lead)，則此占地殼總量 22×10^{-6} 之鉛，須由 25×10^{-6} 之鈾造成，現今地殼中尚存有 7×10^{-6} 之鈾，可知地殼中原有之鈾必爲 32×10^{-6} 。以鈾之放射

率每五十萬萬年減少原量一半推算，由原有占地殼總量 32×10^6 ，減縮至 7×10^6 ，必須經過時間約 11×10^9 年，亦即自初有火成岩以來，共須經過 11×10^9 年。但實際上地殼中之含鉛量，非全屬鈾鉛（即由鈾放射而成之鉛），其中尚有一部為本生鉛（ordinary lead），故上述 11×10^9 年歷史，必較實際為長，而須加以修正。修正之結果火成岩之年齡，大約在 6.6×10^9 與 8×10^9 年之間。至由現時礦物中之氦量，以推求地球之年齡，論理本可相通，但以氦易散逸之故，現已不採用之。

第七節 結 論

由以上諸法所推得之地球年齡，長短不一，其中有較在地質方面已確知之岩石年齡為尤短者，自屬不可置信。即依最大數而言，亦尚係地球自有岩殼以來之年齡，而非地球自太極析出以來之全部年齡也。至就各種推算方法而論，以沉積岩之總厚，海水鹹度及放射物質三者較為可靠，尤以放射物質一法，根據確鑿，故所得年齡，亦似較可信。由地球散熱作用推求年齡一法，係根據鮑松（Poisson）氏假想，及傅立葉（Fourier）氏之無限平面接觸傳熱原則推論，地面雖大，然尚不能謂為無限平面，故以傅氏原則，應用於此，多少不無鑿柄之處。其他如常數 k 之求得，假想地球永在溫度為零之環境中冷卻，均足使人生疑。又地殼內失熱情形，不如理想之簡單，益以地殼內放射物質之存在，且能增加熱量。凡此種種，均足使此法之內容，趨於複雜。故自文氏發表其所推得之年齡，初為一萬萬年左右，旋再加以修改，而為二千至四千萬年後，地質界咸覺其過短，而另從他方進

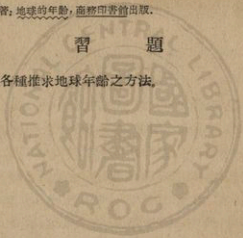
行推算，今此法已僅爲歷史上之事實而已。最近傑弗勒士 (Harold Jeffreys) 氏綜合各方之見解，推定地球自完成地殼以來較可信之年齡，約在十三萬萬 (1.3×10^8) 至八十萬萬 (8×10^7) 年之間。

讀者參考舉要

1. Alphonse Bergert: The Earth.
2. Harold Jeffreys: The Earth.
3. 李四光著：地球的年齡，商務印書館出版。

習 題

1. 評論各種推求地球年齡之方法。

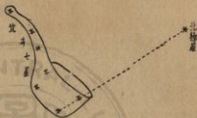


第四章 地球之現狀

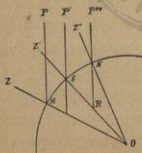
第一節 地球之形狀

地爲球形之說，導源甚古，在公元前四百年左右，希臘哲學中畢達哥拉（Pythagorus）學派，曾發表地爲球形學說。迄亞里士多德（Aristotles）氏時代，關於地球及其他天體之知識，漸臻完備，愈知地爲球形，惟以當時交通工具不良，不能作長途遠行，人類知識，局於一隅，故仍未爲一般人所置信，至十五世紀中葉哥倫布（Christopher Columbus）氏欲西航以達印度，仍多非笑之者。迨麥哲倫（Fernando Magellan）氏周航世界成功，地爲球形，乃成定論。故知欲堅定人類對於地球形狀之信念，宜多闡明確鑿證據，證據既備，則地爲何種形狀，可不待辯而自明矣。地爲球形，可從各方說明，通常所用者爲人類可周航地球；海中來船，先見船檣，後見船身；以及月蝕有圓影；愈高則所見地平線之範圍愈廣等，但此等例證，實不能確切說明地爲球形，因周航可以繞行圓柱爲解；船先見檣而後見全身，僅足以證明地面隆起；立地面高處，可見較大之地平圓周，在論理方面可云甚佳，實際上則難察出大小之確數；月蝕時地球所投射於月球之影雖爲圓形，但若地球爲一圓盤形，亦能完成此狀，又其邊緣不甚清晰，半徑太大，不能窺見全影，故亦非良好證據。在各種說明地爲球形方法中最

確切而簡便者，莫如直接依據兩地之地平面或鉛直線 (plumb line) 方面所生差別與距離成比例推論。地面上兩處鉛直線方面之差別，可依據星辰之位置測定。惟一般星辰之視位置 (apparent position)，常繼續繞行地球不已，最好莫如以北極星為準。北極星在天空中之位置，極易搜尋，自我國古書所稱北斗七星 (學名大熊星座 great bear or big dipper) 中之斗口二星，即所稱「指示者」 (the pointer) 起，引一直線，達約五倍於二星距離之處，有一較二星光度略弱之星，是即北極星。此星在天空中之位置，永遠無甚移動，論語所謂「居其所而衆星拱之」者是也。且在地面上赤道以北地區，或能見之，故為一極好之觀測目標。自地面直對北極星進行，實即依地球之子午線進行，在較北地區所見北極星高出於地面之角度，恆較在較南地區所見者為大，大小之差，與南北距離之長短成比例。此種現象，乃示我人係在同一圓圈上進行，蓋如第六圖所示， S 為旅行者之出發點； N 與 M 為其旅行之目的地； PM ， $P'S$ ， $P''N$ ，為北極星射至地面之光線，因北極星距地極遠，故光皆平行； ZM ， $Z'S$ ， $Z''N$ 分別為 M ， S 及 N 地點之天



第5圖 北斗七星及北極星圖



第6圖 依正南北方向進行時所見北極星離地高度方面之變遷

較北地區所見北極星高出於地面之角度，恆較在較南地區所見者為大，大小之差，與南北距離之長短成比例。此種現象，乃示我人係在同一圓圈上進行，蓋如第六圖所示， S 為旅行者之出發點； N 與 M 為其旅行之目的地； PM ， $P'S$ ， $P''N$ ，為北極星射至地面之光線，因北極星距地極遠，故光皆平行； ZM ， $Z'S$ ， $Z''N$ 分別為 M ， S 及 N 地點之天

頂方向線； $\angle ZMP$, $\angle Z'SP'$, $\angle Z''NP''$ 爲北極星距離各該地天頂之角度。在 $\triangle NRO$ 中：

$$\angle NOS = 180^\circ - \angle ONR - \angle ORN;$$

$$\angle NRS = 180^\circ - \angle ORN;$$

故 $\angle NOS = \angle NRS - \angle ONR$ 。

但 $\angle NRS = \angle P'SZ'$;

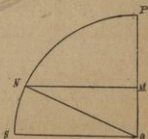
$$\angle ONR = \angle P''NZ'';$$

故 $\angle NOS = \angle P'SZ' - \angle P''NZ''$ 。

依同理 $\angle SOM = \angle PMZ - \angle P'SZ'$ 。

由此可知兩地北極星與天頂間所成角度之差別，即等於兩地間之中心角，依據幾何通則，中心角之大小，以其所對之弧定之。 $\angle NOS$ 之大小，即視 SN 弧之長短而定，今實地所測得之結果，兩地距離相同者（如 $SN = SM$ ），則北極星與天頂間之角度差亦相等，即 $\angle NOS = \angle SOM$ ，等弧對等中心角，爲同一圓周上之現象，由是可知我人自 S 點出發，向南北進行時，係在同一圓周上移動，地球之爲圓形也明矣。顧此圓形爲圓盤乎？圓筒乎？抑圓

球乎？尚須再爲辨正，據學者實地測量所得，在北半球地面上向正北方作二線，沿等北極星高度線（即在二線上所見北極星之高度相等者，亦即等緯度線），量此二線間之距離，發現此距離愈在北方愈小，其長與北極星高度之餘弦（cosine）成正比，第七圖 $\angle SON$ 示



第7圖 北極星高度與二經線間距離之關係

N 地點之北極星高度角，則沿 N 地點之等北極星高度線圈上量 ON (即經線) 與其他另一正南北線 (亦經線) 間之距離，與 MN 線之長短成正比例，根據此事實，我人立可斷定大地為圓球體。蓋若為圓筒，則此二線間之距離必為一不變數，絕無愈北愈小之現象；若為圓盤，則地球之東西遠距，根本不能與南北相比，且亦不應與北極星之高度有關，此與我人所經歷之事實均不符合，故在三者中，惟有圓球體之解釋為合理，茲利用第八圖證明如下：

設 PP' 為圓球之直軸，與北極星之方向平行； $NN'M$ 與 $EE'O$ 為二平面，橫切 $PNEP'$ 與 $PN'E'P'$ 二圓圈。令：

$$PN = PN',$$

$$MN \text{ 與 } MN' \text{ 均垂直於 } PP',$$

$$NN' \text{ 為以 } M \text{ 為中心之圓弧，}$$

$$\alpha \text{ 為二平面間所成角度之弧度值 (measured in radians);}$$

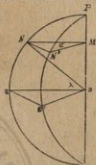
則 $NN' = NM\alpha$ ，即 NN' 弧之長度，與 NM 成正比。

令 $\lambda = \angle NOE,$

因 $\angle MNO = \angle \lambda;$

故 $NM = ON \cos \lambda,$

由是可知 NN' 與 $ON \cos \lambda$ 成正比， ON 為圓球之半徑，在同一圓球內，其數值不變，故可影響 NN' 弧度之長短者，惟 $\cos \lambda$ ， λ 即北極星與地平間所成之角度，亦即北極星之高度； EP 及 $E'P$ 可視為在地球表面上向正北方向所作之二線； EE' 與 NN' 二弧，則為二線上之



第 8 圖 P'
地為球形之證

北極星高度地點間之距離，其大小確與北極星高度之餘弦成比例，即 $EE':NN' :: EO:NM$ ，推而至北極星高達天頂時， $\cos \lambda$ 爲零， EP 及 $E'P$ 必相交於 P 點，故知大地實爲一球形。

地爲球形，尙可用極簡便之方法證明，公元 1870 年，華勒斯(A. R. Wallace)及奧爾特罕(Yule Oldham)氏曾先後作一種試驗，在同一水平面上，沿任何一直線立三竿，竿之長度相等，相距各三哩，自望遠鏡中窺第一竿及第三竿之頂在一平面時，居中一竿之頂，高出



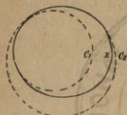
第 9 圖 華勒斯及奧爾特罕
氏所作之試驗圖解

其旁兩竿之頂約六呎左右，由此知地面強爲每三哩約六呎左右。

大地雖爲球形，但非正圓球形，英國物理學家牛頓氏曾依據力學原理，發表主張謂地球在二十四小時內自轉一周，由此所起之離心力雖極微弱，地殼雖極堅固，然經悠久時間，旋轉於同一轉軸以後，必成爲赤道部分膨脹，兩極扁平，與橘相似之形狀。但經法國學士院喀西尼(Cassini)父子(父 Dominicus Cassini, 子 Jacob Cassini)於公元 1683 至 1718 年間實行測量結果，謂地球之形狀，兩極突出，赤道部份平坦，似一檸檬，於是遂起英法學者之爭執。法國學士院於公元 1735 至 1736 年間，特再派遣兩組測量隊，分別在赤道附近秘魯(Peru)境內之基多(Quito)及北緯六十度左右拉伯蘭(Lapland)境內之陀爾尼亞(Tornea)作大規模之測量，結果發現在兩極附近每一緯度之距離，較在赤道附近爲長，長短之差如下：

平均緯度	子午線弧一度之長
北緯 66°20'	57,438 toises (每 toise = 1.9494 公尺)
北緯 45°0'	57,072
南緯 1°13'	56,753

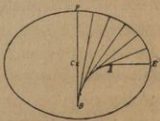
此種長短差別，顯然示我以地球之形狀，在赤道部分膨脹，兩極附近扁平，似橘而非檸檬，蓋如第十圖所示，赤道附近，以向外膨



第 10 圖 圓面與每一度
弧長之關係

脹之故，弧度與 C_1 相合，兩極附近，以扁平之故，弧度與 C_2 相合， C_2 較 C_1 大，故在兩極附近每一緯度之長，較赤道附近為大。又如第十一圖所示，在扁圓球上分割同等距離之弧，自各等分點作垂直於圓弧之直線，則將見各直線間所夾之角，以在扁平部分為最小，易言之，即每一度之弧

長，以在扁平部分為最大，法國學士院所派遣之測量隊在地面所測得者即如此，故地球實呈扁平形，至此牛頓氏之理論與事實相符，地球之形狀，亦予以確定。自後雖續有人對此作測量工作，所得兩極扁平赤道部分膨脹情形，仍大致相似，惟數目稍有出入耳。就其執行之手續論之，宜以 1926 年勞恩 (Hers Rauhen) 氏發表之數字為最可靠，計赤道半徑為 6,378,597 公尺，扁平率 (flattening) 二百九十七分之一，即兩極半徑較赤道半徑短二百九十七分之一，實數為 21,476 公尺；兩極半徑



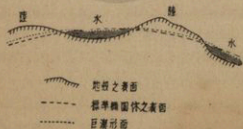
第 11 圖 扁圓與等弧之關係

實長 6,356,921 公尺。茲再將歷來最著稱之測量所得數字，列表如下：

發表年份	測量者	赤道半徑(公尺)	扁平率
1841	Bessel	6,377,397	299.15
1880	Clarke	6,378,249	293.50
1909	Hayford	6,378,388	297.00
1929	Hers Rauert	6,378,397	297.00

1924 年以前，各書論地球形狀者，咸採用克拉克 (Clarke) 氏所發表之數字，以後則改用赫福爾特 (Hayford) 氏數字，實際上既以勞恩 氏之數字為最可靠，今後或將正式採用之。

以上論地球之形狀，究以地面何點為標準，不能不有所規定，蓋地球表面高低不平，陸上最高之山與海洋中最低之深淵，相去亦達二十公里左右，是與地球之南北半徑及赤道半徑之差相抗衡也。地球表面最平坦者莫如水面，故即以水面為標準，無水面之處，則假想陸地下亦有水面存在，與標準水面相連通，如此全為水面所包之地球，稱為巨澳形 (geoid)。巨澳形地球以近陸部分之水，受陸地吸力



第 12 圖 實際地球巨澳形及標準橢圓體之表面情形

影響，較海洋中心部分之水稻為隆起，仍形成一凹凸不平之表面，惟較地球表面之實際情形為平坦耳。若再將巨澳形之凹凸不平完全除去，達於理想之平坦境界，則稱標準橢圓體。實際地球、巨澳形、標準橢圓形體三者之表面，約如上圖所示。

在實際應用上，以巨澳形為根據，已甚精密，至標準橢圓體與巨澳形之區別，惟理論方面施行極精密之研究時，始應注意及之。

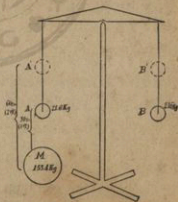
第二節 地球之大小

測量地球之大小，來源亦甚早。公元前二二〇年，埃及亞歷山特利亞 (Alexandria) 市圖書館長埃拉托色尼 (Eratosthenes) 氏，擇夏至日正午，在賽伊尼 (Syene) 市一中深井之上方，守候太陽照達井底之時間，同時另在其北方約 925 公里之亞歷山特利亞，以豎竿測得太陽南中時之傾角為 $7^{\circ}6'30''$ ，由此得赤道至北極間之地面距離（即子午線四分之一弧長度）為 11,562 公里，球半徑為 7,360 公里，與今日公認之數字相較，約大百分之十五，是為我人對於地球大小之初步認識，但去事實已不遠矣。其後至十六世紀初葉，歐洲法荷等國，始再舉行大規模之測量。十七世紀時，益以望遠鏡及其他器械之助，所得結果，愈為精密。十九世紀以來，各國學者，仍繼續進行測量推算不已，柏塞爾 (Bessel) 氏於公元 1841 年曾搜集當時所測得之結果，用最小自乘法決定地球之大小及形狀，稱為柏塞爾橢圓體，乃以最精確方法決定地球大小及形狀之嚆矢也。自後又有英人克拉克 (Clarke) 氏橢圓體、德人赫麥特 (Helmert) 氏橢圓體、及美人赫福爾特 (Hayford) 氏橢圓體，其中赫福爾特氏橢圓體於 1924 年在西班牙

所開之萬國測地學會及地球物理學會中被採為各國通用之標準橢圓體。依據此標準橢圓體，得赤道半徑為 6,378.388 公里，兩極半徑 6,356.709 公里，赤道圓周 40,076 公里，子午線圓周 40,008 公里，相差 68 公里；在赤道上每一經度之距離為 111.32 公里，經線上每一緯度之長，在赤道附近為 110.56 公里，兩極附近 111.70 公里，面積 510,100,800 平方公里，體積 1,082,841,315,400 立方公里。

地球之體積既定，若地球之組織，內外一致，則質量亦立即可求得。實際上地球之組織，即就在地表所見之岩石而言，我人已知其種類不一，故不能不另用他法以推求其總質量。普通決定質量之方法，係權衡物體之輕重，但物體之所以在地球表面有重量，係受地心引力之故，依據牛頓氏萬有引力原理，物體對於地球亦施行引力，二者相互吸引力之大小，與其所有質量成正比例。若能將物體與地球所施引力之大小決定，則地球之質量定矣。基此原則所作之測量地球質量方法甚多，已實行者，有扭轉天平 (torsion balance) 法、山嶺引力法、鐘擺法、普通天秤法及波伊斯 (C. V. Boys) 氏之懸球法，其中普通天秤一法，手續簡單，可再說明如次：

此法為德人約萊 (von Jolly) 氏所創，近年英人鮑廷 (J.H. Poynting) 氏曾再沿用之，第十三圖中 A 及 B 為二鉛球，直徑各六吋，重各 48 磅



鮑廷氏之實驗裝置

第 13 圖 以天秤推斷地球之質量

(21.6 公斤), 懸於天秤之兩端, 以其重量相等, 故天秤成平衡狀態, 實驗時置一直徑長一呎, 重 340 磅 (153.4 公斤) 之鉛球 M 於 A 之下方, 使由 M 中心到 A 中心之距離為一呎, 因 M 對 A 發生引力作用, 斯時 A 之重量, 遂較 B 為稍大, 天秤乃即向 A 方傾斜, 但 M 不惟對於 A 發生引力, 對於天秤桿亦有同樣作用, 若將 A, B 二球移至 A' 及 B' 之位置, 使 A' 與 M 二球間之中心距離為二呎, 即較前增加一倍, 則因 M 對於天秤桿之距離未變, 據萬有引力定律, F (引力) 與 d^2 (二物體間距離) 成反比, 此時 M 對 A' 之引力, 應減為原值 $\frac{1}{4}$, A 球由 M 引力所增之重量, 遂較在原位置時減少 $\frac{1}{4}$. 據實測所得, M 在距 A 一呎處所加於 A 球之實際重量為 0.21 mgm., 地球中心距離 A 約 2.1×10^7 呎, 所施於 A 之引力, 等於 A 所表現之實際重量, 即 21.6 kg., 相當於 0.21 mgm. 之 10^8 倍. 若地球中心距 A 亦為一呎, 則地球之質量, 應為 M 之 153.4×10^8 倍. 但實際上地心距 A 為 2.1×10^7 呎, 則地球之實際質量, 應為:

$$153.4 \times 10^8 \times (2.1 \times 10^7)^2 = 6.76494 \times 10^{24} \text{ (kg.)}$$

或 $340 \times 10^8 \times (2.1 \times 10^7)^2 = 15 \times 10^{24} \text{ (lbs.)}$

與地球同體積之水, 其重量為 1.134×10^{24} kg. 或 2.5×10^{24} lbs., 由此得地球之平均比重約為 6. 惟因儀器及計算方面, 均須加以相當訂正, 訂正後公認之地球平均比重約為 5.5, 即地球之平均密度, 約較水大 5.5 倍. 此平均比重, 啓示我人以地球內部物質之種類, 後將再論之.

第三節 地球之表面

概論 地球之表面, 可謂極高低不平之至, 陸上山嶺起伏, 為

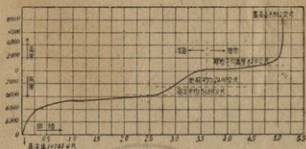
我人所習知，海洋部分，表面雖一望平坦，然若能排去其水而暴露其底，則固與陸地之高低不平無異也。現時陸上高山，以喜馬拉雅山脈中之厄佛勒斯脫峯 (Mt. Everest) 爲第一，拔海凡 8,882 公尺，最低處有在海面下者，如死海 (Dead Sea) 水面，低於平均海面凡 394 公尺，底部最深處又在水面下 350 公尺，較普通海面共低 744 公尺，即與死海相連之約但 (Jordan) 河谷，平均亦在普通海面下二三百公尺，爲全球陸地中最低陷區域，海洋部分，太平洋中自日本羣島東海岸迤南，頗多超越七八千公尺之深淵，菲律賓羣島中民大諾 (Mindanao) 島東方之恩登深淵 (Emden Deep)，深度達 10,793 公尺，爲全球第一。合陸上最高山峯與海洋中最低之深淵計之，相差幾達二十公里，與地球半徑六千四百公里較，猶不足三百分之一，故就整個地球言，此等凹凸不平，僅地球表面之小皺紋而已。新鮮橘子，經三五日之乾皺後，其面部情況，可爲地球表面情況之代表。

海陸高低之分析 水陸二部，各占面積若干，計算者不一其人，所得結果，不甚相符。最初以兩極近旁爲水爲陸，不甚確知，因之計算遂多出入；近年兩極附近水陸之議，已趨一致，但面積仍不能確實測定。故於水陸面積之統計，尙無一公認數字，其中進行手續較精密者，爲 1895 年萬格納 (Wagner) 氏之統計，得陸地面積 144,449,000 平方公里，占全球面積 28.3%，海洋面積 365,501,500 平方公里，占全球面積 71.7%。其後克琉默爾 (Krümmel) 氏以萬格納氏所用之同樣方法，統計水陸二部面積，得陸地面積 148,822,000 平方公里，占全球面積 29.2%，海洋面積 361,128,000 平方公里，占全球面積 70.8%，較萬格納氏所得之陸地面積，約大 3%。約翰慕萊 (Sir

John Murray) 氏更進而統計以平均海面為標準，自海面向上各高度之陸地，及自海面向下各深度之海洋所占面積，得結果如下：

陸		地	
高	度	面積(單位百萬 平方公里)	占全球面積百分數
4,000	公尺以上	5	1
2,000-4,000	公尺	10	2
1,000-2,000		25	5
200-1,000		67	13
0-200		39	8
		145	29
海 洋			
深	度	面積(單位百萬 平方公里)	占全球面積百分數
0-200	公尺	26	5
200-1,000		18	3
1,000-2,000		13	2
2,000-4,000		70	15
4,000-6,000		209	41
6,000	公尺以上	26	5
		362	71

依據上列水陸各高度及所占面積，作成面積高度曲線，如第十四圖所示，則有若干重要意義，顯然呈於我人眼前，即：(一)陸地與海洋部分，均有一高度相差不大，而占有面積甚大區域，陸地部分，自拔



第 14 圖 水陸面積高度曲線圖

海 200 至 1,000 公尺間，曲線之傾斜甚緩，是為大陸之基本部分；海洋區內，深度自 4,000 公尺至 5,000 公尺間，曲線之傾斜亦極緩，是為海洋之基本部分，二基本部分之高度方面差別，約五千公尺，是為海陸高低之主要差別；(二)海面下二百公尺左右之曲線傾斜度，與陸地岸上部分相似，稱為大陸架或大陸礁 (continental shelf)；自此向下至深度約 4,000 公尺處，傾斜度甚大，乃所以示大陸架之終端，急傾於深海部分，而為水陸二基本部分之連繫。總觀水陸兩部在垂直方面所顯示之情形，大陸殆似浮於較重物質矽酸苦土鹽 (sima) 層上之一木筏然，其質料當為較輕之矽酸礬土鹽 (sal 或 sial)，此說已漸為一般學者所贊同。

海洋及大陸之分佈 地球表面水陸之分佈情形，就大體言之，北半球多陸，南半球多水。北半球之陸地，共包有四個主要區域：即歐亞大陸 (Eurasia) (歐亞合為一區) 及北美洲全部；非洲大部；南美洲一小部分，其中歐亞大陸實為全球各大陸中之面積最大者。各大陸之形狀，咸北部寬大，南部窄狹，與一底邊在北方，尖角在南方之



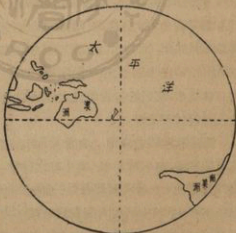
陸半球

第 15 圖 陸半球及水半球

三角形相似。南半球陸地中之南美洲亦然。至其所有大陸，則除大部南美洲外，僅有非洲一小部，澳洲全部，及南極大陸 (Antarctica) 而已，總其面積，遠不能與北半球比，然尙未足以言水陸分佈之極端不勻。我人若以法國羅爾河 (R. Loire) 流域之南特 (Nantes) 及其對足

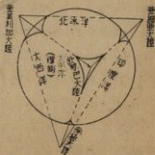
點新西蘭 (New Zealand) 東方海中爲兩極，作一赤道大圓圈，則地球上所有大陸，幾全在以南特爲中心之半球內，此半球可稱爲陸半球 (land hemisphere)；另一半球，幾全爲海洋，可稱爲水半球 (water hemisphere)。

我人於觀察地球表面水陸分佈情形時，最足引起注意者有二事：其一，即各大陸與海洋成在相互對足點之位置；其二，



水半球

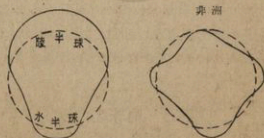
則各大陸之外緣，均呈三角形是也。所謂海陸均在對足點之位置者，即大陸之背面為海洋，海洋之背面為大陸，例如亞洲澳洲之背面為大西洋，歐非二洲之背面為太平洋，北美洲之背面為印度洋，南極大陸之背面為北冰洋是也。各大陸均呈三角形，以南北美及非洲為最顯著；歐亞大陸所具之三角形，雖不若上述數洲之明顯，然若併合澳洲及塔斯馬尼亞（Tasmania）島在內觀之，則仍呈一大三角形，惟不甚規則耳。此海陸背立，及各大陸或呈三角形二事實，究具何意義，據格陵（Lawthian Green）氏之解釋，謂地球外表之形狀，若綜合全體觀之，頗似一幾何學上之四面體。此四面體之四面，積水成為海洋，海洋表面，稍有隆起，形成球面，面與面相簇聚之四角，則突出海面而成大陸，故大陸與海洋或呈三角形。按四面體乃正形多面體中之最簡單而容積最小者，凡球體收縮時，最易成此形，當地球冷卻，表面結為硬殼，面積固定以後，其內部若仍繼續冷卻，並縮小體積時，則漸漸變形而成為四面體。格陵氏曾用一橡皮球，逐漸抽出其中之空氣，結果成為四面體，以說明此臆說。但若細察地球上大陸之分佈，則知其位置並不列成正南北向，例如南半球之美澳二洲，與其北方相鄰之大陸美亞二洲，即不在南北一直線上；又非洲之南部，與其北部比較，亦顯然有向東偏倚之勢，故就格陵氏之臆說評論之，至少須加以補充，即地球之南半對於北半，似有向東扭轉作用是也。格陵氏之臆說，在理論上尚



第 16 圖 格陵氏之四面體地球

有一不妥處，即地球內部冷卻之開始，是否在外部凝固以後，至今仍是一疑問，又地球繼續不絕以極大速度向東自轉，則又安能如所實驗之橡皮球，僅依冷縮作用，完成四面體乎？

格陵氏以外，試為地面水陸區域成因之解釋者，尚不一其人。愷而文 (Lord Kelvin) 氏謂地面大陸，係由星雲狀態時之結核得來；索拉斯 (W. J. Sollas) 氏謂地面凹凸不平，成為今日之海陸者，係由地球在熔融狀態時，受大氣壓力不均所致；螺旋星雲學 (planetesimal hypothesis) 家張伯令 (T. C. Chamberlin) 摩爾登 (F. R. Moulton) 輩，則謂係外來小行星質 (planetesimal material) 分配於地面不均之結果，拉伯渥 (C. Lapworth) 氏主張地面一切凹凸不平，成為地殼受摺曲作用而起，今日我人在地面所見之高山深淵，乃當時摺曲作用 (folding) 之遺跡也。最近英國物理學家泰斯 (Sir T. Jeans) 氏，依據其所主張之星體旋轉穩定原理，謂地球自產生月球後，或已迅速完成如次圖 (第十七圖) 所示之梨形，以備產生第二衛星。在此形態之地球上，必有一陸半球及與梨頭相似之海洋圈；與陸半球相對立處，或可有一似梨柄之孤立大陸。此與梨形相似之水陸兩半球，當地球



第 17 圖 泰斯及索拉斯氏所想像之時形地球

進行冷卻時，以相互吸引之故而壓縮，赤道部分之物質，乃被擠而向外凸出，產生現時隆起於地表之陸地帶。索拉斯氏依據此說，指出現時之非洲係居陸半球之中心，太平洋則在其對足點。太平洋中雖無似梨柄之大孤島存在，但索拉斯氏謂可搜得若干曾經存在之證據，現時為太平洋與大西洋之間隔而不相連繫之大陸澳、亞、南北美、南極大陸及東印度羣島等，索氏謂為即泰斯氏所稱之凸出地帶，至大西洋與印度洋，則陸半球之內陷部分也。與泰斯氏及索拉斯氏之臆說相關連者，尚有費雪爾 (Osmond Fisher) 氏之臆說，氏謂太平洋係地球產生月球後遺留於表面之痕跡，此說可為地表主要不對稱情形及太平大西兩洋邊緣相異進一解，并與新近地球物理學界方面發現太平洋底部少矽酸礫土層 (sial)，殆為爆裂成月球所致之臆說相應。

以上諸臆說，大多以現時水陸分佈情況為討論之依據，古今地形實不相同，地史學中曾推斷得在過去若干地質時期內有水陸大變遷，如大西洋及印度洋有謂係古生代 (paleozoic era) 陸地之一部陷落而成者，即其一例。魏更納 (A. Wegner) 氏則更主張大陸可移動，創為大陸飄移說 (continental drift theory) 見於其所著之海陸起源論 (Die Entstehung der Kontinente und Ozeane) 中，謂古時大陸，均圍聚於一處，其後發生地平運動，逐漸分離，遂成今日之水陸分佈情況。古今地形若果不相同，則於解釋地球表面水陸分佈情形一問題，愈趨複雜矣。

第四節 地球之內部

概論 地表各大陸，大部分為水成岩所掩蓋，厚度大者達二公

里半，平均厚度約在一公里左右，就地球整個厚度言，實一不足注意之微數也。在此水成岩以下，依據觀測所得，咸信爲一層結晶岩石，如北美之加拿大、歐洲北部之波羅的海區域、東北亞洲、西部澳大利亞、印度半島、中部非洲以及巴西境內，近年皆有此等岩石發現，比重最大者達 3.5，平均則在 3 以下，現時整個地球之平均比重爲 5.5，由此等事實，我人已可得一初步結論，即地球中心部分物質之比重，必在 7 與 8 之間。此項比重大之物質，初時有人以爲其位置既在地球內部，必係受外部極大壓力所致，但據在實驗室中試驗結果，岩石及金屬因壓力而增加之比重，具有一定限度，過此限度，即不再受壓力之影響，現時地球內部物質之比重，遠在地表岩石受極大壓力後可能起之影響以上，因之有人設想必係另一種物質所致，此地球中心部分爲鎳鐵混合物說之所由來也。此項臆說，與地球所表現之剛性(rigidity)及地球有磁性作用相合，已得多數學者贊同。環繞此鎳鐵混合物外部，殆爲一變質層，其情形與熔鐵爐之上部，浮有一層鐵渣相似。更進一步推論之，則地球在今日，雖其外部已完成固體狀態，但必曾經過液體階段也無疑。

自地面向下，有一極普遍之事實，即溫度常隨深度而增加是也。依平均數言，每深約三十二公尺，溫度約增攝氏一度；又當火山爆發時，自深處噴出之物質，溫度常甚高，岩石亦爲液體狀之溶岩；由此三種事實，學者對於地球內部物質狀態，初時發生一種謬誤觀念，以爲地球之組織，外表爲一極薄之固體層所包圍，其下爲液體物質，如一鷄卵然；其後由地球有起潮力，及地震時震波經由地球深處傳至遠處等事實，不能不放棄原來主張，而認地球內部，非由一般人想像

之液體所構成；迨十九世紀後期，有人創導一折衷學說，以為地球中心部分物質，以受壓力甚大之故，雖溫度甚高，但仍能保持固體狀態，其外有一已冷卻而成為固體之地殼包之，在此兩部主要物質之間，夾有一液體層，地面所見之溶岩，即由此液體層經由地殼空隙處流出者也。與此說相反者，則謂從實驗所得，物質變態問題，有一臨界點(critical point)，過此點後，溫度若再增加，任何大壓力，咸不能維持其固有狀態，不特固體不能永保，即液體恐亦不克再繼續維持，以地球內部溫度之高，甚至有人主張其中心部分，實為氣體者，惟在此所稱固體液體，以在極端高壓高溫之下，當不能與在實驗室中高壓高溫下所得之結果相提並論，此項特種液體，其剛性或向遠較地面所有物質為大，亦未可知，此為讀者所當特別領會者也。即在地面尋常物質中，亦有不易區別其狀態為液體或固體者，例如松脂及封蠟，以物突擊之，表現固體之硬脆性質，若以重物置於其上，歷久則此二物將漸為重物所陷入而表現液體之性能矣。地球內部物質狀態之不能拘泥論斷，亦應作如是觀。至於此問題之確切解答，則非在有更高溫度，更大壓力設備之實驗室中，多作試驗不可，茲姑依現時關於地球內部物質狀態之合理解釋，歸納為三點如下：

(一) 整個地球，就其對於外來突然之壓力言，可視為一堅實之球；

(二) 在適當情形下，其外殼可稍游移，換言之，即外殼與內部物質之間，有若干黏性作用是也；

(三) 地殼以下部分，可因壓力減少或溫度增高而變為液體，外流時即為出現於地面之火山。

地面下物質之組織成分，地殼中結晶部分，以矽酸鹽(silicates)為最普遍，我人所見之長石(feldspar)，雲母(mica)，皆此類物也。其比重殊不一致，在人工溶化岩石試驗中，每易發現較重之結晶物質有下沉現象，地球當經過溶融時期，冷卻而成地殼時，度亦不能例外，故在今日地殼中，較重之火成岩，恆在其他較輕岩石之下，今日暴露於地面之大塊火成岩中，顯然有較重物質向中心結集下沉現象，又足為此種推論之一有力證據。地質學家蘇斯(E. Suess)曾依比重之大小，首先區分在構成大陸之水成岩以下物質為二類：位於上面而較輕者，稱為'sal'或'sial'，由鋁、鈉、鉀等矽酸鹽構成，以花崗岩片麻岩為主要岩石，平均比重2.7，'sal'示矽(Si)與鋁(Al)為主要成分之意，日人譯為矽酸礬土帶；重而在下者稱為'sima'，由鎂鈣等矽酸鹽構成，以玄武岩斑礫岩等火成岩為主要岩石，比重2.8至3.4，'sima'一字乃由矽(Si)及鎂(Mg)二者合成，日人譯為矽酸苦土帶。此項主張，其後頗得地球物理界之贊同，惟詳盡之資料，則仍有賴於地球物理界之探測耳。

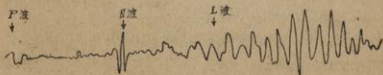
地震與地內情況 物質經打擊而發生震動後，常有震波傳出，我人所習知者，擊木與擊石或擊其他尋常物質後，咸有聲響發出，此種聲響，隨物而異，即在同一物質中，其內部組織不同，所發出之聲響亦異，例如木已濕腐，石有裂痕，其所發出之聲響，亦即與尋常木石不同，此又我人所習知之事實也，物質種類或組織不同，既有不同之震波，則由所得不同之震波，即可反求物質之種類及組織，地震足為探求地球內部情況之原則在此。

地震係指地球之大規模震動，凡火山噴發，地穴倒塌及陸崩等

一切小規模震動，咸不在此例。地震之發生，常為地殼內部有調整作用所致，由此項調整作用，發生之地層移行運動，其距離雖不甚大，但以大塊岩石相摩擦之故，震動範圍常甚廣，自一震源發出，向各方傳播之距離，往往達數千里，深度可達地心，故就一大規模之震波加以研究，可知地面以下各種深度之情況。

凡固體物質受震動後，能傳播兩種震波：一為縱波 (longitudinal wave)，或稱第一波 (primary wave)，簡稱 *P* 波，在此波中，各個物質分子，係沿波之進行方向，前後來回運動，與音波相似；另一為橫波 (transverse wave)，或稱第二波 (secondary wave)，簡稱 *S* 波，在此波中，各個物質分子之運動方向，與波之進行方向成直角，水面波浪，可為一實際例示。此外尚能發生一種震波，沿固體之表面部分進行，達深處即消滅。在地震學名詞中稱為 *L* 波。以上三種震波，最初蓋由理論方面推定，迨 1900 年頃，則在實得之地震紀錄中，已能確鑿指證其存在矣。

地震情形，在自記地震儀器上所表現者，最初為‘第一初期微震 (first preliminary tremors)’，歷若干時間後為‘第二初期微震 (second preliminary tremors)’，第三次乃為震幅最大之‘主要震動 (main shock)’。三種震動傳來之次序及其相當於上述三種波之名稱，如第十八圖所示：



第 18 圖 自記地震儀上所記錄之地震

L 波自震源發出後，沿地球之弧面進行，距離較長，到達較後； P 及 S 波，自地球內部，取較短之途徑傳來，故反先到。地球內部之物質，若組織一致，則震波所經行之途徑，宜為一直線。實際上，因地內有若干層次，各層岩石之密度，又隨深度而增加，震波在地內傳播情形，乃如第十九圖所示。



第19圖 地震時震波在地內傳播情形

近年因地震學發達，詳細研究各種紀錄之結果，發現所有震波，實不若最初想像之簡單，已繼續發現者：有一組與 P 及 S 相似之震波，特稱之為 P_0 波及 S_0 波，以別於原有之 P 波及 S 波；其後又發現一組同類震波，速度在 $P-S$ 組及 P_0-S_0 組之間，特稱之為 P^* 波及 S^* 波，以資區別。 P 及 S 波既有三個組合，地內亦必有三個層次無疑，此三個層次，殆即為地內有上、中、下三層岩殼之表現乎？通常物質之傳導震波，密度大者，速度亦大，上述三組震波，由其所具之速度不同，可推得此三層岩殼之情況如下：

上層岩殼之性質，與花崗岩相似，現已一致承認即為花崗岩所構成，惟尚有若干水成岩及變質岩包括在內，故震波在此層內傳播之速度，不盡與標準花崗岩相合。

中層似為玄武岩所構成，惟對於其組織狀態，尚無一致之見解，特萊(Daly)及傑弗勒士(Jeffreys)兩氏，贊同玻璃狀玄武岩說，萬格納(Wagner)氏則與霍爾姆斯(Holmes)氏同一主張，以為與玄武岩

同一化學成分，但形狀與角閃石相似之岩石所組成，總之其為玄武岩類物質，殆無疑義。又此層乃火山所導源，亦足為讀者注意之點。

下層似由一種密度較玄武岩更大之岩石所構成，在地面上已難得相當岩石為實例，惟可推想其組織當不能成為結晶狀態耳。

三層岩殼之厚度，傑弗勒士氏依據自歐洲境內傳來之地震紀錄，定為上層 10—12 公里，中層 20—25 公里，下層厚度尚未有確數，但似較上中兩層為厚。德國及日本地震學者，對於傑弗勒士氏所定之數，謂失之太小，有人以為上層岩殼之厚度，宜在 50 與 60 公里之間，則又未免矯枉過正矣。

L 波雖沿地表進行，但亦曾顯示我人以若干重要意義。據從歷次地震紀錄中分析 L 波所得結果，海陸區域之波速常不相同，自海洋區域來者，速度恆較大，尤以來自太平洋者為甚，大西洋區域，則較太平洋區域速度略小。因之有人推想在太平洋區域內，花崗岩層必甚薄，或竟完全不存在，大西洋區域，似有大量花崗岩層存在，但據最近調查所得，則即在太平洋及印度洋底部，似亦有大量花崗岩存在之可能。

震波穿入下層岩石後，速度仍繼續增大，直至深度達地球半徑十分之三為止，換言之，即約在地面下一千九百公里之處，由此可知地球內部有彈性之固體物質，必達此深度無疑。1906 年時，奧爾特罕 (Oldham) 氏首先指出發生於 120° 以外之地震，無橫波或 S 波傳來，橫波之性質，經過液體則消滅，奧氏發現之事實，不啻明告我人以地球中心部分，有與液體同性質之物質存在，其範圍幾擴展至地球半徑之半。近年關於此問題，又獲不少資料，但對地球中心有類似液

體物質存在之主要結論仍不變。P 波在發生於距震央 (epicentre) 104° 左右之地震中，亦每喪失，但在震央之對足點 (antipode) 又可收得，此蓋直穿地球核心部分而來者也。當 P 波穿核心部分時，速度降低，徑路向下曲折，如前第十九圖所示，地球核心對於震波之作用，乃似一凸透鏡然，將波向對方一中心點簇聚，此種波速方面不整合，亦足示我人以內部物質方面，有劇烈變化存在。

地球內部之層次 地球內部，究有若干層次，我人茲可依據地質及地震方面資料，作一較具體之分析矣。格拉赫 (Van der Gracht) 氏依據當今地球物理學專家德人據登堡 (B. Gutenberg) 氏之主張，謂宜分為下列各層：

名 稱	比 重	厚 度 (在大 陸下)
外矽酸礫土殼 (outer sial crust)	2.75-2.9	60 km.
內矽酸護膜 (inner silicate mantle) (一部即矽酸苦土帶)	3.1-4.75	1,140 km.
金屬及矽酸鹽混合帶	4.75-5	1,700 km.
金屬核心 (metallic nucleus)	11	—

以上所分層次更可以圖示之如下：

此處所分層次，與傑弗勒士所推定之上、中、下三層岩殼厚度較，顯有出入，若以傑氏之上層岩殼為此處之矽酸礫土殼或 sial，則 sial 之厚度大減，所謂中層及下層岩殼，乃不得不歸納於矽酸苦土帶內。就此二層之組織言，此項歸併，本極自然，惟從造成地面高低不平狀態時之物理及機械方面作用立論，尙以霍爾姆斯氏之另一區

分法爲佳。霍氏主張將上中兩層岩殼，合併稱爲外殼 (crust)，下層稱爲底岩 (substratum)，二者之區別，蓋在溫度方面情況不同而已。如此則入地較淺部分之分割，成爲下列形式：

矽酸礬土帶或 sial — 上層岩殼 } 外殼
 矽酸苦土帶或 sima — { 中層岩殼
 下層岩殼—底岩



第 20 圖 地球內部之組織

外殼與底岩之區分，在溫度方面，雖較有意義，但 sial 及 sima 二名詞，流行已廣，亦有若干便利處，二者並存可也。

地溫 地球表面之熱力，可云完全爲太陽光所供給，月及衆星所射來之光量，實渺乎不足道，若併一年之總量計之，亦不過能使地表溫度，增高攝氏十分之一度而已。地面物質，除空氣外，尙有水、陸、冰之不同。水之比熱，遠較陸地爲大，以同量太陽光熱，射於水陸兩區，水區之溫度，即應遠較陸區爲低；水之傳熱能力極弱，入水深處，即不易受太陽光之影響；水之重量，以當攝氏四度時爲最大，重則下沉於底部，故海底溫度，應常在攝氏四度左右，無間冬夏寒暑及高緯度低緯度而皆然。據實測所得，則各地海底溫度，常在攝氏二度左右，此或者由於海水中含有雜質，致將密度最大時之理想溫度，稍有變更乎？

南極大陸及格陵蘭 (Greenland) 等近寒區域，地面常爲冰層所掩蓋，厚度有達一千公尺左右者，其底部陸地表面溫度，宜與在此地

點壓力狀況下冰之融解點相合。冰之溶解溫度，在標準大氣壓力下，雖為攝氏零度，然若壓力增大，則每增大一氣壓，融解溫度即應降低攝氏 0.0075 度，由此推得在一千公尺冰層下地面溫度應在攝氏零下七度左右。

暴露於太陽光直接照射下之陸地表面溫度，完全依太陽光之強弱有無為起落，夏季低緯度沙漠中心之溫度，可將生鷄卵烘熟，即尋常暴露於太陽光下之岩石溫度，亦往往達攝氏六十度左右。反之高緯度冬季大陸中心，夜間地面溫度，最低可達攝氏零下數十度。一日以及一年中地面各處溫度之差別，遂以暴露於太陽光下之陸地區域為最大。但陸地非熱之良導體，入地後此項變化即劇減，一日以及一年中最高最低溫度出現之時期，亦與地面不同，其詳已有人依據實測之紀錄，作為定律，頗便農業方面之應用，通常入地深達一公尺以外，即無溫度季節變化之可言，穴居動物所以冬藏夏出者，即以冬季地表雖冷，地內尚能保持與冬夏平均相近之較高溫度也。在人事方面之應用，除農業方面可依據地溫變化三定律外，（可另參閱 Willis L. Moore: Descriptive Meteorology 書中地溫節），夏季若有須避免高溫之物，可置於深井中，冬季有畏凍物品，亦可埋藏地內以避之，自來水管若能安置於較深處，則不特冬季可免凍裂，夏季且可得較涼之水，實屬一舉兩得。

地內溫度，除最上一公尺內有如上述一日及一年中之定期變化外，其餘以非太陽光熱影響所及，即完全不受太陽光熱支配，而另為自主的變化。此項變化，以深度為要件，深度愈大，則溫度愈高，在近地面處，大約每深度增加三十至三十五公尺，溫度增攝氏一度。實際

情形，由各處深井中測得者如下：

地 域	井 之 深 度	溫度每增一攝氏 度之平均深度
庫可夫	2,239 公尺	31.8 公尺
帕羅雪羅茲 Faruschowitz(波蘭)	2,003	30.7
雪拉特拔希 Schladbach(德國)	1,747	35.7
蓬達穆松 Pont-à-Mousson(法國)	1,558	30.2
輝令 Wheeling(美國)	1,500	40.7
馬列特 Mariette(美國)	1,390	37.9
日本東京(帝國大學內)	338	34.45

在接近海洋或大湖區域，溫度每增一度之深，似較普通地方為大。湖海之底，因溫度較低，故其下每一度之等溫面甚接近。陸地下各等溫面，則相距較遠。達某一深度後，水底與陸地下之等溫面，漸相一致。在如此溫度分佈情形下，水陸交界處之等溫面，勢必為一傾斜面，如第二十一圖所示：



第21圖 地內等溫面分佈圖

斜等溫面區域，兩等溫面間之距離必大，上圖中 A, B 二地區等溫面距離不相等情形，顯而易見，世界各處，已測得有此等實際狀況者，其例如次：



地 域	井 之 深 度	溫度每增一攝氏度之平均深度
帕突卡萊 Pas de Calais (英吉利海峽)	1,400 公尺	56.6 公尺
喀羅默特阿其 Calumet Arch (美國)	1,390	123.0
那不勒斯 Naples (意大利)	445	100.0

又在美國蘇必略 (Superior) 湖岸產銅地方，測得地內溫度情況如下：

地 點	距湖岸里數	井 之 深 度	溫度每增一攝氏度之平均深度
喀羅默特阿其 Calumet Arch	0 公里	1,370 公尺	123 公尺
阿脫蘭的克 Atlantic	1.5	588	67
阿脫蘭的克	3.0	276	55
阿脫蘭的克	4.8	276	52
奧斯可拉 Oscola	8.0	303	42

上表所列實測資料，係屬同一地區，而在地內溫度垂直增率方面，有如此顯著變化，可為地內溫度垂直增率與距離水區遠近關係之一良好例證。

在陸地區域，山峯與峽谷下之溫度垂直增率，亦有顯著不同，大抵在山峯下溫度每增一度所須之深度大，峽谷下較小，此可以聖哥他特 (St. Gotthard) 隧道中溫度之分佈為例：

地 方	地 形	距地面之深度	溫 度	溫度每增一攝氏度之平均深度
北 口 附 近	谷	658 公尺	22.4°C.	29.4 公尺
中 央	峯	1,700	32.0°C.	39.6
南 部	峯	1,074	27.2°C.	53.0

在著名之最長辛伯倫(Simplon)隧道中，亦有此情形，實可稱爲一普遍之事實，茲再以圖示阿爾卑斯(Alps)山下溫度之分佈情形如下：



第22圖 阿爾卑斯山下溫度分佈圖

山嶺區域，若有火山活動，則地內溫度垂直增率將加大，甚者可達每一攝氏度約二十公尺左右。由此可知地內溫度垂直增率，實爲一極複雜之問題，惟就全球各處最普遍情形論之，則自地面至入地約二千公尺處；每三十四公尺增攝氏一度，可視爲標準數。

我人對於地內溫度，直接觀測所及，雖已超越二千公尺，但此數對於整個地球言，猶僅其半徑二百八十五分之一耳。超越此深度以下之溫度情況若何，既非直接觀測所及，惟有從既得事實，加以推論之一法。在實行推究此問題以前，不能不推究地內溫度較高之原因。關於此點，懷而文(Lore Kelvin)氏首先創導地球逐漸冷卻說，以爲地球如何生成，雖言者各異，但皆不能否認曾經歷一高溫時期之臆說。我人目所能見之火成岩，即曾經過高溫時期而來者也。地球在此高溫時期，全部爲熔融狀態，花崗岩及玄武岩等，當熔融時體積增大，比重減小，凝固時體積縮小，比重增大。地球因僅從表面失熱之故，在全部熔融時代，表面溫度，首先下降，比重因而增大，開始向下沉澱，底部溫度高比重小之物質，上升以抵補之，完成對流現象。對

流不已，最後使由地心至地表之岩石，均達臨界溫度，對流作用乃停止。愷而文氏推定此時之溫度，應為攝氏三千九百度。自此以後，因對流停止，地球若再失熱，表面物質，即首先凝結為固體。此固體表面成立後，熱力外散，僅賴傳導作用，岩石非良導體，地球內外溫度，乃日愈懸殊，而中心成為高溫度矣。依此立論，現時地球中心部分之溫度，應在攝氏四千度左右，因地球當熔融時期之溫度，即屬此數也。

第五節 地面以上

地面以上，為大氣界 (atmosphere) 所籠罩，大氣界為一混合氣體集團，其在近地面處組織成分，據卓布曼 (S. Chapman) 氏及密爾恩 (E. A. Milne) 氏新近發表之數字如下：

第一表 近地面處氣界組織成分表

氣 體	N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	H ₂	Ne	H ₂	X:	Kr
重量成分	75.5	23.2	1.3	0.046	— .4 ?	0.000950	0.00036	0.005	0.018
分子量	2.80	32.0	39.9	44.0	2.0	20.2	4	130.5	82.9

以上各種氣體，為大氣界中固定分子，其中氖 (neon)、氦 (helium)、氙 (xeon)、氪 (krypton)、以其所占成分甚少，稱為稀少分子 (rare constituents)。自然氫 (hydrogen) 在地面存在與否，尚成問題，故其量未有所決定。二氧化碳 (CO₂) 存在之量，與地域有關，為一較不固定分子。氮 (nitrogen)、氧 (oxygen)、氬 (argon) 在大氣界中所占成分較多，尤以氮氧二氣為甚，且其分佈自赤道以至兩極，自地面以至離地約二十公里左右，配合比數，殆無甚變更，實為構成大氣界之最重

要氣體。此外大氣界中尚有水氣及塵埃，其存在量絕無一定，但均與天氣之陰晴變化有極重要關係。

大氣界之高度，究有若干，為至今尚未解決之一問題，就我人直接觀測所得，大氣界之濃度，自海平面向上，達五公里處，約減少一半，如此依幾何級數遞減，則將永無止境，大氣界之高度，亦將為無窮大矣，無已，則姑就我人能確實推知其存在者言之：

由極光測得之高度 極光 (auroras) 為兩極附近晚間高空中所發現之光輝，其情況與在極稀薄之氮氧二氣中放電相似，故信其成因亦當相同。由此所測得大氣界存在之高度，約在 80 與 1,000 公里之間，最多平均，則在一二百公里左右。

由流星測得之高度 流星 (meteors) 之光，由於自其他天體墜入大氣界之物質，與空氣相摩擦，發生燃燒而成，故凡流星能發光之處，應即有氣界存在。依此原則所測得大氣界之高度，約在 80 與 150 公里之間。

由曙光測得之高度 曙光 (twilight) 係大氣界中含有塵埃，太陽光線入大氣界後，被反射而成。由此所測得大氣界之高度，約在 70 與 80 公里之間。

由特種雲測得之高度 雲為寄存於大氣界中之水氣所構成，有雲之處，必有大氣界存在無疑。雲類中之最高者，如所謂貝母雲 (mother of pearl clouds) 及暮雲 (luminous night clouds)。其高度已測定在 25 與 80 公里之間。

測風氣球上升之高度 測風氣球 (pilot balloon) 在大氣界中上升之高度，已有三十九公里之紀錄，是不特大氣界之存在，達此高度

無疑，且其氣流情形，亦可追蹤而得矣。

測量氣球 (sounding balloon) 上升之高度 此項氣球上升之高度，雖不若測風氣球之大，但亦有三十五公里之紀錄。在此高度內，其沿途情形，並有詳細紀錄可查。

乘人氣球 (manned balloon) 上升之高度 此項氣球上升之高度，亦已超越十八公里，所有在此高度內之氣界情況，人類已得親歷而目擊之矣。

總括上列各條，大氣界確實存在之高度，已頗可觀，惟我人活動所及之範圍，即以飛行而論，亦常囿於數公里內，就整個大氣界言，蓋猶在此氣海之底層耳。又氣界之組織，上疏下密，就全部質量言，百分之九十二係在二十公里高度內，然則大氣界之總高度，雖尙未能一定，我人儘可置之不問，而僅注意於我人所能測及之高度可也。

大氣界之垂直組織情況，爲我人探測所及者，已有若干層次。自地而上升至十餘公里處（此高度因時因地而不同，概括言之，赤道附近約 17 公里，溫帶 11 公里，兩極附近，則僅 8 公里左右）爲對流層 (troposphere)，在此層內，溫度常下高上低（指實測溫度言），每高度增加一公里，溫度降低攝氏六度，並有寒暑陰晴等一切天氣方面之變化。對流層之上爲平流層 (stratosphere)，二者之間，隔以對流頂 (tropopause)，其離地高度，即因時因地而有不同。平流層內，無溫度隨高度之增加而反低減之情形，故亦稱同溫層 (isothermal layer)。又在此層內，氣流無上下行動，水氣幾於絕跡，天氣因之永無變化，驗者謂爲飛行之良好區域，惜尙有其他問題，難置之實行耳。

讀者參考舉要

1. F. R. Moulton: An introduction to Astronomy.
2. J. H. Poynting: The Earth, Cambridge University Press, 1922.
3. J. H. Poynting: On determination of Earth mean density by a common balance, Poynting's collected Scientific Papers, Cambridge University Press.
4. S. W. Wooldridge & R. S. Morgan: The physical basis of Geography.
5. Gustav Braun: Grundzüge der Physiogeographie, B. G. Teubner, Leipzig, 1930.
6. A. Wegener: The origin of continents and oceans, Methuen & Co. (Translated by J. G. A. Skerf) Ltd., London, 1924.
7. J. A. Steers: The unstable Earth, Methuen & Co. Ltd., London, 1932
8. 松山基範著, 王謨譯: 地球

習題

1. 在赤道上每一經度之距離為 111.32km., 地球之平均半徑為 6,367.659km., 設若地球為正圓球形, 則在緯度 $15^{\circ}20'$, $29^{\circ}50'$, $45^{\circ}15'$, $70^{\circ}10'$ 及 $85^{\circ}45'$ 處, 每一經度之距離應各為若干?
2. 已知在緯度圈 45° , $66^{\circ}20'$ 及 $1^{\circ}13'$ 附近每一緯度之距離為 111.97, 111.26 及 110.53km., 求地球之平均半徑.
3. 賽伊尼(Syene)與亞歷山特利亞(Alexandria)相去凡 925km.,

當太陽正照賽伊尼天頂時，在亞歷山特利亞測得太陽尙偏南 $7^{\circ}6'30''$ ，求地球之半徑及赤道至兩極間之地表距離。

4. 同在 32° 緯度圈上，有二地點相去凡經度三度半，求兩地點實際相去之公里數。

5. 設有人自赤道向北行，歷若干公里，則北極星應高出地平 10° ？

6. 地球之平均半徑爲 $6,367.659\text{km.}$ ，在海平面高度之氣壓爲 760mm. ，求大氣界總重量與地球本身部分重量（即除大氣界面外之總重量）之比。

7. 述用扭轉天秤(torsion balance)，山嶺及鐘擺測定地球質量之方法（詳見本章所列參考書中）。

8. 評論魏更納(A. Wegener)氏之大陸飄移說。

9. 重慶夏季晴明日，地面最高溫度達 52°C. ，時間約爲午後一時；最低 20°C. ，時間爲晨五時，求地面下 30cm. 處之每日溫度變差，及最高最低溫度出現之時間。

又重慶夏季地面極端最高溫度達 54°C. ，時期假定爲七月二十日；最低 0°C. ，時期假定爲一月二十日，求地面下 2m. 處全年溫度之變差，及最高最低溫度出現之日期。

10. 某地於太陽未升達地平線前約一小時二十分鐘即見曙光，求大氣界之高度。

11. 依據本章各種事實，繪一地球現狀之沿子午線剖面圖（包括氣界及地球內部之組織在內）。

第五章 地球之將來

第一節 由太陽推測地球之將來

今後地球究將趨於何種運命，推測者雖多，實為一不易得有結論之問題。有視地球為一生物以進行推論者，謂地球將來之運命，不出三途：其一，地球或將如生物之罹疾病而死亡，所謂疾病，如火山爆發、地殼破裂、熔岩外流等，若形勢過於嚴重，則雖地球仍能存在，而生物將全被摧毀，成為一死地球矣；其二，地球在運行時或與其他天體發生衝突，如曾喧傳一時之地球將與哈雷（Halley）彗星相衝突是，或非彗星而與其他恆星相衝突，則其結果，地球有成為齏粉之慮；其三，地球發達至現在，似已過壯年時期，此後則由衰而老，如人類之雖未遭遇暴疾而趨於自然老死然，月球上現已無氣界存在，其固結之程度，亦較地球為甚，地球若亦達此階段，則亦成為一死地球而已。以上諸推論，雖似言之成理，但太過於空泛，不如另從其他較切於實際方面着想為益。地球從太陽產生至今，仍為太陽系中一分子，所賴以維持地面生物之熱力，仍由太陽供給，則其今後變遷情形，自當與太陽有絕大關係。太陽為恆星之一，恆星之發光，舊學說謂為由於高溫氣體之逐漸冷縮作用，新學說則謂由於高溫物質中陰陽電子（electrons）之相衝突，溫度高時，組織物質之分子（molecules），因

運動過於猛烈而互相衝突，結果分裂為原子(atoms)，原子運動過甚而互相衝突時，分裂為電子，陰陽電子相互衝突時，則發光而互相結合。一切力能，皆含有物質，恆星既繼續發光而放送力能外出，則繼續減少其本身所有之物質，太陽亦然，惟其喪失物質之進度甚慢而已。太陽已有之年齡，據推測所得，約有 10^{12} 年，太陽若因放散光熱而縮小質量至現有十分之一時，尚須三千倍於此年數，其時太陽之輻射能力，依輻射能力與輻射物所具質量之四次方成比例推算，應僅有現時輻射能之 $\frac{1}{10,000}$ 。太陽之質量既減少，其能吸引地球之力，亦當減少，因之地球將遠離太陽，達十倍於現時距離之位置，即將在現時土星之軌道上運行。一物體受光強度，與光源之距離平方成反比例。二者合計，當太陽質量縮減至現有十分之一時，地球上所受日光強度，應僅有現時之 $\frac{1}{1,000,000}$ 。在現時地表吸受及放散太陽光熱均衡狀況下，平均溫度，約在 2.88°A 左右，絕對溫度之高低，與所受光熱強弱之四次方根成正比例，如此則屆時之地表溫度，應僅有現時之 $\frac{1}{31.6}$ 即約在絕對溫度九度左右，氦(helium)在此溫度下，亦將凝結為液體，海洋等自當早歸凍結，茫茫大地，惟有荒凍之陸區而已。實際上地表溫度，若僅較絕對溫度縮小十分之一，已足使赤道區域之海洋，自表面凍結至底部，此項溫度方面之縮減，僅須太陽喪失現有質量百分之七，足以完成之，為時約須 10^{12} 年，易言之，即地球在 10^{12} 年後，赤道區域之海洋，亦將全部凍結，地球表面，自當無液體水存在，一切高等生物，均不能生存，地球至此，亦即成為

一死大塊而已。

第二節 由地球之本身推測其將來

地球自成立以來，日趨冷却，殆為一不容懷疑之事實。由過去推測未來，此種冷却作用，當仍繼續進行，現時包裹於膠融狀物質外之地殼，係與現時地球所具之溫度相適合，若地球內部更進行冷縮，則現時地殼，即有空洞無依，不克支持壓力，而趨於折皺之情勢，其結果將造成新興山系。據調查所得，現時地球之冷却作用，似已深達地內約五百公里處，歷時共已 10^9 年，依地殼冷却進度與所歷時間之方根成比例推算，約再歷 36×10^9 年，可冷達地面下三千公里處，屆時地球之岩石部分，將完全固結，地面上將有三十個大山系出現，目前則僅有五個而已。地殼之冷却速度，與所含之放射性物質有重大關係，放射性物質中鈾 (uranian) 原子之平均壽命，約為 6×10^9 年，釷 (thorium) 約 19×10^9 年，均較上述 36×10^9 年時間為短，鈾及釷不存在於地殼內後，地殼以無自行產生熱力作用，冷却之進度宜較快，故在實際上地球不待 36×10^9 年以後，即已冷達地面下三千公里處，而使所有岩石部分，完全固結；自此深度以下之物質，衆咸信為金屬，其冷却速度，宜較岩石部分為大，約再有 5×10^{10} 年，即可進至金屬核心之最中心部分。此時之地球，雖已在前一時期，產生三十個新興山系，但表面又復歸於平坦，以在地表發生之剝蝕作用，歷此長時期後，足以使高山復為平地也。火山至此，已停止活動，地面所受之太陽光熱，將略較現時為弱，惟其影響，尚不致使赤道部分海洋凍結，或者北冰洋須全部凝固，此外大西洋北部或亦有凍結之慮耳。

第三節 由月地關係推測地球之將來

月爲地球之惟一衛星，其對於地球所施之引力，以距離較近之故，爲起潮之主力，自達爾文氏指出潮汐對於月及地球之影響（參閱第三章第二節）以來，地球之將來，又可由月地之關係推得。潮汐對於月地所生之影響有二：其一，阻礙地球之自轉，而使地球之自轉速度，逐漸變小；其二，增加月球在軌道上之運動能，而使月球逐漸遠離地球。據推測所得，月地在初分離時，地球之自轉及月球之公轉，均僅須五六小時，即可完成一周，其後因潮汐關係，而兩者所需之時間，均逐漸增長，以達今日之情形。自今以後，地球之自轉速度，將繼續變小，月地之距離，繼續增大；依過去之變化速度推測，約再有 4×10^{10} 或 4×10^{11} 年，月球將達月地距離之最大限度，此時地球自轉一周，及月繞地一周所須之時間，均爲四十五日，月球常以同一之面對地球，地球亦常以同一點對月球，兩高潮區域，將即在月地兩球之中心連接線上，起潮時之摩擦作用，至此不存在，地球自轉及月地距離方面變化，亦至此停止。惟月球既達距地之最遠點後，其在地面起潮之力，亦即衰微，太陽及地球之間，以距離無甚變動之故，太陽在地面所施之起潮力，亦當無甚變更，二力相較，屆時太陽對於地面所施之引力，或爲起潮之主力；又因地球自轉與月繞地公轉一周所需之時間相等，高潮常在同一地區，不能起摩擦作用之故，由太陽所起之潮汐，爲惟一能影響地球之自轉者，此影響與由月球所起之潮汐影響相反，因而將增加地球之自轉速度，如此則月球又將返回地球矣。科學家對於月球將去而復返一層，咸認爲必然之事實，惟將於

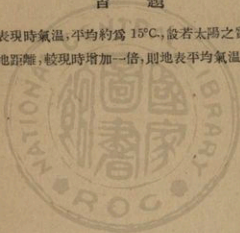
何時開始，則尚在推究中耳。

讀者參考舉要

1. Harold Jeffreys: The Future of the Earth, Kegan Paul, Trench, Turbuck & Co. Ltd., London, 1929.
2. Alphonse Bergert: The Earth.
3. 石井重美著，譚勤餘譯：地球之滅亡，商務印書館出版。

習題

1. 地表現時氣溫，平均約為 15°C ，設若太陽之質量，較現時減少一半，日地距離，較現時增加一倍，則地表平均氣溫，應為若干度？



第六章 地球之運動

第一節 地動說之起源

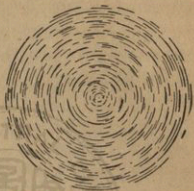
地球有兩種運動，自轉與公轉是也。此兩種運動，今雖已爲人所共信，但在古代，亦曾經歷多次爭執，其故則以欲確實明瞭此兩種運動，非其知識能擴展至地球以外，就地球以外之天體，施行詳細觀察不可也。乘舟者當舟向前進行時，若僅從窗際外觀，每不易覺舟之前進，而誤爲兩岸物體之後退，古代先民，所見不廣，對於地動問題所得之初步觀念亦然。其後觀察力漸強，乃逐漸致疑於二事：其一，若地爲一平坦之物體，則太陽以及其他無數星辰，自沒於西方後，將如何通過大地之下，而復現於東方乎？其二，日、月、星辰，何以不論遠近，均能於同一時間內出沒於東西？因是之故，公元前五世紀時，希臘哲學家費洛勞 (Philolaus) 氏，即首先指出地球係有自轉運動，其言在當初雖似近於神秘，然至公元前三世紀時，希臘哲學家亞里士達噶 (Aristarchus) 氏更進而發表具體解釋，謂我人所見日、月、星辰等移動，乃地球依其本身之轉軸運動，同時繞太陽而行公轉所致，惜爲亞里士多德 (Aristotle) 氏反對，故至公元二世紀中葉，托列曼 (Ptolemy) 氏解釋宇宙之組織時，仍以地球居中心不動，而日月及金、木、水、火、土五星環繞於外，爲立論之依據，此種解釋，流行甚久，但對之懷

疑者實不乏其人，迨十六世紀初葉，波蘭天文學家哥白尼（Nicholas Copernicus）氏出，始再創地動說。哥氏觀察天體運動多年，漸信古代希臘哲學家主張地動學說者為合於事實，且斷定地球之位置，係在金星與火星軌道之間，繞日而轉云。此種主張，深得當時青年學者之崇信，遂於公元 1543 年，將其學說出版，公布於世，但哥氏亦即於是年與世長辭。直接承受其說者為勃刺希（Tycho Brahe）氏，乃天文學方面一著名之實地觀測家。自哥氏將其學說公布於世後，反對者亦頗不乏人，意大利學者勃魯諾（Bruno）氏，欲傳播哥氏之地動學說於意大利，乘以其有侮於神，遂被燒死；伽利略（Galileo Galilei）氏為服膺哥氏之學說者，亦曾備受宗教家之攻擊，厥後由其所發明之望遠鏡中，發現木星之衛星，環繞於木星之周圍，而又發現金星有新月形，於是遂將哥氏之學說證明，同時又有德國之克卜勒（Johannes Kepler）氏，專心研究行星之運動狀況，其結果不獨證明哥氏之地動說，且更作出行星之運動定律，是即所謂克卜勒氏行星運動三定律。

第二節 地球之自轉

日、月、衆星，成於二十四小時內，出於東方，沒於西方，而復現於東方，此種現象，共有二法可解釋：其一，地球居中不動，日、月、衆星確實圍繞地球旋轉，如走馬燈中各物圍繞燈火然；其二，日、月、衆星不動，地球獨自旋轉，發生相對運動，如我人坐於旋轉椅上，見四周物體，以相反方向，繞椅旋轉然。二者孰是，已有結論，即我人所見日、月、衆星於二十四小時內繞地球一周，乃地球自西向東自轉，而非日、月、衆星實際有此大移動也。其證如下：

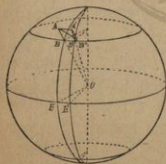
(一) 天空中衆星之移動，距離天赤道(celestial equator)近者速度大，遠者速度小，北極星附近各星尤慢，天文家曾以照相機攝取北極星附近各星移動之軌跡，結果得無數同心圓，圓心即在北極星附近，宛如留聲機唱片上之線紋然，此種現象，顯然指示地球係自行轉動，轉軸即在正對北極星附近一不動點之直線上；否則衆星距離地球及天赤道之遠近有不同，而均能於二十四小時內繞行地球一周，且除確知之行星外，



第 23 圖 圍繞北極附近諸星移行之軌跡

衆星間相互距離不變，在運行速率之支配方面，必無如此巧合之事。

(二) 由高處下墜之物體，常向東偏移，其情形可藉第二十四圖說明之。圖中 AB 代表一高塔，物體即自其頂下墜，設當物體下墜期間，地球轉成 EOE' 角度，經此轉動後，塔頂由 A 進至 A' ，塔底由 B



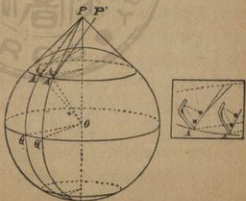
第 24 圖 物體下墜之向東偏移作用

進至 B' ， AA' 距離略大於 BB' 。就下墜物體言，依據牛頓氏力學定律中第一定律所述，宜依初降時方向，直對 B 進行， $A'B'$ 即為 A 點移至 A' 後下墜物體所宜經行之途徑，蓋因物體受地心吸力而下降



之方向，與 AA' 方向成直角相交，依據牛頓氏第二定律所述，宜不發生影響也。如此則物體自塔頂降達地面之位置，為 B' 而非 B ， BB' 間距離較大於 BB' ，差數為 $B'B'$ ，若地球無自轉作用，則在物體下降期間， EOE' 角無由構成，物體自 A 直降至 B ， BB' 差數宜無由構成矣。據實測結果，在緯度四十度左右，物體自一百六十公尺高處下墜，其向東偏移之數，約為三公分，此偏移即為地球有向東自轉作用之證。

(三)法國物理學家傅科(Jean Bernard Léon Foucault)氏用長六十餘公尺之鋼絲，下懸重錘，構成一振子 (pendulum)，即通常所稱傅科氏振子(Foucault's pendulum)是也。依據物體運動定理，若由其自由運動，則此振子宜常在同一平面內擺動不息，第二十五圖中 A 示振子懸掛之地點，自子午線 AQ 開始擺動， PA 直切子午線圈於 A 點，經若干時間後，子午線 AQ 旋轉至 $A'Q'$ ，因 $A'P'$ 平行於 AP 之故，此時之振子，宜即依 $O A' P'$ 平面擺動，直線 $A'P'$ 在子午線圈上之切點為 A' ，因之此線與振子運動平面間所夾之角 $P' A' P$ ，等於角 $AP A'$ ，易言之，即在 P 點之二子午圈切線所構成之夾角，等於振子運動平面與子午線平面不相一致



第 25 圖 傅科氏之振子試驗

之偏角。此偏移在北半球各處，當振子取正南北方向擺動時，偏成東北至西南向。所構成偏角之大小，隨 A 點之緯度而定，緯度愈高，則偏角愈大，若在兩極，每日須有三百六十度之偏移，反之若在赤道上，則因 P 點位於無窮遠之故，偏角為零，此即示地球逐日有自西向東之自轉運動也。

(四)地球若有自轉運動，則因發生離心力之故，在自轉速度最大之赤道部分，宜稍向外膨脹，兩極附近，宜稍扁平，今地球實具有此種形狀，故亦可為地球有自轉運動之證，惟其方向何若，則仍須用上列方法證明耳。

第三節 地球自轉之速率

地球自轉之速率，有變動乎？此可就力學方面解答之。據力學原理，地球若不受外力之影響，並其自身之大小形狀及質量之分佈無變動，則其自轉速度宜不變，而可為測定時間之一良好標準，但此數者情形究竟若何，是宜再分別論之。

地球在太空中，常受日、月、衆星之引力，所謂外力，此當為一最重要之部分，但此等外力，在地球上常成正反相均衡之勢，一若地球對一垂直旋轉軸施行吸力然，在地球自轉之速率方面，不生影響，可置勿論。其次所謂外力，宜推及流星之打擊力，流星於一日夜間，與地球相衝擊者，為數不下百萬，此其情形，與一旋轉之陀螺，在空氣中與空氣之質點相衝突無異，速率自當因之減縮，惟地球之質量甚大，流星之質量甚小，依目前情形推算，由流星所生之影響，僅能使地球於一萬萬年內，增長自轉一周所需之時間一秒鐘，其數可云小矣。

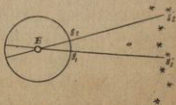
月球對地球施行引力，其結果在水區產生潮汐，潮汐能阻礙地球之自轉（參閱第三章第二節），故由產生潮汐之結果，地球自轉之速率，將逐漸縮減，縮減之數，據麥美倫（MacMillan）氏之推算，至多不過於三千萬年內，延長每日之時間一分鐘，近來張伯令氏等之推算，則謂每五十萬年可延長一分鐘，雖遠較麥氏所發表之數字為大，然若就其實際數值而論，則仍渺乎不足道也。

地球之旋轉速度與其體積之大小有關，體積之大小，又須視溫度之高下定奪，地球若因散熱而冷縮，則其自轉速度將增加，反是，若地殼中放射性物質，以能產生熱量之故而使地球膨脹，則速度將因之減少，依此正反兩方推算所得之結果，至少須歷一百萬年，始有實際影響，其餘蓋僅為理論方面之一說而已。

由上列各種推論，可知地球自轉之速率，在三五十萬年內，可視為一不變數，尤以人類之歷史甚短，在實用上毫不發生影響，故可以地球之自轉，為測時之良好依據。

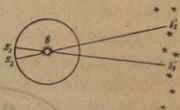
第四節 地球之公轉

地球繞日，日繞地球旋轉，就我人目所見之現象言之，均可解釋。設如第二十六圖（甲）所示， E 為地球， S 為太陽，當某一日下午八點鐘作第一次觀測時，某星適在子午線上，太陽在某星以西 120° ，或以太陽為準，則某星在太陽以東 120° ，過一月後，時間同為下午八點鐘，



第26圖 人目所見大星移行之兩種解釋（甲）日繞地球

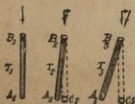
某星係在太陽以東 90° ，在此一月中，依太陽對某星言，共向東移動 $120^\circ - 90^\circ = 30^\circ$ ，即第二十六圖（甲）所示 S'_1 至 S'_2 間之距離，故就我人目所見太陽之移動情形言，未嘗不可用上圖解釋為地球居不中，太陽繞之旋轉；但從另一方面言，如第二十六圖（乙）所示，我人所見太陽之移動，實為地球由 E_1 運行至 E_2 所致，二者孰是，不能不有賴於其他方法之證明，較簡明之方法如下：



第 26 圖 (乙) 地球繞日

(一) 依據物體運動原則，兩物體運動時，宜依其合共之重心旋轉，太陽以質量大之故，太陽與地球之合共重心，係在太陽之中心附近，如此，則地球繞太陽旋轉矣。

(二) 英國天文學家勃蘭特萊 (Bradley) 氏，於 1728 年發明天文學上所謂光行差 (aberration of light)，以解釋地球之繞日運動，其原理可用一淺近之譬喻說明之，設有雨滴，以垂直之方向下降，其時有三個空管，如第二十七圖所示，空管 T_1 直立靜止， T_2 以較小之速度向右運行， T_3 向右運行之速度較大，則以 T_2 及 T_3 均有向右移

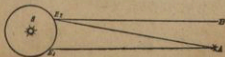


第 27 圖 光行差之解釋

行作用之故，管端不能不向左傾斜，雨滴仍以垂直之方向下降，則就空管 T_1 言，可直達管內， T_2 及 T_3 兩管，均不能達管內，而墜於管底旁之 C_2 及 C_3 ，所偏移之距離為 A_2C_2 及 A_3C_3 ，與管向右運行之速度成比例。此譬喻中所言雨滴即光線，管即地

球，光雖每秒鐘能進行 298,300 公里 (186,330 哩)，但尚不能謂為無窮大，故當地球之位置繼續移動時，我人所見星長之位置，亦繼續偏動，地球在軌道上繞行半周後，偏動之方向即相反，據實測所得，星之偏動角度為 20.47 秒，是即地球移行速度與光線前進速度之比數。此法不特證明地球移動，且能同時解決地球在軌道上移行之速率及軌道之大小；蓋因光之速度為已知，則由光速與地球運行速度之比，可得地球運行之速度，由此速度與地球繞太陽一周所需之時間，即可得軌道之大小也。依此法推得軌道之大小與由他法推得者相合，足以證實此法之價值。

(三)一年中所見同一恆星之位置，在不同時期內，其方向亦不同，是為最先成立之直接試驗地球移動方法。惟以各恆星距地皆極遠，非有極精密之儀器，實不易發現其位置之變遷，但至近年，則此方法已告成功，因距地較近而被發現位置有移動之星，達百數左右，地球有公轉運動，亦自此得一直接證明，所謂恆星在不同時期內之視位置變動，係以地球在軌道上二不同位置時所見恆星方向在角度上之差別計算，通常稱為恆星之視差 (the parallax of the star)。第二十八圖中 A 示某恆星， S 示太陽， E_1 及 E_2 示地球在軌道上因時期不同而相異之兩個位置，命 E_2B 平行於 E_1A ，則角 AE_2B 即為 A 星

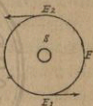


第 28 圖 恆星之視差

之視差，此角與角 E_1AE_2 相等，故恆星之視差，又可以互用方法，改

變其定義為自恆星遙視日地系統時，地球在軌道上之兩點，以軌道半徑所構成之夾角，據實測所得，此夾角依距地最近之恆星言，亦僅有 0.75 秒（一度之小數），由此推得其距離地球里數，應較太陽大 275,000 倍，易言之，即 $4,096 \times 10^{10}$ 公里，可以想見欲決定其視差之不易矣。

（四）自分光鏡 (spectroscope) 發明後，光之前進及後退，及由前進或後退而起之速度方面變化，可依光帶分析第四定律或稱杜伯勒費瑞氏定律 (Doppler-Fizean law) 求得。地球當進向一星運動，如第二十九圖所示 E_1 之位置時，由恆星 A 射來之光速大，反之，在 E_2 之位置時，由恆星 A 射來之光速小，若以地球在 E 時之光速為標準，則比較 E_1 及 E_2 兩點與 E 點所起光速方面之差別，即可以推知地球之動向及動速，天文家依此方法，就千餘星辰試驗之，不獨證明地球有公轉運動，且其速度及軌道形狀，亦已連帶決定。



第 29 圖

地球之背星及向星運動

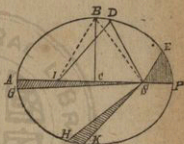
地球繞日旋轉，既經各種方法證明，則其旋轉之方法，亦極易決定，我人所見恆星位置之移動，乃地球本身移動之結果，其方向宜與恆星移動之方向相反，我人所見恆星移行之方向，係自東向西，故知地球在軌道上移行之方向為自西向東。

第五節 地球之軌道

地球繞日旋轉之軌道，最初有人想像以為正圓形，太陽係居此圓圈之中央，後乃知其不然，蓋若地球之軌道確為正圓形，則一年中

日地距離，宜無何變動，而我人所見日球之視直徑，亦宜無大小之差別；實不然，據從望遠鏡中觀測所得，日球在一年中之視直徑，常有變遷，最大時達 $32'26''$ ，最小時僅 $31'32''$ 。物體視直徑之大小，與物體距離觀測者之遠近成反比例，日球在一年中之視直徑，既有大小之不同，則其距離地球，必有遠近之差別，地球繞日之軌道，必非為正圓形，而為一橢圓也明矣。橢圓有二軸：一稱長軸 (major axis)；一稱短軸 (minor axis)。自橢圓上

任何一點，對橢圓之二焦點作直線，其距離之總和，常等於該圓之長軸。就第三十圖 (甲) 言， C 為橢圓之中心， CP 為橢圓之半長軸， CB 為橢圓之半短軸， S 及 I 為橢圓之二個焦點， D 為橢圓周上之一點，自 D 對 S 及 I 作直



第30圖 (甲) 橢圓

線，其總長即等於二個 CP ，或長軸 AP 之長度。 CS 為焦點距心數，此數與半長軸之比，稱為偏心率 (eccentricity)，縮寫為 e ，以式表示之：

$$e = \frac{CS}{CP},$$

因

$$CS = \frac{1}{2}(AS - PS);$$

$$CP = \frac{1}{2}(AS + PS);$$

故得

$$e = \frac{AS - PS}{AS + PS}.$$

AS 及 PS 可視為地球在軌道上對日之兩距離，其大小宜與日球之視直徑成反比例。命 d 為日球在一年中最大之視直徑， d' 為日球在一年中最小之視直徑，上列偏心率公式，因之可換寫為：

$$e = \frac{\frac{1}{d'} - \frac{1}{d}}{\frac{1}{d'} + \frac{1}{d}} = \frac{d - d'}{d + d'}$$

如此則地球軌道之偏心率，可自日球視直徑之大小求得矣。以實測所得日球在一年中之視直徑代入，得：

$$e = \frac{d - d'}{d + d'} = \frac{1956 - 1892}{1956 + 1892} = \frac{1}{60}$$

橢圓形之橢圓程度，以偏心率之大小定之，偏心率大，則橢圓扁長，否則近於正圓，地球軌道之偏心率，既僅有 $\frac{1}{60}$ 或 0.01677 左右，則是近於正圓，古人所以誤為正圓者以此。

地球繞日軌道，既非正圓而為一橢圓形，一年中日地距離，即有遠近不同，地球在軌道上最近日球之一點，稱為近日點 (perihelion)，時期為一月一日，最遠日球之一點，稱為遠日點 (aphelion)，時期為七月一日。因地球在一年中距日遠近不同，移行之速度亦不同，其關係為自日球連接一線至地球，當地球在軌道上運行時，凡此線所跨及之面積相等者，其所需之時間亦相等，第三十圖 (甲) 中三角形 SPE , SAG , SHK 之面積相等，則當地球由 P 移至 E ，由 A 移至 G ，由 H 移至 K ，所歷之時間亦相等，易言之，地球在近日點時移行快，遠日點時移行慢，是為克卜勒 (Kepler) 氏之行星運動第二定律。

地球以在軌道上運行有遲速不同之故，「分」與「至」間所歷之時間亦不相等。二分二至之日期，春分大約在陽曆三月二十一日左右，夏至在六月二十一日左右，秋分在九月二十三日左右，冬至在十二月二十一日左右，自春分至夏至，共歷 92 日 20 $\frac{1}{2}$ 小時，夏至至秋分，共歷 93 日 14 $\frac{1}{2}$ 小時，秋分至冬至，共歷 89 日 18 $\frac{1}{2}$ 小時，冬至至春分，共歷 89 日 1 $\frac{1}{2}$ 小時。以圖示地球軌道之實況(第 30 圖乙) S 為太陽， X 為春分點， Q 為夏至點， Y 為秋分點， P 為冬至點， A 為近日點， B 為遠日點， AB 為遠近二點之連接線 (line of apsides) 或軌道之長軸， XY 為二分線

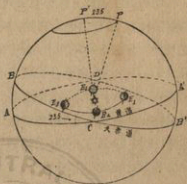


第 30 圖 (乙) 地球之軌道
(偏心率未依實際比例繪畫)

(line of equinoxes), QP 為二至線 (line of solstices), 後二者皆以直線兩端之時節得名。由二分二至線分割所得之四象限， XQS 及 YQS 顯然大於 XAS 及 YAS , 等積須等時，故地球在 XQ 及 YQ 間移行所歷之時間，必須較在 XA 及 YA 間為長，仍克卜勒氏之定律也。

地球繞日之軌道平面，稱為黃道平面 (the plane of the ecliptic)，此平面與天空相切之線，稱為黃道 (the ecliptic)，即第三十一圖中所示之 $ADAC$ 大圓圈。因我人居於地球之上，隨地球運行之故，地球之繞日運動，一若月球圍繞地球運動然，其運動之平面，亦即地球繞日之軌道平面，故黃道之定義，有時即直陳為日球在衆星間之視運動 (apparent motion) 軌跡，二者實一也。延長地球之赤道平面，與

天空相切時所成之大圓圈，稱為天赤道 (celestial equator)，亦即第三十一圖中所示之 $BDB'C$ 大圓圈。赤道平面與黃道平面之交角，約為 23.5° ($23^\circ 28'$)，是為黃道之傾角 (the inclination or obliquity of the ecliptic)。由黃道平面之中心，引一垂直線，直指天空之一點，稱為黃道極 (the pole of the ecliptic)。引伸地球之轉軸，直指天空之一點，稱為赤道極或天樞 (the celestial pole)。第三十一圖中 P' 及 P ，即示黃道極及天樞，二者間之夾角，亦為 23.5° 。

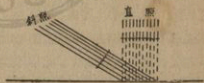


第31圖 黃道赤道及天樞

第六節 四季

地球公轉一周之結果，構成四季，四季之重要區別有二：其一，溫度高下不同；其二，晝夜長短互異，二者皆由於黃赤道不在一平面而起。因黃赤道不在一平面之故，當地球在軌道上運行時，其所取之平面，係第三十一圖所示之 $ADA'C$ 平面，即黃道平面，此平面因與天赤道平面有 23.5° 交角之故，我人在同一緯度上所見正午時太陽之高度，一年中時有變遷；或就太陽高達天頂，發生直照之地點言，一年中殊不一定。二者可能發生變化之極限，在一地之太陽高度方面為 47° ，在直照位置之移動方面，則為緯度 47° ，均為黃赤道平面交角之二倍。其實際變化情形，當陽歷三月二十一日左右，太陽直照亦

道之上空，是為春分 (vernal equinox)，地球上各處所見正午時太陽之高度，為自 90° 中減去當地之緯度，例如重慶之緯度為 30° ，則當日正午時之太陽高度為 $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ ，餘類推。自此以後，太陽直照之位置，逐漸北移，至六月二十一日左右，太陽直照在北緯 23.5° ，是為夏至 (summer solstice)，其餘各地太陽在正午時之高度，北半球緯度在 23.5° 以下者為 $90^\circ + \phi - 23.5^\circ$ ，以上為 $90^\circ - \phi + 23.5^\circ$ ；南半球為 $90^\circ - \phi - 23.5^\circ$ ，三式中 ϕ 皆示當地之緯度。夏至以後，太陽直照之位置，逐漸南移，約在九月二十三日左右，重復回至赤道，是為秋分 (autumnal equinox)，各地所見正午時太陽之高度，與春分時相同，即 90° 中減去當地之緯度是也。秋分以後，太陽直照之位置，繼續南移，至十二月二十一日左右，達南緯 23.5° ，是為冬至 (winter solstice)，各地太陽在正午時之高度，北半球為 $90^\circ - \phi - 23.5^\circ$ ，南半球緯度在 23.5° 以下為 $90^\circ + \phi - 23.5^\circ$ ，以上為 $90^\circ - \phi + 23.5^\circ$ ，與夏至日情形適相反。自此以後，太陽直照之位置，復向北移動，至春分而達赤道，以完成一年。地面溫度，可云完全受太陽光熱之支配，太陽光之強弱，以照射角之關係為最大，直照時強，斜照時弱，強弱情形，如第三十二圖所示：



第32圖 直照斜照與受熱量之關係

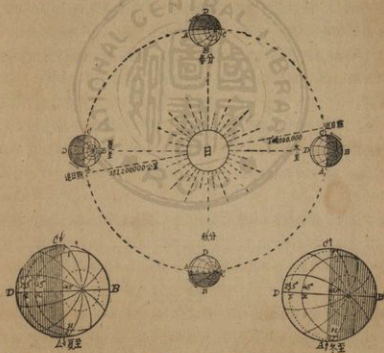
所謂太陽光線照射角度，

實即太陽在一地高度之變相名稱，太陽在一地之高度，既時有變遷，地面溫度，即當依太陽高度不同，發生光熱方面之強弱而有上落，自春分至夏至，北半球各地正午時太陽高度，逐漸增大，溫度當逐漸升

高，成爲一年中之春季；夏至日太陽高度，在北緯 23.5° 以北地區，達最高點，夏至以後，太陽高度，雖逐漸縮減，但仍甚大，且承襲前季溫度已升高之後，故爲一年中溫度最高時期，稱爲夏季；秋分以後，太陽高度繼續減縮，溫度亦隨之下降，無復夏季之炎威，稱爲秋季；冬至日北半球太陽高度，已降至最低點，冬至以後，太陽之高度，雖逐漸增大，但實際上仍甚小，故溫度甚低，成爲一年中之冬季。以上春、夏、秋、冬四季之區分，以二分及二至爲依據，可稱爲天文方面之季節。普通以二分二至日期均不在月初之故，特稍爲提前，即自三月初起至五月底止爲春，六月初起至八月底止爲夏，九月初起至十一月底止爲秋，十二月初起至二月底止爲冬，實際上此不過表示一種習慣法而已，與各地四季之真義，往往不合，「胡天八月即飛雪」，秋云乎哉？

各季節晝夜長短不同情形，春分日全球各地，晝夜成各十二小時，故名爲分，分即一日之時間，爲晝夜所平分，中外對於此日命名之意，可云相同；春分以後，北半球晝漸加長，夜漸縮短，至夏至日而達最大限度，北半球各地，一年中以此日之白晝爲最長，夜爲最短；夏至以後，北半球晝漸縮短，夜漸增長，但仍晝長於夜，至秋分日全球晝夜復相等；秋分以後，北半球晝仍繼續縮短，夜仍繼續增長，至冬至日而達極點，北半球各地，一年中以此日之白晝爲最短，夜爲最長，自此以後，北半球晝復逐漸增長，夜復逐漸縮短，但仍晝短夜長，至春分日始復歸於晝夜平分，而完成一年之四季。南半球情形與北半球適相反，可自北半球情形，反求而得。在一年四季晝夜長短變遷過程中，高緯度之晝夜長短差別，較低緯度爲大，在緯度 66.5° 圓圈

上，夏至日為永晝，冬至日為永夜，緯度 66.5° 以上地區，晝或夜有時超過二十四小時，兩極在一年中，以半年為晝，半年為夜，惟赤道上恆為晝夜時間相等，其原因及非赤道區域一年中有晝夜長短變遷之故，可利用第三十三圖說明之。圖中地球有陰影部分示夜，空白處示晝，晝夜時間之長短，以此兩部中所包含經度之多寡定之，每十五度為一小時，經度之多寡定，則時間定矣。春秋分日， ABC 部分與 ADC 部分所包之經度相等，不特一個緯度圈如此，各緯度圈莫不皆然，故



第 33 圖 四季之運行

全球成爲晝夜時間相等；夏至日空白與陰影部分所包有之經綫，除在赤道上空白部分 ABC 仍與陰影部分 ADC 相等外，其餘各地，在 23.5° 緯度圈上，空白部分 FBG 所包之經綫，多於陰影部分 FEG 範圍內之經綫， 45° 緯度圈上空白部分 IBH 所包之經綫，更遠較陰影部分 IKH 所包之經綫爲多， 66.5° 緯度圈則全部在空白部分內，故緯度 66.5° 以上之地區，有晝而無夜，其餘各地，高緯度之白晝，較低緯度爲長，赤道上則仍爲晝夜各十二小時；冬至日除在赤道上陰影部分 ABC 仍與空白部分 ADC 相等外，其餘各地，在 23.5° 緯度圈上，陰影部分 FBG 所包之經綫，較空白部分 FEG 所包之經綫爲多，在 45° 緯度圈上，陰影部分 IBH 所包之經綫，更遠較空白部分 IKH 所包含之經綫爲多， 66.5° 緯度圈則全部在陰影範圍內，故在緯度 66.5° 以上之地區，有夜而無晝，其餘各地，高緯度之晚間，較低緯度爲長，惟在赤道上始終晝夜時間相等，茲表列各緯度在一年中最長之白晝時間如下：

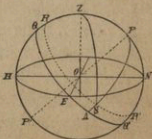
緯 度	最長之白晝時間
0	12 小時
15	13
30.48	14
41.24	15
49.20	16
54.31	17
58.27	18
61.19	19

63.23	20
64.50	21
65.48	22
66.21	23
66.32	24
67.23	1 月
69.51	2
73.40	3
78.11	4
84.51	5
90.00	6

上表係由測時公式求得，式如下：

$$\sin \frac{1}{2} ZPS = \sqrt{\frac{\sin \frac{1}{2} (ZS + PZ - PS) \sin \frac{1}{2} (ZS + PS - PZ)}{\sin PZ \sin PS}}$$

式中所用符號，可用三十四圖解釋之，圖中 Z 為所在地之天頂， NH 為地平圈； P 為北極或南極； QEQ' 為天赤道； RR' 為我人所見太陽在此日期移行之軌跡， S 為太陽； PN 為所在地之緯度，通常用 ϕ 代表； SA 為太陽之傾角，或稱赤緯 (declination) 通常用 δ 代表； ZS 為太陽與所在地天頂間之距離，通常用 Z 代表； ZPS 為太陽與當地子午線間之夾角，即所謂時角 (hour angle)，通常用 t 代表，故原



第 34 圖 視太陽運行之軌跡

式亦可寫爲：

$$\sin \frac{1}{2} t = \sqrt{\frac{\sin \frac{1}{2} (Z + \delta - \phi) \sin \frac{1}{2} (Z - \delta + \phi)}{\cos \phi \cos \delta}}$$

若一地之緯度爲已知，則 Z 爲當地之緯度加或減太陽之傾角， δ 可自航海通書 (nautical almanac)，或天文年曆 (ephemeris) 中查得，該地之晝長，亦即可求得矣。

第七節 五 帶

地球之軌道平面與赤道平面有 23.5° 交角之又一影響，爲構成地球上之五帶。五帶之劃分，自赤道向南北各 23.5° ，太陽在一年中有兩次直照，其餘日期太陽之高度至少在 66.5° 以上，故受光特強，一年中平均溫度最高，稱爲熱帶 (torrid zone)， 23.5° 緯度線則稱爲回歸線，以南北關係，在南半球者稱爲南回歸線 (tropic of capricorn)，在北半球者稱爲北回歸線 (tropic of cancer)，其爲熱帶之極限則一也。自南北緯 23.5° 分向兩極進行，至南北緯 66.5° 止，在此範圍內，一年中太陽無直照天頂之時，亦無永晝和永夜，平均太陽之高度，較熱帶範圍內爲小，故所受之日光較弱，平均溫度亦較低，稱爲溫帶 (temperate zone)，以有南北兩區之故，在南半球者稱爲南溫帶，在北半球者稱爲北溫帶。自南北緯 66.5° 以至兩極，一年中至少有一日爲永夜，一日爲永晝，平均太陽高度，更較溫帶範圍內爲小，故所受日光甚微弱，平均溫度最低，稱爲寒帶 (frigid zone)，亦有二區，在南半球者稱爲南寒帶，在北半球者稱爲北寒帶。熱帶、南北溫帶、南北寒帶，總稱五帶。五帶之平均溫度，雖顯有高低，但最熱最冷之區，實

際上或在溫帶範圍內，若執寒、溫、熱三字以論各帶之極端溫度，則大誤矣。在溫度方面，寒、溫、熱三帶，尚有一重要不同情形，在赤道上一年中太陽高度之變遷，為自 90° 至 66.5° ，總共 23.5° ；溫寒二帶內一年中太陽高度之變遷，咸各 47° ，較赤道附近為大。太陽高度之變遷，即所以代表太陽光熱強弱之變遷，亦即溫度高下所由發生。赤道附近，太陽高度之變遷既不大，寒帶區域，所受之太陽光熱太弱，益以地面積有冰雪之故，即在一年中太陽高度最大時期，亦尚不易將溫度升高，結果仍為一寒區區域，故論寒、溫、熱三帶一年中溫度方面之變化，宜以溫帶為最大，實際上亦頗相合，所謂四季，惟溫帶範圍內最為明顯，在熱帶範圍內，冬夏蓋無甚差別，蘇東坡詠廣州詩所謂「四季無寒暑，一雨便成秋」，足以盡之。

讀者參考舉要

1. F. R. Moulton: An introduction to Astronomy.
2. George W. Parker: Elements of Astronomy, Longmans, Green, and Co., London, 1929.
3. David Todd: A New Astronomy, American Book Company, New York, 1906.
4. Hugh Godfray: A treatise on Astronomy, MacMillan and Co., London, 1886.
5. 松山基範著，王謨譯：地球。

習 題

1. 自重慶(北緯 30°)發炮轟擊正北方十公里處一目的物，炮彈

在空中共歷 30 秒鐘，若當時大氣界中無風，射程又完全適合，則此炮彈應落在目的物之何方？偏離目的物若干？

2. 在無風之日，自 Eiffel 塔上（北緯 45° ）有一鐵丸下墜，求此鐵丸達地面之位置。

3. 設若一日夜之時間，較現時增長一倍，則在氣候方面，應有若何影響？

4. 設若地球之軌道為正圓形，則在季候（包括四季之長短及氣候）方面，與今日有何不相同之處？試論述之。

5. 設若黃道與赤道平面間無交角，則在季候方面，與今日有何不相同處？

6. 設若黃赤道平面以 90° 相交，試論述地球上日夜及四季之情形。

7. 以觀測者在赤道，北緯 70° 及北極為例，試繪圖說明太陽在春秋分及冬夏至日移行之軌跡。

8. 依據物體下墜偏東原理，說明此項作用，宜以何處為最大？何處為最小？

9. 自望遠鏡中觀測某一天體，其視象之大小，逐日不同，試解釋之。

10. 試以清明無月之晚間，立於峯巒之平原上為例，敘述所見天空中衆星移行之現象，並解釋之。

11. 春秋分日，太陽在各地應出於何時？落於何時？理由若何？

12. 若在緯度 30° 處有一振子（pendulum）擺動，則應於若干時間內，其擺動平面之變向運動，適完成一週？

13. 在地球上，何處之物體下墜，無偏東作用？

14. 設若地球以與現時同樣之速度自轉，惟公轉之速度加倍，則每一平均太陽日所歷之時間，應較現時增或減若干？每年共應有若干個新平均太陽日？

15. 在天空中有兩星，若其相互距離，每夜不同，試就此現象，解釋二星之性質（恆星？行星？衛星？）；又若二星中之一星，對於天空中某一固定點之距離常不變，試再解釋二星之性質。

16. 已知某地點太陽之高度，在夏至日正午時適為 80° ，求某地點之緯度。

17. 重慶（北緯 $29^\circ 33'$ ）地平與黃道間所構成之交角，一年中最大最小，應各為若干？

18. 以太陽直照在天頂時之光熱為 1，由各種太陽高度，推求重慶（北緯 $29^\circ 33'$ ）在春秋分，冬夏至及一月十日、四月三十日、七月二十九日、九月七日、九月二十七日、十一月十九日，太陽光熱比數。

第七章 時與曆

第一節 時之意義及種類

時之定義，實不能得一較我人對於此字之本身所已瞭解者為簡單。其單位為何，或如何比對其長短，亦頗易成為一爭執問題。「一日不見，如三秋兮」「無事則長，有事則短」，心理作用影響於時之感覺有如此者。但人類在處理彼此間事務方面，不能不有時之計算，其意義究當為何，亦遂不能不有明確之規定。依據牛頓氏力學第一定律，得一定義曰：「運行之物體，若完全不受外力之影響，則凡距離相等者，所需之時間亦相等」。所謂運行之物體，其種類及速度之大小均不拘，祇須就同一物體論，其結果均相等。依此定義，我人若能量得物體運行之距離，則時間定矣。願欲在地球上得一完全不受外力牽制之運動物體，殊屬不易，無已，則即以地球本身運動為測時之標準乎？地球在太空中運動，尚稍受外力影響，但為數極微（參閱前章地球自轉之速度），在人類實際應用上，已足為測時之一良好目標，故現時各種測時方法咸依據之。

地球由自轉運動所發生之旋轉角度，可依其四鄰之天體為依據而測定。天體甚多，故時之種類亦不一，以太陽為依據者稱為太陽時（solar time）；以恆星為依據者稱為恆星時（sidereal time）；此其大

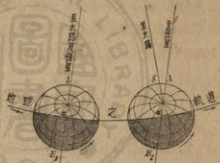
別也。太陽時又以太陽與地球之距離，一年中不相等之故，有視太陽時 (apparent solar time) 與平均太陽時 (mean solar time) 之分。在實際應用上，各經度不相同之人，不能各以其所定之時為標準，於是又有地方時 (local time) 與標準時 (standard time) 等名稱，其詳將續論之。

時之種類方面，有所謂民用日 (civil day) 天文日 (astronomical day) 者，並非在時之測算方面，另擇一種目標，不過將一日之起始，分別規定一時間而已。民用日以便於民用為主，故以人類休息時期之子夜為日期之始，庶可充分減少因變更日期而起之不便；天文觀察多在夜間，若以子夜為日期之始，則不勝更換日期之煩，故改以正午為日期之起訖。又天文日用二十四小時連續計算制，民用日則有上下午之分，亦二者不相同處。

第二節 恆星時與太陽時

恆星時以自恆星正對某一子午線起，至此恆星回復正對同一子午線之時間為一日，稱為恆星日 (sidereal day)。太陽時以自太陽正對某一子午線起，至太陽回復正對同一子午線止之時間為一日，稱為太陽日 (solar day)。恆星日與太陽日各分為二十四等分，稱為小時，由恆星日析得者稱為恆星小時 (sidereal hours)；由太陽日析得者稱為太陽小時 (solar hours)。一恆星日與一太陽日所歷之實際時間不相等，若以平均太陽日為標準，則每一恆星日約較平均太陽日短四分鐘，即平均太陽日為二十四小時，恆星日僅有二十三小時五十六分而已。每一平均太陽小時與一恆星小時之差別，可依此類推。

恆星日所以與太陽日所歷之時間不相等者，由於地球繞太陽旋轉，且距太陽較近而起。地球自轉之方向，與公轉之方向相同，自轉一周所需之時間為二十四小時，公轉約歷三百六十五日而一周，即約每日在軌道上移行一度左右。此一度左右之時角，必須地球繼續自轉，始克再以同一子午線正對太陽。恆星距地極遠，地球在軌道上每日一度左右之移行，實不足變更恆星與地球之相互位置，故地球於自轉一周後，即能以同一子午線再度正對同一恆星。其理可更利用第三十五圖說明之，圖中 E_1, E_2 係示地球在軌道上之兩個位置；自 E_1 至 E_2 ，假定須一日； AO 為地球上某一子午線， AO 與 $A'O'$ 平行。當地球在 E_1 位置時，恆星及太陽均正對 AO 子午線，迨地球自轉一周，在軌道上移至 E_2 位置後 A 已旋轉 360° ，恆星以距地極遠，連接地球中心至同一恆星之線，始終為一平行線之故，仍能正對 A 點之子午線而完成一日；太陽則以地球位置已移動之故，此時尚未能正對 A 點之子午線，必須地球繼續自轉，將 A 點旋轉至 S ，始見太陽復在 A 點之子午線上。此自 A 旋轉至 S 之角度，即等於地球在一日之時間內，自 E_1 沿軌道進行至 E_2 之角度，換言之，即約 1° 左右，以時間言，約四分鐘左右，此為地球於將 A 點轉達 360° 後所宜繼續旋轉者，故平均太陽日所歷之時間，較多於恆星日凡四分



第 35 圖 恆星日與太陽日不相等之原因

能正對 A 點之子午線而完成一日；太陽則以地球位置已移動之故，此時尚未能正對 A 點之子午線，必須地球繼續自轉，將 A 點旋轉至 S ，始見太陽復在 A 點之子午線上。此自 A 旋轉至 S 之角度，即等於地球在一日之時間內，自 E_1 沿軌道進行至 E_2 之角度，換言之，即約 1° 左右，以時間言，約四分鐘左右，此為地球於將 A 點轉達 360° 後所宜繼續旋轉者，故平均太陽日所歷之時間，較多於恆星日凡四分

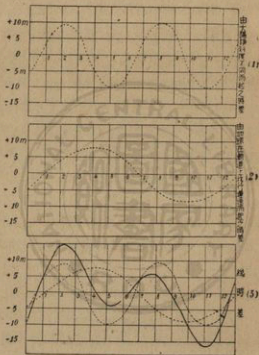
鐘左右。由此觀之，恆星日乃為地球自轉一周所須之確實時間，太陽日與地球自轉一周所需之時間不符，故天文計算上多採用恆星時。

第三節 視太陽時與平均太陽時

視太陽時以自太陽正對某一子午線起至太陽再度正對此子午線時為一日；平均太陽時則不以某一太陽日所歷之時間為標準，而取全年各日之平均，平均時之得名以此。視太陽時既以太陽之位置為依據，我人所見太陽之運行，又以地球在軌道上運行之速度有大小之不同，則視太陽時一日之長短，一年中即當不能相等。依據剌卜勒氏行星運動定律，等積須等時，（參閱前章地球之軌道節）則當地球在遠日點時，運行宜慢，若命地球在軌道上之平均運行速度為每日一度，則在遠日點時宜不足一度，因而一日之長亦當不足二十四小時；在近日點時，地球在軌道上每日運行之速度，宜大於一度，因而一日之長，亦當大於二十四小時；又黃道對於赤道之傾斜，可影響我人所見太陽運行之遲速，其結果亦足影響時間之長短。合此數種原因所造成長短不同之逐日時間，與一年中平均太陽日之差別，稱為時差（equation of time）。時差有正有負，其區別以平均太陽日為標準，平均太陽日之時間超過視太陽日時為正，反之為負。一年中各時期時差之大小，如第三十六圖所示。

由黃道對於赤道傾斜而起之時差，在二分（春秋分）二至（冬夏至）日為零，二月及八月達最大數，五月及九月達最小數，各與平均相差十分鐘左右。由地球在軌道上運行速度不同而起之時差，在十二月三十一日及七月一日俱為零，三月達最大數，九月達最小數，各

距平均 7.7 分鐘，合此兩種差數構成之總時差，在四月十五日、六月十五日、九月一日、十二月二十四日俱為零，其餘日期，以二月十一日左右為最大，達正十五分鐘，十一月初為最小，達負十七分鐘左右。



第 36 圖 時差

已查得時差，欲求視太陽時，其方式為： $\text{平均太陽時} + \text{時差} = \text{視太陽時}$ 。若不經此改正，則即在一地所稱之正午，往往非太陽正在南方之時。

一日中上下午時間之長短，亦與時差有關。就視太陽言，此兩部

分時間，本無短長之別，即自日出起，至太陽正在當地子午線上所歷之時間，若略去一日中太陽在赤緯(declination)方面之變遷不計，完全相等於太陽在當地子午線上至日落之時間。實際上因時差關係，視太陽時之正午，與我人所用鐘表上平均太陽時之正午，常不相一致。設若我人以所謂上午之時間，自日出計算至平均太陽時之正午，而以 I 代表自日出至太陽正在當地子午線上之總時間， E 為時差，則我人依據鐘表時所稱之上午，其總時間為：

$$\text{上午} = I + E.$$

同樣，

$$\text{下午} = I - E.$$

由此得：

$$\text{上午} - \text{下午} = 2E.$$

更進而得：

$$\text{上午} = \text{下午} + 2E,$$

或

$$\text{下午} = \text{上午} - 2E.$$

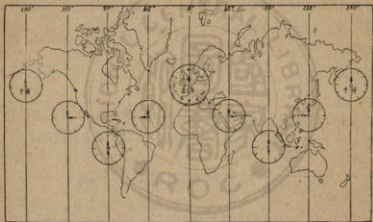
至於上下午孰為較長，則繫於 E 之符號， E 為正時，上午長於下午，反是則下午長於上午。長短相差之實數，亦可自 E 之數值決定。

第四節 地方時與標準時區及國

際日期變更線

地方時以測時目標如太陽或恆星等，通過當地子午線之時間為正午或子夜。地球上各處，凡東西位置不相同者，其太陽或恆星南中之時間亦不相同，當甲地點見太陽或恆星南中之時，在甲地點以西地區，必見太陽或恆星尚在東方；以東地區，則見太陽或恆星已過子午線而西矣。然則將以何地所見太陽或恆星南中之時間為標準乎？

於是乃分割全球為二十四個時區，每一時區包括十五經度。時間相差一小時，各以區內之居中子午線為全區用時之標準，時之以此方法決定者，稱為標準時 (standard time)。標準時正午，除本區標準時線即居中一子午線外，太陽或不在正南，此所當知者也。現時世界標準時區，以英國格林威治 (Greenwich) 天文台所在地之本初子午線 (prime meridian) 為起點，在此子午線以東，每歷一時區，較本初子午線早一小時；以西，則遲一小時，如第三十七圖所示。我國以幅員



第37圖 全球標準時區

遼闊之故，亦有數個時區，政府且於二十八年八月，重復申令各地遵用矣。我國時區之名稱，自東向西數之：(一)長白時區，實僅有半個時區，以此區之居中子午線即東經 127.5° 子午線為標準時線，較英國倫敦時間早八小時半，吉林黑龍江之東部屬之。(二)中原時區，亦稱海關時區，以東經 120° 子午線為標準時線，較倫敦時間早八小時，

蘇、浙、皖、贛、鄂、閩、粵、魯、豫、晉、察、冀、熱各省及吉、黑、綏、蒙各一部屬之。(三)隴蜀時區，以東經 105° 子午線為標準時線，較倫敦時間早七小時，川、陝、滇、黔、桂、寧夏及西康、青、甘、綏、蒙古一部屬之。(四)回藏時區，以東經 90° 子午線為標準時線，較倫敦時間早六小時，甘、新、蒙、青、西康各一部屬之。(五)崑崙時區，亦僅有半個時區，以東經 82.5° 子午線為標準時線，較倫敦時間早五小時半，新疆西藏之西部屬之。

全球時間，既依經度不同而分為二十四個時區，則當我人旅行時，每更換一時區，必須將所携時計變更一小時，乃能與到達區域之時間相合，旅行二十四個時區後，須變更一日，乃與當地之日期相合。就原則言，自西向東旅行時，因與我人採作測時標準之太陽移行方向相反，須損一日，自東向西行時，與太陽移行之方向相同，須增一日，其理由可更於第三十八圖觀之。



第 38 圖 環行地球一周後必須變更日期之原因

今假想我人之位置，適在 180° 子午線之東，又假定時刻恰為當日九時，此時在 180° 子午線上雖為九時，但在東經 165° 子午線上則為八時， 150° 為七時， 135° 為六時，如此愈向西則時刻愈遲，至西經 135° 處，遲二十一小時，即當為前一日之十二時，更向前推算至西經 165° 處，則遲二十三小時，至 180° 子午線之西側，則恰遲一日，即尚為前一日之九時。此種關係，無論自何子午線起算，至回達此子午線之西側時，均遲一日，普通則以 180°

子午線爲國際公用日期變更線 (the international date line), 此線適在太平洋之中央, 通過陸地部分極少, 故在人事上無甚不便。航海者駛過此線時, 由東向西行者, 須略去一日期, 例如十五日通過此線時, 當日即應改爲十六日, 翌日爲十七日, 惟在同一日期內改變稱謂, 殊覺不便, 於是在原來日期終了時, 將應有之十六日略去, 翌日即改稱爲十七日; 自西向東通過此線時, 則重複一日, 即翌日仍稱爲十五日。經此改變後, 在其他各處, 即可無日期不同之爭執矣。

第五節 曆之意義及種類

古稱容成造曆, 大撓作甲子, 我國有曆久矣。西方有曆亦甚早, 蓋以日期之計算, 爲人事所不可少也。曆之意義爲何, 澈底言之, 蓋爲時間之分割, 如何便於民用而已。太陽爲測時之好目標, 由太陽測得之時, 有兩個單元, 小者一日夜, 即太陽兩度在同一子午線之時間, 大者一年, 即太陽在同一子午線上兩次(熱帶範圍內三次)達同一高度之時間, 亦即地球繞太陽一周之時間。所須進行之時間上分割工作, 亦即實際造曆工作, 宜對此兩個時間單元, 雙方並顧, 即在小單元方面, 以須便於人類應用之故, 宜勿使其支離破碎; 在大單元方面, 宜與太陽在各時間應有之高度, 完全相合, 否則因太陽之高度不合, 溫



第 39 圖
國際日期變更線

度及晝夜之長短亦不合，冬行夏令，曆之爲用全失矣。顯此兩個時間單元大者，不適爲小者之完整倍數，就大單元言，曆時凡365.242216日，易言之，即爲小單元之365.242216倍，稱爲一真年或一回歸年(tropical year)，真年者對曆年而言也。曆年日數，由造曆者決定，真年則爲地球繞行太陽一周之真實時間，非我人所得左右。曆年必須遷就真年，二者若能完全相合，則爲一最理想之曆。實際上以大時間單元不適爲小時間單元整倍數之故，顯此失彼，欲相符合甚難，曆之所以未遽確定而經歷次改良者亦卽在此。其種類以所據以爲造曆之對象而分，僅注意太陽之高度而不及其他者，稱爲陽曆；注意太陽之高度，且須兼顧及太陰之盈虧者，稱爲陰曆。陰曆以須並顧太陽及太陰狀況之故，實較陽曆爲難製，內容複雜使然也。古代文化發達之民族，大率有曆，埃及有埃及曆、巴比倫有巴比倫曆、希臘有希臘曆、羅馬有羅馬曆、猶太有猶太曆、回教有回教曆，名目雖多，論其性質，仍不外陰曆陽曆二種，埃及曆及經改訂後之羅馬曆屬於陽曆，餘皆爲陰曆，蓋以月象之盈虧，最足引人注意，故治曆者輒好依據之。此外又有所謂教會曆(ecclesiastical calendar)者，乃基督教會中人所用，其性質屬於陽曆。

第六節 陽 曆

陽曆爲現時世界通行最廣之曆法，其初爲羅馬曆，亦以太陰盈虧一次爲一月。據古史所載，羅謀勒(Rumulus)時代之年，分爲十個月，合得三百零四日。以現時之三月爲首月，稱爲 March，譯言‘戰神月’，其後又增置兩月，卽今之一月及二月，稱爲 January 及 February，

前者意言天之守門，可譯爲‘天門月’，後者意言洗惡，可譯稱‘天赦月’。羅馬帝王，每好於即位時更改年號，即位無定日，年之起始亦不一，至紀元前 222 年左右，始規定以戰神月 (March) 十五日爲帝王就職之常期，是月亦遂爲一年之首月。其後又於紀元前 156 年，改以天門月 (February) 之第一日爲就職常期，自後未有再改，而此月亦遂定爲一年之首月也。當羅馬大將愷撒 (Julius Caesar) 時代，羅馬曆已混亂不堪，乃命天文學家索雪琴 (Sosigenes) 氏改訂之。索氏以埃及通行之一真年所含日數爲本，規定平年爲 365 日，分配於十二個月中，大月三十一日，小月三十日，惟二月爲最少，經羅馬大帝奧古士都 (Augustus) 改訂後，僅有二十八日，乃陽曆中日數最少之一月。現時陽曆中七月，舊名五月 (Quintilis)，以愷撒於曆有功之故，卽以其名名之，自紀元前 44 年起，改稱爲 July。奧古士都大帝，亦欲以其名名一月，乃於紀元前 8 年，改稱舊六月 (Sextilis) 爲 August，此外月名之更改，則無有成功者。按真年一年之日數本爲 365.242216 日，曆年則僅有 365 日，二者相差 0.242216 日，歷四年則曆年已較真年短少達一日左右，索雪琴氏改訂之方法，卽於每四年中置一閏日，加於二月內，使成爲二十九日，以補其不足，陽曆依此法編訂者，通常以愷撒之名名之，稱爲儒略曆 (Julius calendar)。儒略曆一年之時間，以四年置一閏日之故，較真年時間多 $0.250000 - 0.242216 = 0.007784$ 日，積 128 年，卽約有一日左右之差。十六世紀時，曆年與真年，已有十二日左右之大差別，教皇葛勒高萊第十三 (Pope Gregory XIII)，乃重復命人改訂之，其法於每一百年中少置一閏日，卽年數之逢百者，如一百、二百、三百等，以四能除盡之故，在儒略曆中均爲閏年，

葛勒高萊所改訂之曆，以欲略減曆年所有之時間，使愈能接近於真年之故，均不置閏，惟百之能為四除得整數者，如四百、八百、一千二百等，則仍置閏。此曆以經葛勒高萊改訂之故，後遂稱為葛勒高萊曆 (Gregorian calendar)，亦稱新曆 (new style)，舊之儒略曆，則稱舊曆 (old style)。新曆頒布後，義大利、法蘭西、西班牙、葡萄牙、波蘭五國，於 1582 年首先採用，日耳曼聯邦中奉天主教諸邦及荷蘭境內奉耶穌教各地於 1700 年採用，不列顛諸地於 1752 年採用，瑞典於 1753 年採用，日本於 1813 年採用，我國於 1912 年採用，布加利亞於 1915 年採用，土耳其蘇俄於 1917 年採用，南斯拉夫羅馬尼亞於 1919 年採用，希臘沿用較久，於 1923 年始採用。陽曆經如此改訂後，每四百年中共減少三個閏年，即在儒略曆中共應有一百個閏年，今僅有九十七個閏年，總日數亦因之減少三日，共為 $365 \times 400 + 97 = 146,097$ 日，與四百個真年較，雖尚多餘 0.1136 日，然必須歷四千年後，始有一日左右之差別，在短時期內，可不致影響於人事，故為現時最通行之曆。

第七節 陰 曆

陰曆在我國沿用之時期為最長，自上古迄民國建元，共歷三四千年。西方有此曆亦甚早，公元前 433 年，雅典天文學家梅當 (Meton) 氏發明月圓 235 次與 19 個真年相合之原則，雖亦與我國古時所發現者相合，然若論其時期之遲早，與推算之詳簡，則較之我國古曆，仍瞠乎其後矣。我國古曆之作，其詳已不可考，然漢初百年間尚用顓頊曆，漢書律曆志有黃帝、顓頊、夏、殷、周、魯六曆之名，續漢志稱：「民

間亦有黃帝諸曆，不如史官記之明也」。是當時尙未盡失，今則祇存各史志及子書緯書所引零言片語，而開元占經所載積年及章率最重要。然若欲以此等零星材料，謂爲即係古代曆法之真本，則學者已疑之。劉宋祖冲之之云：「古曆之作，皆漢初周末，理不得遠」其說頗爲平允。至於古曆之內容，則六曆有若干相同之點，卽一年之日數爲 $365\frac{1}{4} = 1,461\frac{1}{4}$ ，一月之日數爲 $29\frac{499}{940} = \frac{27,759}{940} = \frac{\text{部日}}{\text{部月}}$ ，一年之月數爲 $12\frac{7}{19} = \frac{235}{19} = \frac{\text{章月}}{\text{章年}}$ ，19年爲一章，而冬至與合朔復齊，故一章有整數之月235；4章爲一部，而冬至及合朔復齊於日首，無小餘，故一部有整日27,759，整月940；20部爲一紀，而冬至及合朔之日名得一回復，如第一次冬至日爲甲子，則在一紀後復得甲子；3紀爲一元，而年名亦一復，此其大要也。古曆之後有三統曆，係漢劉歆所編次，本法實卽武帝時公孫卿、壺遂、司馬遷所提議，而鄧平等所造之太初曆，自武帝太初元年（公元前104年）施行者，其詳見於漢書律曆志，內容有造曆之理論，推步節氣朔望月食（無日食法）及五星等之常數，及推步以上諸事之算法，爲中國史志所傳完整曆法之最早者。就推步氣朔一方面言之，三統曆之要點，可括納於下列數條，而其出發點則在定一月之日數爲二十九日及八十一分日之四十三，其餘似反從此朔實推出，或遷就以得之，所得年月日數關係如下：

$$\text{一月之日數} = 29\frac{43}{81} = \frac{2,392}{81} = \frac{\text{月法}}{\text{日法}}$$

$$\text{一年之月數} = 12\frac{7}{19} = \frac{235}{19} = \frac{\text{章月}}{\text{閏法}}$$

$$\text{一年之日數} = 365 \frac{385}{1,539} = \frac{562,120}{1,539} = \frac{\text{周天}}{\text{統法}}$$

19年爲一章，而冬至合朔復齊，一章有整月235與古曆同。

81章爲一統，共1,539年，而冬至及合朔復齊於日首，無小餘，故一統有整日562,120，整月19,035。

3統爲一元，共4,617年，而冬至及合朔之日名得一回復，蓋一統之日數共562,120，以60除之，餘40，故若以甲子日爲元，則一統後得甲辰，二統後得甲申，三統後始復得甲子，此三統之名所由來也。

三統曆之後有大統曆，自明洪武元年起，至崇禎元年止，歷277年，爲純粹中曆之最後行用者，實即元郭守敬之授時曆而改其名，內容大要如下：

一歲之日數：365.2425(即歲實)；

一月之日數：29.53093(即月策)；

氣應：55.0600(即曆元上距甲日子正之日分數)；

閏應：20.2050(即曆元上距天正經朔之日分數)。

大統曆後，西法東來，清初曆法，本於湯若望之新法曆書，康熙年間，始編爲曆象考成，製爲定式，用西洋之法數，以就舊曆之規模，蓋一中西合璧也。按月圓一次所需之時間，實爲29.5306日，二百三十五月共6,939.69日，十九個真年共6,939.60日，二者相差約二小時左右，與真年之時間極相近，故中外古代天文學者，咸發現235個月與19個真年相當。此235個月分配於19個年中，每年之月數，必有在十二以上者，於是不能不置閏，陰曆以須顧及月象盈虧之故，置閏必以月狀變更一次，即一個月爲單位，十九個曆年中，應共有七個

閏年，即須加置七個閏月，以求合於真年之時數，此種置閏方法，亦遂稱為十九年七閏法，乃陰曆置閏法中之較精密者。陰曆一個月之日數，大月三十日，小月二十九日，與陽曆大小月之日數不同。所以如此支配者，蓋欲使月圓一次與陰曆一個月之時間甚相接近之故，月圓一次所需之時間為 29.5306 日，兩次共 59.0612 日，今以三十日為大月，二十九日為小月，一大一小相間，每兩月合成 59 日，與月圓兩次之時間相近。惟月圓兩度之時間，非適為 59 日，而尚有 0.0612 日之餘數，積三十三個月餘，即有一日之差別，二百三十五個月圓後，共有七日之差別，此係月圓一度之時間，較大於曆年一個月之積數，若不加以改正，則當月圓二百三十五次後，曆年所稱滿月，月象實尚在上弦階段，失陰曆之真義矣。故必須於十九個曆年中，除加七個閏月外，再在大小月份平均支配中特別多安置若干個大月，以分配由一大一小兩個曆月時間小於月圓兩度時間所得之餘數，陰曆一年中大月之數，有時多於小月者以此。

第八節 節 氣

節氣乃表示地球在軌道上運行時所進達之位置，就視太陽言，則為太陽在黃道上之位置。節氣總數凡二十四，以之劃圓周三百六十度，得每一節氣之間隔為赤徑(right ascension)十五度，其相隔日數約十五日。陽曆乃以太陽為依據作成，每一節氣既相隔十五日左右，則用陽曆時節氣所在之日期，每年大略相同，頗便記憶。陰曆因有朔望關係，每月之計算，始於第一次朔而終於第二次朔之前日，歷時凡 29.5306 日，節氣之排列，則以「中」與「中」間所曆之時間為一單元。

所謂「中」者，我國舊曆方面，稱月初之節氣曰節，月中之節氣曰中。中與中間曆時凡 30.58136 日，較朔與朔間長 1.05076 日，故有時朔與朔間不含有中，此月通常作為閏月，無名稱，以前月之名名之，陰曆中此種事實，每二十八個月後即有一次，易言之，即每歷二年零四個月後，須將次月之月份遲延一月，故陰曆中前一年節氣日期，斷無與次一年相符合之理，頗不便於記憶，乃陰曆之一缺點也。我國曆書中二十四節氣，相當於赤經度數及陽曆日期如下：

季節	赤經度	舊曆節中月	陽曆日期
春	立春	正月節	二月四日
	雨水	正月中	二月十九日
	驚蟄	二月節	三月六日
	春分	二月中	三月二十一日
	清明	三月節	四月五日
	穀雨	三月中	四月二十一日
夏	立夏	四月節	五月六日
	小滿	四月中	五月二十二日
	芒種	五月節	六月六日
	夏至	五月中	六月二十二日
	小暑	六月節	七月八日
	大暑	六月中	七月二十三日
秋	立秋	七月節	八月八日
	處暑	七月中	八月二十四日
	白露	八月節	九月八日
	秋分	八月中	九月二十四日
	寒露	九月節	十月九日
	霜降	九月中	十月二十四日

冬	立冬	225°	十月節	十一月八日
	小雪	240°	十月中	十一月二十三日
	大雪	255°	十一月節	十二月八日
	冬至	270°	十一月中	十二月二十三日
	小寒	285°	十二月節	一月七日
	大寒	300°	十二月中	一月二十一日

第九節 擬議中之國際新曆

陽曆經教皇葛勒高萊第十三改訂，成爲新曆後，雖與真年極相近，但對之不滿者仍大有其人，甚至至謂其價值不較儒略曆爲高，則未免偏激過甚矣。美國著名天文學家牛孔勃 (Newcomb) 氏曾提議自第二世紀開始，即 1901 年一月一日起，再返回儒略曆，以未得各國人士贊同而罷，但私人間對於新曆法之擬議，仍陸續有人進行不已。由此種私人間擬議，後遂擴展爲公開討論，1921 年萬國商會開會，始正式發起改曆運動，並決議國際間宜適用一種永久不易且便於記憶之新曆法，同時函請國際聯盟，主持其事，國際聯盟從之，經調查三年之久，於 1927 年邀請各國政府各組本國委員會，徵求本國人民之意見，已組織者共二十五國，所已提出之國際曆草案共有三種，得一般人贊許而有實行之希望者，爲下列一種，其內容係分全年爲十三個月，每月皆爲四星期，合共五十二星期，凡三百六十四日，以十二月二十九日爲新年節日，閏年則以六月二十九日爲閏日，均不計在月及星期之內。此十三個月中之第七月，特稱爲 Sol，即太陽之意，現行陽曆中之第七月，在國際曆中列爲第八月，餘依次順延。此曆以每月成爲四星期之故，歷年各月中之星期日或相同，如本年一

月一日爲星期一，則以後任何年份之一月一日，咸爲星期一，頗便記憶，是爲此曆在人事方面之優點。惟因增加一月之故，驟然改易所引起之困難亦甚多，將來能否推行，須視此等困難，能否克服爲斷，至於天文方面，則可云不成問題。

讀者參考舉要

1. F. R. Moulton: An Introduction to Astronomy.
2. Charise A. Young: General Astronomy, Ginn and Company, New York, 1916.
3. George W. Parker: Elements of Astronomy.
4. D. N. Malik: The Elements of Astronomy, Cambridge University Press, 1921.
5. Encyclopedia Britannica (on calendar):
6. Hugh Godfray: A Treatise on Astronomy.
7. David Todd: A New Astronomy.
8. 盧景貴著: 高等天文學, 中華書局出版。

習 題

1. 平均太陽時 16 小時 15 分 23 秒，相當於恆星時幾何？又恆星時 12 小時 16 分 26 秒，相當於平均太陽時幾何？
2. 重慶在英國倫敦東 109.5° ，當重慶鐘表指示午前六點鐘時，倫敦應爲幾點？幾分？幾秒？
3. 已知日暮所示之時間較鐘表時早 16 分 21 秒，又已知十一月三日（時差爲負 16 分 21 秒）太陽以鐘表時 6 時 57 分升達地面，

求當日太陽降達地面之鐘表時間。

4. 就下列各地之經度，求各地標準時較地方時或遲或早之數：

地 名	經 度	地 名	經 度
南 京	東經 118°46'33"	西 安	東經 108°54'33"
承 德	117°54'00"	鎮 江	119°25'01"
信 寧	117°02'13"	歸 綏	111°33'00"
閩 侯	119°27'13"	舉 蘭	103°52'13"
武 昌	114°11'12"	康 定	102°13'20"
桂 林	110°13'33"	西 寧	101°49'17"
瀋 陽	123°43'13"	布 達 拉	91°33'13"
成 都	104°12'13"	吉 林	126°55'13"
昆 明	102°51'13"	迪 化	88°32'13"
張 北	114°49'00"	扎 什 倫 布	89°08'13"

5. 太陽在十一月三十日上升於鐘表時 6 時 56 分，沒於 4 時 32 分，求當日之時差。

6. 十一月一日之時差為負 16 分鐘，上下午時間之短長差別，應為若干？

7. 設若地球以與現時相反之方向自轉，則恆星時與太陽時之差別應若何？

8. 設若有人於春分或秋分附近，以二日之時間，繞行地球一周，則當自西向東行時，晝夜應各有若干小時？又若自東向西進行，則晝夜又各應有若干小時？

9. 設若我人所用之曆，係以恆星年為標準，則現時之陽曆元旦，應在春分前若干日？

10. 本日爲星期一，歷五年後應爲星期幾？

11. Gregory XIII 於 1582 年改訂陽曆，西班牙、葡萄牙、意大利、法蘭西四國，即於當年採用，德國於 1583 年採用，新教徒於 1750 年採用，瑞典於 1753 年採用，日本於 1873 年採用，我國於 1912 年採用，俄國於 1918 年採用，希臘於 1923 年採用。當各該國採用新曆之時，應各從原用之陽曆舊曆中增加或減少若干日，始符合於回歸年之季節？

12. Gregorian 曆於置閏方面，宜如何改訂，則在十萬年中僅有一日之差誤？

13. 俄國於 1918 年改用新曆，新曆 1900 年二月二十八日，在俄國舊時曆法中應爲幾月幾日？

14. 1880 年之二月份中，共有五個星期日，至何年始再有此事實？

15. 陰曆十九年七閏法中，共應有若干個大月？若干個小月？始能與每月盈虧日期，最相符合。

第八章 月與地球

第一節 月與地球之關係

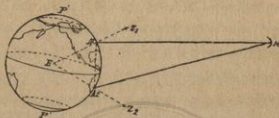
月稱太陰，繞地運行，爲地球之惟一衛星，其與地球之關係，過去如何生成，姑置勿深論，在目前對於地球之重要影響，尙有二端，成爲生活於地球上者所常遇之事實，卽潮汐與日月蝕是也。物體互相吸引時所生之起潮力，與吸引物之質量及被吸引物之半徑相乘所得之積爲正比，而與二物體相距之三次方成反比。月球之質量，雖僅有太陽質量二千七百萬分之一，但以距地僅有 384,412 公里之故，所施於地面之起潮力，反遠較太陽爲大，地球表面之水，受其他天體吸引而發生之潮汐，亦以月之影響爲最大，設無月球之吸引作用，則地面潮汐，將微弱至不足道矣。月球繞地運動，地又繞太陽運動，月以本身無光之故，當月球出入於太陽與地球之間時，或遮礙太陽光線至地球，或其所受太陽光線，爲地球所遮礙，而爲一暗黑之天體，是卽我人在地球上所見之日月蝕，設無月球，則此等現象亦不存在矣。故論月與地球之關係，以此二者爲最重要。其他雖頗易使我人聯想及於月球反射至地球表面之光熱問題，但據天文學家以日地及日月距離相等爲依據，計算月球表面受光之強度，並假想月球表面若爲一純粹反光鏡，則當滿月時地面所受月光強度，亦僅有太陽光十萬

分之一，實際上月球表面非一良好之反光鏡，故其光熱強度，宜遠不足上數。依據蘇耳納（Zöllner）氏估計，滿月時月光照射於地面之強度，約為太陽光熱六十一萬八千分之一。赫胥耳（Sir John Herschel）氏之估計略高，謂有十六萬五千分之一。此係就月光最強時而言，其餘上弦下弦以及新月時之月光當更弱，若就全月平均而論，有人估計其數值約在太陽光熱強度二百五十萬分之一左右，由此得地球一年內所受月球反射來光熱，僅能與十三秒鐘之太陽光熱相當，理論上雖不失為月地關係之一，實際上大可不必注意。月與磁針之偏差，春分點之移動，以及由潮汐而起之地球自轉速度方面變遷，在理論上均有關係，惟均須依賴極精密之儀器，始能測得一二，在尋常討論範圍內，儘可略之。至社會上所傳月與天氣陰晴之變化有關，則由月光之微弱情形，可斷定其為一種迷信，無科學上之價值足言矣。

第二節 月地之距離

月地之距離，可用數種方法測定，最簡便者，為月在兩地之視向法。設在 A_1 及 A_2 兩點同時觀察月距天頂之角度，為便於計算起見，兩地宜在同一子午線上，如此則 Z_1 及 Z_2 為兩地之天頂，在 A_1 處測得月距天頂之角度為 $\angle Z_1 A_1 M$ ， A_2 處為 $\angle Z_2 A_2 M$ ， $E A_1$ 及 $E A_2$ 均為地球之半徑， $E A_1$ 及 $E A_2$ 所夾之角 $A_1 E A_2$ 等於 $A_1 A_2$ 兩地之緯度方面差別。若 A_1 及 A_2 兩地之緯度為已知，則三角形 $A_1 E A_2$ 中三角均為已知，而角 $A_2 A_1 M$ 及 $A_1 A_2 M$ ，亦可由 180° 中減去角 $A_2 A_1 M$ 之兩鄰角 $A_2 A_1 E$ 及 $Z_1 A_1 M$ ，角 $A_1 A_2 M$ 之兩鄰角 $A_1 A_2 E$ 及 $Z_2 A_2 M$ 求得。因 $E A_1$ 及 $E A_2$ 成係地球之半徑，其數值為已知，三角形 $A_1 E A_2$ 中之三角又

早已由 A_1 及 A_2 兩處之緯度推得，故 A_1A_2 之距離亦可決定。就月球與 A_1A_2 兩地所構成之 A_1MA_2 三角形言，一邊 A_1A_2 及兩角 A_2A_1M ，



第40圖 測定月地距離之方法

A_1A_2M 均為已知，此三角形之其餘兩邊 A_1M 及 A_2M ，亦即可求得，而月地之距離定矣。

第三節 月球之軌道及月繞地一周所需之時間

由月球距地有遠近之不同，推知月球繞地之軌道，亦為一橢圓形。自月球中心至地球中心之距離，最小時為 363,305 公里，最大時達 405,523 公里，平均 384,412 公里，橢圓率 0.0549 較地球繞日軌道之橢圓率為大。月球在軌道上之位置，亦因距地遠近不同而有遠近點之稱，最近地球之一點，稱為近地點 (perigee)，最遠地球之一點，稱為遠地點 (apogee)。月球在遠近兩地點時，不特視象顯有大小，光度之強弱亦不同，則以月地之距離本不甚大，而軌道之橢圓率又遠較地球軌道之橢圓率為大故也。

月球之軌道，通常又稱為白道。白道平面與黃道平面，有 $5^{\circ}8'40''$

之夾角，因而月球之位置，有時在黃道平面之上，有時則在黃道平面以下。當月球在軌道上進行時，有二點係同時在黃白二道平面上，與春秋分之同時在黃赤二道平面上相似，稱為月球軌道之節 (nodes of the moon's orbit)，或即簡稱為節。就第四十一圖言， a 及 b 為月球軌道上相對之兩節。月球運行至 c 係逐漸向上提升，過 a 點後，月球運行於黃道平面之上，故稱 a 點為升節 (ascending node)，自 c 至 d ，月球逐漸下降，過 b 點後，月球運行於黃道平面之下，故稱 b 點為降節 (descending node)。升節降節之稱，並非固定不易，而須視月球運行於黃道平面上或平面下為斷。當黃赤道平面交

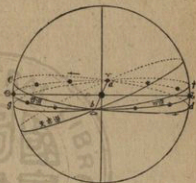


圖 41 圖 月球之軌道

圖 41 圖 月球之軌道

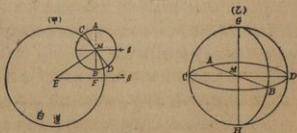
角與黃白二道平面交角相加時，白道之傾角 (declination) 達 $28^{\circ}36'$ ，月球沿 $acbd$ 平面運行， a 即為升節，而 b 為降節；反之，黃赤二道平面交角與黃白二道平面交角相減時，白道之傾角僅有 $18^{\circ}18'$ ，月球沿 $agbf$ 平面運行， a 變為降節而 b 為升節。惟 a b 兩點之位置，仍相距 180° ，而與春秋二分之位置相合。

月於 29.530588 平均太陽日，或 29 日 12 小時 44 分 27 秒後，回復視象一次。實際上月僅需 27.32166 平均太陽日，或 27 日 7 小時 43 分 11.5 秒，即能繞地一周，此週期稱為月之恆星週期 (sidereal period of the moon)。月之所以不能於恆星週期後即回復視象，而須

歷29日餘者，以地球在此恆星週期內，已繞日進行不少，地球以365日餘繞日一周，每日約在軌道上進行一度左右，歷27日餘，共約進行27度左右，此數必須於月球繞地一周後繼續繞行，始能回復原有視象。月球以27日餘繞行地球一周，每日即約在軌道上進行13度左右，地球在軌道上運行之27度，又足供月球二日餘之繞行，故月球回復視象一次所需之時間，非為27日左右而為29日餘也。

第四節 月之視象

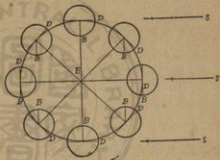
月以本身不能發光之故，我人所見之月，非即為月之全體，而乃其受光部分能反照至地面者，故若能決定其有光而反射於地面部分之大小，則月之視象定矣。設第四十二圖(甲)中 E 為地球之中心， M 為月球之中心， ES 及 MS 為自太陽射至月地兩球之光線，若此祇即為代表包有 EM 及 MS 之一平面，則 $ABCD$ 為依此平面所得之月球切面。 AB 垂直於 MS ，為月球上有光與無光之區分線； CD 與 EM 直交，為月球上能見與不能見部分之區分線；如此，則 BD 為月球上可能見之有光部分，此外雖尚有被日照射部分，但非我人所能見矣。



第42圖 月球視象之構成(甲)及(乙)

將(甲)圖中月球部分，以與視象成直交之圖表示之，則得(乙)圖。圖中符號，完全與(甲)圖相應。在此情形之下， GH 垂直於 CBD 平面， $GBHD$ 即為呈現於觀察者前之有光部分，蛾眉狀之新月成矣。若以 θ 代表 BM 與 DM 所夾之角， r 代表圓盤之半徑，則新月之寬度，等於 $r(1 - \cos\theta)$ 。但 $\theta = 180^\circ - \angle EMS$ ，故月象之大小視 $r(1 + \cos EMS)$ 為漸。當 $\angle EMS$ 為 180° 時，月球適在太陽與地球之間，月象為零，稱為月朔。 $\angle EMS = 90^\circ$ 時，月面光明部分之寬度等於 r ，即月為半圓。 $\angle EMS$ 為零時，月象飽滿，稱為滿月。月在繞地運

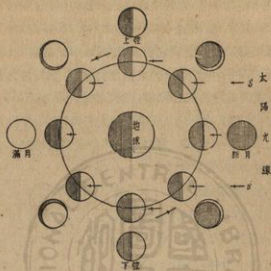
行期中，月象逐漸變更情形，如(丙)(丁)兩圖所示：以上為每歷八分之一月後月象變更之情形，更詳盡之月象，可依據 $\angle BMD$ 或 $\angle EMS$ 推求。 $\angle EMS$ 之大小，視月



第 42 圖 月球視象之構成(丙)

球在軌道上進達之位置而異，月球在軌道上每日移動約 13° 左右，自新月起，所歷之日數為已知，則 $\angle EMS$ 之大小定，而月象定矣。

陽曆日期，雖不與月齡 (moon's age) 相應，但亦有簡法可推知。所謂「月齡」，係指最近一次新月後所經歷之時間，元月一日之月齡，特稱為月應 (epact)。推求月應之法，可以梅當氏週期中金數 (golden number) 為依據，梅當氏在西方發明月圓 235 次與 19 真年相當之原則，已述於前。此原則後被採用，將年數之次序，以金字書於公告碑上，稱為金數。以週期之排列，始於公元前一年，故欲知任何一年



第 42 圖 月球現象之構成(丁)

之金數，其簡法為加一年於公元年數內，而以 19 除之，餘數即為金數。若無餘數，則金數為 19。金數求得後，推求月應之法，將金數減一後以 11 乘之，再以 30 除之，餘數即為月應。其理由為金數為「一」時，乃梅當週期中之第一年，元月一日又為一年之開始，月應宜為零。一真年共為 365.242216 日，月圓十二次則為 $29.5306 \times 12 = 354.3672$ 日，二者相較，真年多 10.875016 日。故當第二年開始時，月應即為 10.875016 日，第三年開始時為 $10.875016 \times 2 = 21.750032$ 日，第四年開始時為 $10.875016 \times 3 = 32.625048$ 日，減去月圓一次時間後，尚餘 3.09448 日，是即第四年之月應，餘類推。其間以曆年中所包日數必須為整日，及月圓一次所需之時間不皆相等之故，自金數中減

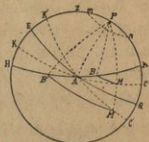
去一後，以約數 11 乘之，30 除之，其餘數即為月應。例如本年為 1940 年，加 1 而以 19 除之，得金數為 3，3 減 1 乘 11，除以 30，尚不足一整數，即全作為餘數，因之得月應為 22，即本年元月一日之月齡，為第二十二日。元月一日之月齡既求得，則其餘一年內各月之月齡，亦可依月圓一次所需之時間與陽曆一個月所包之日數，推求而得矣。

第五節 月逐日上升之時間及所 謂「穫月」「獵月」

月除視象外，每日自地平線上升之時間亦不同，其變化為逐漸移後，原因則由月球在軌道上之移行而起。我人目所見日、月、五星等之繞地運動，係地球自轉之結果，已如在地球自轉運動一節中所述。月在軌道上之運動，係自西向東，與地球自轉方向同。月以 29.530588 日回復視象一次，易言之，即人目所見之月球，於此時間內繞行地球一周。以其繞行之方向與地球自轉方向相同之故，就地球對於月球而言，適減少地球之自轉一次。由此得月球對於地球自轉一次，亦即月球兩度正對同一子午線，或月球兩度自地平線上升所經歷之時間為 $\frac{29.530588}{28.530588}$ 日，與太陽兩度正對同一子午線所經歷之時間，或一太陽日較，多餘 0.0351 日，或 50.5 分鐘，是即月自地平線上升或過同一子午線時間每日移後之數。例如今晚月以六時正升達地面，則明晚須六時五十分半，後晚須七時四十一分，始克升達地面，餘類推。實際上月以距地遠近不固定，運行有快慢不同，及月球之軌道平面與地面所構成之角度時有變遷之故，月出移後之時數，逐日不同，最

大時達一小時十六分，最小時僅有十七分鐘左右，其情形可以圖說明如下：

圖中 HR 為地平線， EQ 為天赤道， KC 及 $K'C'$ 為黃道， P 為天樞， Z 為天頂， m 及 n 為相對於 KC 及 $K'C'$ 之黃道極。月球之軌道，本不與黃道平行，為便於說明起見，假定月球即沿黃道進行。黃道與地平之交角，因我人所見各天體



第 43 圖 月出移後時間多寡不同之原因

似係繞地旋轉之故，常變遷不已，最大時為餘緯 (co-latitude) (天頂與天樞間距離或自 90° 中減去緯度所得之餘數) 加 $23^\circ 28'$ (即黃赤交角)，最小時為餘緯減 $23^\circ 28'$ 。黃道極則以 $23^\circ 28'$ 之角距為半徑，於一晝夜間繞行天樞一周，如圖中所示之 mn 軌道。黃道極與天頂之距離，以在 m 點時為最小， n 點時為最大，因前者為 $Zm = ZP - Pm = \text{co-lat.} - 23^\circ 28'$ ，後者則為 $Zn = \text{co-lat.} + 23^\circ 28'$ 也。由是可知黃道與地平交角，亦必依此同樣限度變化，即當春分點 (或稱白羊宮初點 the first point of aries) 在正東，占有圖中 X 點之位置時為最小，秋分點 (或稱天秤宮初點 the first point of libra) 在正東時為最大，前者黃道平面位於地平及天赤道平面之間，其次序為地平、黃道、天赤道，後者則黃道取得 $K'C'$ 位置，其次序為地平、天赤道、黃道。當滿月發生於秋分附近時，太陽在天秤宮 (libra)，月球位於相反之方向，在白羊宮 (aries)，其運移途徑，係自 A 點升達地面以上，再沿在此時期應與地平構成極小角度之 KC 黃道進行。經地球自轉一周後， A 點仍回復其原有之位置，惟月球在軌道上已移行十三度餘。若在

KC 黃道上截取 AM 段，令其所包角度等於月球在軌道逐日移行之數，則以我人所見月球之移動，須沿 EQ 進行之故，將見月球自 B 點穿出地而上升， BM 弧所包之角度，即為月在秋分左右逐日遲出之時角，依中緯度地帶言，即約十八分鐘左右。此以恆星日為標準之移後時數，若以太陽日為標準，則僅有十四分鐘左右，因太陽在黃道上亦有每日約一度左右之視運動，相當於歷時約四分鐘也。春分附近，黃道取圖中 $K'C'$ 位置，與地平構成一年中最大角度，月球在軌道上經歷同一之逐日移行角度後，我人所見月球之上升，係自 B' 點穿達地面， $B'M'$ 弧仍與 EQ 平行，所包含之角度，則遠較 BM 為大，是即表示月在此時逐日遲出之時間，遠較秋分附近為多，以中緯度為例，並就對於太陽日而言，每日約遲一小時六分鐘左右，是為一年中月出後移最大時期。依理論言，月球每月經行白羊宮及天秤宮各一次，即月出移後時間，每月宜有一極端最小，及極端最大數。實際上月球行經白羊宮或天秤宮，而又適逢滿月，一年中惟春秋二分時為然，故就北半球言，月之逐日上升時間，以在秋分附近時之移後數為最小，春分附近最大，南半球情形與此相反，即在秋分時為最大，春分時為最小，蓋以南北地位相反之故也。西人以秋分附近之滿月，逐日上升時間，無甚後移，得月較早，有月之時間較長，可助農人收穫，特稱為穫月 (harvest moon)，十月為秋分後第一個月，情形雖稍遲於秋分，但當滿月之時，月上升之時間仍甚早，有月之時間亦頗長，特稱之為獵月 (hunter's moon)。穫月獵月與普通滿月之區別，在低緯地帶，因地平與黃道近於垂直相交之故，不甚明顯。兩極圈上，黃道與地平相合， BM 之距離為零，因而無月出移後時數可言，實察上則尚較前一晚

早四分鐘，以太陽在此期間，已有一度左右之視運動也。兩極圈內，地平位於赤道與黃道之間，月出時間，變為逐日提前，與極圈以外地區之情形適相反。

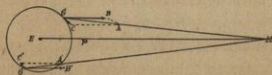
第六節 潮 汐

住居於海濱之人類，能發現海水當無浪之時，猶有定期之上落，此種現象，即所謂潮汐。我國以其發生之時間不同，稱早潮曰潮，晚潮曰汐，總稱曰潮汐。潮汐升達最高點時，稱為高潮(high tide)。由最高點逐漸下降時，稱為干潮或落潮(ebb tide)。落至最低點時，稱為低潮(low tide)。低潮逐漸上升時，稱為滿潮或漲潮(flood tide)。每月朔望附近潮汐之變化，最大時達最高點，低時降至最低點，稱為大潮(spring tide)。一年中約有十二次半月圓，故共有二十五次左右大潮。與大潮情形相反者，在上弦與下弦附近，潮汐之上落，較標準變差為小，稱為小潮(neap tide)。高潮與低潮相去約六小時，例如在午前十時為高潮，則在午後四時左右為低潮，晚十時左右復為高潮，翌晨四時左右再度降為低潮，至翌日午前十一時而完成兩個高低週期，歷時約共二十五小時左右。就日與日之變化言，每歷一日，高潮或低潮出現之時間，約遲五十分鐘，與月出逐日延後之情形相似。

潮汐上落之大小，各處不同，海洋中心部分，高潮與低潮之差別，約僅有一公尺左右，大陸沿海遠過之，尤以海灣之具有漏斗形狀者為甚，美國紐約港口大潮之上落，約在二公尺左右，波斯頓(Boston)三公尺左右，我國錢塘江口，素以潮汐著稱，最高最低之差，達六七公尺，北美洲東岸芬特灣(Bay of Fundy)之潮汐，為世界第一，上落

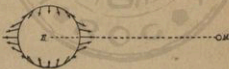
差別，最大達二十公尺以上，即以灣口具有漏斗形狀故也。內陸較大水區，論理亦應有潮汐，實際上遠不能與海洋比，即以世界著稱之大湖密西根 (Lake Michigan) 言，有人在芝加哥 (Chicago) 附近測得其所起之潮汐，不足五公分 (二吋)，地中海 範圍較大，但其潮汐上落差數，亦尚不足半公尺左右，以視外海及大洋邊緣之潮汐，直不可同日而語矣。

潮汐之發生，以與月出之時間相連繫之故，自始即有人疑其與月有重大關係，古代希臘人 羅馬人 及斯堪的那維亞人 (Scandinavians) 曾均作此想，惟無具體解釋。天文家刻卜勒 (Kepler) 氏為確實認識日月與潮汐有關係之最早者，但亦未能進作具體之說明也。伽利略 (Galileo) 氏譏評刻卜勒 氏見解為純憑經驗，而另創立潮汐運動由於地球自轉學說。迨牛頓 (Sir Isaac Newton) 氏之力學行世，解釋潮汐者始得一正確之依據。拉普拉斯 (Laplace)、勒僕克 (Lubbock)、輝偉爾 (Whewell)、換耳萊 (Airy) 及愷爾文 (Lord Kelvin) 諸氏，均曾於潮汐問題有所努力，而以達爾文 (George Darwin) 氏之貢獻為最多。依據諸氏對於潮汐之解釋，潮汐之構成，可以簡單之幾何圖解說明之。設 E 為地球， G 及 G' 為地面上兩點， M 為月球。月球對於地球施行引力，其作用係欲將地上之物質吸起而變更其位置，在地心部分之



第 44 圖 起潮力之分析

力向爲 EM ，直線 EP 之長，係代表吸力之大小， GM 爲月球在 G 點所施吸力之方向， GA 爲其大小， G 點距月較 E 點爲近，所受吸力，宜較 E 點爲大，故直線 GA 之長度大於 EP 。自 G 點分析 GA 爲二個分力，一與 EP 平行而大小相等，即圖中之 GB ，另一即圖中之 GC 。 GB 因與 EP 平行，而又大小相等之故，依據力學原理，宜不能變更 G 與 E 之相互位置，因而能使 G 點物質移動者，惟有 GC 分力，移行之方向及遠近，亦即 GC 線所示。在 G' 地點所受月球之吸引力，以 G' 點距月較 E 爲遠之故，宜較 E 點所受之吸引力爲小， $G'A'$ 之長度，即所以示此力之大小，在圖中爲短於 EP 。依同法，自 G 點分析 $G'A'$ 爲二個分力，一仍與 EP 平行而長度相等，即圖中之 $G'B'$ 。此力之性質，亦以與 EP 平行而大小又相等之故，不能變更 G' 點之物質與 E 之相互位置。另一即圖中之 $G'C'$ ，爲惟一能變更 G' 點物質之位置者，方向及大小亦即 $G'C'$ 線所示。合地球上諸點而觀之，則得下圖：



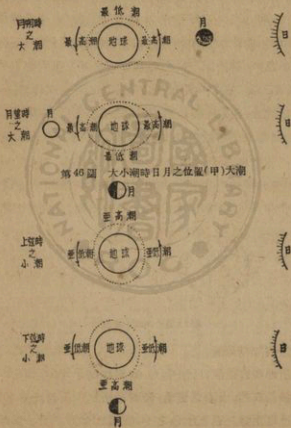
第 45 圖 潮汐之構成

是即起潮之實際情形也。

月以距地較近之故，所施引力，雖爲起潮之主因，但日亦不無推波助瀾之關係在內。太陽之質量，較月球大二千七百萬倍，但月地距離則僅有日地距離三百九十分之一，依據起潮力之大小與距離起潮體遠近之三次方成反比推算，太陽在地面之起潮力，應僅有月球之

$\frac{27 \times 10^6}{(390)^3} = \frac{27 \times 10^6}{59,319 \times 10^6}$ ，即約 0.46 左右，換言之，即月球在地面

之起潮力，大於太陽之起潮力凡 2.2 倍左右。當月朔或月望之時，日月二起潮力，作用於同一直線上，成爲二力相加之局勢，故潮汐特大，



(乙)小潮

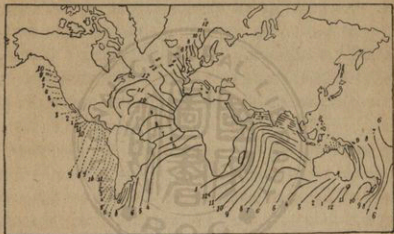
每月二次大潮，即由此構成。反之，當上弦或下弦之時，日月二起潮力，施於相去九十度之地點，以互相牽制之故，所起潮汐較小，成爲一月中之兩次小潮。大小二潮之比，約爲七與三。此項比數係就同一地點而言，若論各地潮汐之大小，則以地形之關係爲最大，海灣之外口寬大而逐漸向內窄狹者，當潮汐來時，大量海水進入窄狹部分以後，以灣小不能容，乃轉而向上隆起，若海灣後部之寬度，僅及前部之半，則海水在後部之厚度，即應較前部大一倍，流速亦應較前部爲大，灣底若再有高低不平，則由急流所起之反動，又足激成高潮，故凡海灣之外口寬大，內部狹長，而底又高低不平者，宜皆爲著名之潮汐區域，北美東海岸之芬特灣、我國之錢塘江口，實際上皆漏斗形海灣也。

潮汐雖與月相伴，但高潮之時間，並不與月過子午線之時間相合。二者之關係，高潮時間，常在月過子午線以後。落後之數，各地不同，與風向風速亦有關。據在英國倫敦橋 (London Bridge) 測得之實數，約爲一小時五十八分。其他各地，若亦能將高潮時間較月過子午線時間落後之數測定，則由月過子午線之時間，即可實行決定潮來時間，於海船進出有重大助益。

潮汐之起伏，實與波浪相似，不過其範圍遠較波浪爲大而已。輝偉爾 (Whewell) 及埃耳萊 (Airy) 二氏，首先依據各地實測所得高潮之時間，作成等潮時線 (co-tidal lines)，如第四十七圖所示。此圖可見全球潮浪移行情形，惜在太平洋部分無紀錄，爲一大缺憾耳。

潮汐有因爲陸地所阻礙，致後潮移疊在前潮之上，結果將每日潮汐之次數，減少一半，東京灣 (Gulf of Tonkin) 墨西哥灣 (Gulf of

Mexico)及亞得利亞海(Adriatic Sea)均有此情事。又有以地形之故而增加潮汐之次數者，自英吉利海峽(English Channel)出發之潮汐，由索倫脫(Solent)及斯畢脫黑特(Spithead)經懷脫島(Isle of Wight)北，構成肇順普敦(Southampton)每日四次潮汐，使該港之價值，增加不少。



第 47 圖 全球等潮時線

第七節 日蝕月蝕

日蝕及月蝕，在昔每多視為極重要之天象方面之變動。西史稱赫狄斯(Medes)與里第恩斯(Lydeans)兩族間之戰鬪，為因公元前 585 年五月二十八日之日全蝕而終止。反之，公元前 431 年八月三日及公元前 310 年八月十五日之兩次日蝕，則又為柏洛模尼西戰事(Peloponnesian war)及阿迦托葛爾(Agathocles)侵入迦太基

(Carthaginians) 非洲領地之始，史學家每以此數次日蝕為分畫斷代史之依據。我國古時，亦以日月蝕為陰陽失調，慮有人事方面之變動發生，史輒大書特書之，迄今仍有以擊響或放爆竹為援救日月被蝕之方法者。實則事極尋常，不特無謂之傳說，在所必除，即對此發生驚異之心理，亦不宜有，蓋其構成之原因，實甚簡單也。

日月蝕之發生，與一能見之物忽變為不能見相同。原為能見之物，忽變為不能見之原因，約有二端：其一，物與觀察者之間，另有一物掩蔽之，使觀察者之視線，不能直達所欲見之物；其二，物本有光，一時忽變為無光，物與觀察者之間，雖無他物阻隔，而觀察者不能見是也。上述二原則，更可以二事例說明之。設我人以手持鏡立燈前，燈於此事例中為發光體，鏡為不透明不發光體，但能反射光線，當我人之目在燈與鏡之間時，將見鏡面光明，似另有一燈，自鏡內發光然。惟若我人之頭部，適在燈光向鏡面進行之線路上，或鏡在人頭之黑影中，則鏡面之光源被遮斷，而鏡即為一無光物體。於此配置後，轉移鏡之位置，使適在人目與燈之連接線上，則因鏡不透明，燈光為鏡所遮斷，燈雖在原位置發光，而我人不能見燈，似燈亦已不存在矣。就日月蝕言之，太陽可視作一發光之燈，月以本身不能發光而能反射日光之故，可視作一鏡，鏡在人頭之黑影中無光，燈為鏡所遮掩則不見燈，日月蝕之發生，亦如是而已。

日月蝕之不足為奇，尚可以一故事證明。當公元 1783 年十月二十一日，法人匹刺脫爾(M. Pilatre)及阿蘭特(Marquis de Arlandes)二氏乘坐輕氣球上升時，在巴黎諾脫爾達姆(Notre Dame)塔上之觀衆，咸譁傳有日蝕。若此衆人所見之太陽下黑影，非輕氣球而為一

天體，則真成一日蝕矣。

日月蝕就原理言之，可稱為天體相互遮掩。天空中衆星運行，相互遮掩之事甚多，就我人居住於地球上言之，在地影長度內之天體，惟有月球，月蝕自當無相同事實；日蝕則內行星中水金二星之「下合日」，行星居太陽與地球之間，與月球遮掩日光，構成日蝕時情形完全相似，是亦日蝕而已。惟水金二星距地較遠，視象太小，在太陽下通過時，僅有一極細黑點，通常每不注意及之，故日月蝕以日、月、地三天體為討論之對象。

日蝕：日蝕之成立，必先具有下列二條件：

(一)月必須在日地之間；

(二)月必須在或甚近軌道上之「節」(參閱本章第三節)。

基於上列第一條件，日蝕僅能發生於朔，因不在此時，月不適在日地之間，無從遮蔽地面所受之日光也。「節」為黃道平面及白道平面之交點，亦即一點在兩平面上，除「節」以外，尋常朔日，月球在黃道平面以上，或在黃道平面以下運行，日光仍可沿黃道平面，直達地球，故必須月球在「節」附近時，既與太陽及地球列成一線，又在或近於在一平面上，始實行將太陽光遮斷，而成為日蝕現象。若黃道與白道同在一平面上，則固無所謂「節」，而日蝕亦將每逢朔日必有矣。

日蝕發生時之現象共有三種：偏蝕(partial eclipse)、全蝕(total eclipse)與金環蝕(annular eclipse)是也。太陽面部，僅有一部被月球掩蔽不見，稱為偏蝕；全部不見時，稱為全蝕；中心不見，四週仍有光芒外出，如一在燈光下之金剛石指環然，稱為金環蝕。三者之發生，偏蝕因觀察者之地位，不適在日月二球之中心連接線上，故當全蝕或

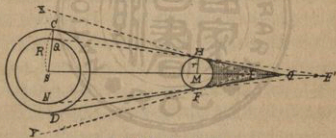
金環蝕發生前後，常伴以偏蝕；全蝕與金環蝕時，觀察者之地位，均適在日、月二球之中心連接線上，或即在其附近，惟前者月影已達地



第 48 圖 日蝕蝕及金環蝕

面，觀察者自影中望日，故見太陽全部皆黑；後者月影尚未着地，月之視直徑，小於日球，致不能將日球光輝全部掩蔽，因以構成金環蝕現象。

月影有着地與否問題，由於月影本身之長短不定，及月有近地遠地點而起，月影之長短，可自日月距離及日月半徑之比求得。設 S



第 49 圖 月影與日蝕

爲日球之中心， M 爲月球之中心， R 爲日球之半徑， r 爲月球之半徑， O 爲月影之頂點。因 $\triangle OSC$ 與 $\triangle OMH$ 相似，得：

$$\frac{OS}{OM} = \frac{R}{r} \text{ 或 } \frac{OM + SM}{OM} = \frac{R}{r}$$

以 d 代 SM ，得：

$$OM = \frac{rd}{R - r}$$

上式中 OM 即所欲求之月影長短， R 及 r 均為已知之常數， d 之數值不定，約在地球直徑之 11,717 與 11,713 倍之間，由此推得 OM 之數值最大為地球直徑之 28.94 倍，最小為 28.93 倍，月地距離方面之變化，最大時為地球直徑之 31 倍，最小時 28 倍。以與月影之長度比，最小時不足月影之長度，最大時則超過之。不足時地球之位置，係在第四十九圖中之 E 點，居留於 E 點之人，以日光完全不能照達，故見日全蝕；超過時地球之位置，係在第四十九圖中之 E' 點，居留於 E' 點之人，以月球所掩者為日球直徑中 N 至 Q 一段，故見金環蝕。金環蝕以地球之位置，須在月影以外之故，宜發生於月在遠地點，全蝕則月宜在近地點。

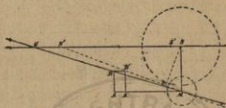
偏蝕與全蝕之構成，以及偏蝕部分之大小，除觀察者之位置問題外，其源於日蝕之本身者，可由月朔時月球離「節」之遠近決定。月朔時月正在「節」，而月影又能着地，則在地面之人，可見日全蝕；月



第 50 圖 日全蝕及日環蝕之構成

不在「節」，但尚在可能發生日蝕之範圍以內，則在地面之人，僅能見日偏蝕。偏蝕部分之大小，以及偏蝕部分之位置，即以月在可能發生日蝕範圍以內之深度，及在「節」上「節」下之位置定之。所謂「蝕之極限 (eclipse limit)」，就日蝕言，可以日月二球之視直徑及其相對運動推求得之。設 S 為日球之中心， M 為月球之中心， SN 為黃道， MN 為白道。當日月二球在同一經線上出發時，月球沿 MN 線進行，日

球之視運動，係沿 SN 線進行。就二者之相互運動言，月球之運動，可分為二部：一與 NS 線平行，即第五十一圖中之 MA ；另一垂直於 NS 直線，即第五十一圖中之 MS 。假定日球每日運動 SS' 距離，月球



第 51 圖 月球與視太陽之相對運動

移動 MB 距離，則在此 M 至 B 距離中，與 NS 同向之距離即 MA ，與 MS 同向之距離為 BA ，但日球之視位置，在此時間內亦移行 SS' 距離，其方向與 MA 同，故若假定日球為不動，則月球在 NS 方向之移行距離，亦宜減去 SS' ，第五十一圖中 AA' 或 BB' 之長度，等於 SS' ，由此得月球對於日球在 NS 方向之實際移行距離，非 MA 而為 MA' ，併合 MS 向之運動距離 $B'A'$ ，得直線 $MB'N'$ ，是為月球相對於日球之移行方向。由 S 點對 $MB'N'$ 線作一垂直線，與 $MB'N'$ 線相交於 P ，由其距離之長短，即可斷定日蝕之能否發生，因 P 與 S 兩點間距離，乃兩球中心間之最短距離也。命 $\angle AMB = \theta$ ， $\angle A'MB' = \theta'$ ，則 θ 與 θ' 之值，可自下列公式求得：

$$\cot \theta = \frac{AM}{AB},$$

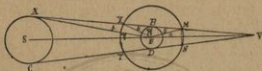
$$\cos \theta' = \frac{AM - SS'}{AB} = \frac{A'M}{A'B'}.$$

更進而得：

$$SP = MS \cos MSP = MS \cos \theta'.$$

若 $MS \cos \theta'$ 之值，大於日月交會區寬度之半與月球視半徑之和，則無日蝕；反之，有日蝕。

月繞地球運動，自 X 點（第五十二圖）起，即開始與日交會，換言之，即日、月、地三球開始列成一線，月居日地之間，能遮掩日光之一



第 52 圖 日月交會區及地影

部，至月球運行達 Y 點止，故自 X 至 Y 可稱為日月之交會區，即月球在軌道上運行時可能遮掩地面所受日光之範圍也。其寬度不難求得，就第五十二圖言，命

$$b = \text{日球之地平視差,}$$

$$= \angle EAX;$$

$$b' = \text{月球之地平視差} = \angle EXB \text{ 或 } \angle EMB;$$

$$r = \text{日球在 } E \text{ 點之視半徑} = \angle SEA;$$

則 $b' = b + \angle AEX,$

$$\angle AEX = b' - b.$$

日月交會區之折半寬度，即為：

$$\angle SEX = r + b' - b = \angle SEA + \angle AEX.$$

日月之視差及日球之視半徑平均，以角度言， b 為 $8''$ ， b' 為 $57'$ ， r 為 $16'$ （平均數）。代入後，得 $\angle SEX$ 之值為 $72'52''$ ，與月球之視半徑約 $15'$ （平均數）相加，得日月交會區寬度之半與月球視半徑之和約 $88'$ 。上述 $MS \cos \theta'$ 之值，若小於此數，即有日蝕；小於 $r + b' - b - m$ （月

球之視半徑)或 $58'$, 則有日全蝕, 在 $88'$ 與 $58'$ 之間時為偏蝕。

日蝕之發生, 就月與「節」之關係言, 不必發生於月適在「節」, 離「節」若干距離之處亦可發生。其距「節」點之遠近, 有一定限度, 是即通常所稱之「日蝕極限(solar ecliptic limit)」, 月球進達此限度內時有日蝕, 否則無日蝕。其範圍於已知日月交會區寬度與月球視半徑之和後, 即可決定, 因如第五十三

圖所示, N 為月球軌道上之「節」, MO 為日月交會區寬度之半與月球視半徑之和 既為已知, 則黃白二道夾角又為已知(約 5°), 極易由此二已知數以推求可能發生日



第 53 圖 日蝕之極限

蝕之極限 NO 弧也。以日月二球之視差及半徑常有之變動, 又黃白二道之夾角非一常數之故, 日蝕極限之距「節」度數, 亦有種種, 最大時達 $18\frac{1}{2}^\circ$, 最小時 $15\frac{1}{2}^\circ$, 前者稱為寬限 (major limit), 後者稱為緊限 (minor limit)。月球達緊限內時, 必有日蝕, 在寬限內時, 日蝕可發生, 可不發生。

一年中可能發生之日蝕, 最少必在二次以上, 其故可以日蝕極限及日與「節」之相互運動說明之。日球在黃道之上視運動, 歷 365.25 日左右而一周, 同時「節」有倒退運動, 每歷 $18\frac{1}{2}$ 年亦完成一周, 二者每日平均移行度數, 日球為 $\frac{360^\circ}{365.25}$, 「節」為 $\frac{360^\circ}{18\frac{1}{2} \times 365.25}$, 故就二者復合一次而言, 其所歷時間 (T) 應為:

$$\frac{360^\circ}{365.25} + \frac{360^\circ}{18\frac{1}{2} \times 365.25} = \frac{360^\circ}{T}$$

即約 346.62 日左右，易言之，即日球之位置，於經歷 346.62 日後，離「節」凡 360° 。月球之運動，每歷 29.5 日左右合朔一次，日球於經歷此期間後，距「節」即應有：
$$\frac{360^\circ \times 29.5}{346.62} = 30^\circ 38' = 30\frac{1}{2}^\circ$$
 左右。「節」

有二，相去凡 180° ，日球既於 346.62 日後離「節」 360° ，則自第一「節」點出發後，歷 173 日餘，即應與第二「節」點相遇。設日球以二月或二月以後自「節」出發，其時正為月朔，則當時即有一日蝕。至第六個月朔時，以共須經歷 $6 \times 29.5 = 177$ 日之故，日球已通過「節」點凡四日，距「節」約 4° 左右，惟猶在日蝕緊限之內，當有日蝕發生。自此再經歷 177 日，日球已二次通過第一「節」點凡八日，即已距「節」達 8° 左右，雖猶在日蝕緊限之內，必能發生日蝕，但為時已在第二年度，故就同一年度之日蝕論，至少僅有二個。設若我人計算日蝕，以自月望之發生在日球通過「節」點前二日起，則當日球通過「節」點時，月

望前之新月，距「節」應為 $\frac{29.5 \text{ 日}}{2} \times \frac{360^\circ}{346.62} - 2 \text{ 日} \times \frac{360^\circ}{346.62}$ ，或 $13^\circ 15'$ 左右，月望後之新月，距「節」應為 $\frac{29.5 \text{ 日}}{2} \times \frac{360^\circ}{346.62} + 2 \text{ 日} \times \frac{360^\circ}{346.62}$ ，或 $17^\circ 24'$ 左右，前者在日蝕之緊限以內，必有日蝕，後者

在日蝕之寬限以內，亦可發生日蝕，總數遂有二個。迨日球達第二「節」點時，第六個月望尚未發生，相差為二日，在月望前之新月，距「節」為 $\frac{29.5 \text{ 日}}{2} \times \frac{360^\circ}{346.62} + 2 \text{ 日} \times \frac{360^\circ}{346.62}$ 或 $17^\circ 24'$ 左右，月

望後之新月，距「節」為 $\frac{29.5 \text{ 日}}{2} \times \frac{360^\circ}{346.62} - 2 \text{ 日} \times \frac{360^\circ}{346.62}$ 或

13°15' 左右，咸能發生日蝕。自此至日球回復在第一「節」點，共為 173 日，距第十二次月望之發生，尚有六日，在月望後之新月，以距「節」過遠，已不能發生日蝕，月望前之新月，則距「節」極近，日蝕為不可免，故論一年中之日蝕，最多可發生五次。

日蝕之發生，一年中最多雖可有五次，但若就同一地點論，則為數殊少，其故由於月影在地面之範圍甚小，直徑約僅有 150 公里左右，且不常在一地，一地之人所得見者，仍僅為總數十百分之一耳。以全蝕論，平均約 350 年可在同地點見一次，古稱「日月之蝕，人皆見之」，此在月蝕為可信，日蝕則殊不然。

日蝕與月蝕之發生次數，在某一定時期中，咸有一定。古代迦耳底人 (Chaldeans) 曾以薩羅斯 (Saros) 週期法，推定日月蝕之來復，蓋月球朔望一次所歷時間為 29.53 日，日球兩度在同一「節」點所歷時間為 346.62 日，二者之相互關係為：

$$\begin{aligned} \text{日球 19 次回復至同一「節」點所歷時間} \\ = 19 \times 346.62 \text{ 日} = 6,585 \text{ 日;} \end{aligned}$$

$$\text{月圓 223 次所歷時間} = 223 \times 29.53 \text{ 日} = 6,585 \text{ 日。}$$

由此可知「節」點與月圓經歷 6,585 日，或 18 年 11 日（若在此 18 年中有 5 個閏年則為 18 年 10 日）而再完全相合，此後日月蝕之排列，自當為前一期情形之復演，迦耳底人 即以此法預測未來日月蝕，亦頗正確可靠。

日蝕中以全蝕時之日光被掩蔽為最甚，由於月球自西向東進行之故，日面光輝，常開始自西部不見，漸次及於全部，白晝昏暗，有時須藉燈光，乃能作字，其黑暗可知。歷時以月影在地寬度，通常不過

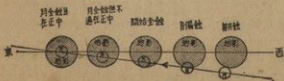
150 公里之故，概甚短促，其數可自月影在地寬度，月繞地速度及地球自轉速度決定。月繞地與地球自轉之方向相同，在熱帶範圍內，地球自轉之速度較大，幾可抵消月繞地速度之半，但月影在地表之移行速度，至少仍在每小時 1,500 公里以上，砲彈飛過，實尚不足以喻之。以如此絕大速度，僅有 150 公里之寬度，故經歷之時間極短，全蝕最多不足八分鐘，少僅二三分鐘而已。過去統計所得，全蝕時間，平均約在三四分鐘左右，達五分鐘者已不多，極端長時間日蝕，必須月在近地點，時在年度中心，地在熱帶範圍內，始能一見之。據預測 1955 年在菲律賓羣島中之呂宋 (Luzon) 島，及 1973 年在非洲撒哈拉 (Sahara) 中部能見及之全蝕，歷時均達五分鐘左右，將為千年難得一見之長時間日蝕。

月蝕：月蝕之成立，亦必須先具有二條件：

- (一) 地球必須在日月之間；
- (二) 月球必須在或甚近「節」點。

依據上列二條件，月蝕僅能發生於望，而望不必皆有月蝕，因黃白二道之間，尚有 5° 左右之交角也。

月蝕時地球影錐之直徑，常遠較月球為大，不能構成環蝕，但亦有全蝕與偏蝕之分，其成因可以第五十四圖說明之：



第 54 圖 月偏蝕及全蝕

月蝕爲一普遍現象，在月蝕時間內，凡能見月之地，咸能見月蝕，與日蝕之限於局部地區能見者不同，每次月蝕所經歷之時間，以地影寬度大於月球直徑之故，遠較日蝕之時間爲長，其確數可自月地距離及地影之長度求得。設 ϕ'' 爲地球影錐所夾之半角，(參閱第五十二圖) E 爲地球之中心， V 爲地球影錐之尖端， R 爲地球之半徑，則依圖之計算法，得：

$$\frac{\phi''}{206,265''} = \frac{R}{EV}$$

$$\therefore EV = \frac{206,265'' R}{\phi''} = \frac{206,265''}{r'' - b''}$$

上式中 206,265 爲弧長與半徑相等時所包之秒數， r 之值約爲 $16'$ ，即約 $960''$ ， b 約爲 $8''$ ， R 約爲 6,367 公里，以此等實數代入後，得：

$$EV = \frac{206,265 \times 6,367}{960 - 8} = 1,379,600 \text{ (公里)}$$

月地平均距離約爲 384,440 公里，月球經行處之地影寬度，宜爲：

$$1,379,600 : 6,367 \times 2 :: (1,379,600 - 384,440) : x$$

x 爲所欲求之地影寬度，依據上式，其實數約爲 9,185 公里，月球之直徑約爲 3,476 公里，其在軌道上運行速度，平均約爲每小時 3,555 公里，以此速度通過地影，若自月球初入地影計算至月球完全脫離地影，則所需時間宜爲： $\frac{9,185 + 3,476}{3,555}$ ，即約 3.6 小時左右；反之，若以月

球完全在地影內作標準，則所需時間，宜爲： $\frac{9,185 - 3,476}{3,555}$ ，即約 1.6

小時左右，是即初蝕至復圓及月全蝕所應經歷之時間。

月蝕亦可不必完全發生於在「節」時，在「節」附近亦能發生，惟其範圍較日蝕為小，以地影寬度（即第五十二圖中 MN 弧）較月球能掩蔽日光之範圍（即第五十二圖中 XY 弧）為小也。實際數值，視日月視差及半徑之大小而有不同，又白道傾角之大小，亦足影響一二。合諸變數言之，當月在近地點，地在遠日點，白道之傾角又適為最小時，最易發生月蝕，月蝕極限 (lunar ecliptic limit)，可擴展至離「節」 $12^{\circ}5'$ 處，是謂寬限 (major ecliptic limit)；反之，月在遠地點，地在近日點，白道之傾角又適為最大時，月蝕之極限為最小，離「節」約僅有 $9^{\circ}30'$ 左右，是謂緊限 (minor ecliptic limit)。月望時月球之位置，若已在月蝕之緊限以內，必有月蝕；在寬限內時，可發生月蝕，亦可不發生月蝕。

月蝕可能發生之極限，離「節」既僅有 $9^{\circ}30'$ 至 $12^{\circ}5'$ 左右，自「節」分向兩旁合計之，其最大範圍，亦不克超過 $24^{\circ}10'$ ，以日球在黃道上之視運動，每日約移行 1° 左右計，歷時僅需 19 至 24 日左右，較月圓一次所需之時間為短。設若第一次月望發生於「節」前十五日，即離「節」約有 15° 左右，則以月圓一次須歷 29.5 日之故，第二次月望宜發生於「節」後 14.5 日，即離「節」約有 14.5° 左右，二者均在月蝕之寬限以外，宜均不能發生月蝕，在此「節」點附近，遂無一次月蝕可言。日球在黃道上之視運動，自第一節點移行至第二節點，歷時約 173 日左右，月圓六次共須歷時約 177 日左右，二者相差四日，第七次月望宜發生於日球未達節點前 11 日，即離節約有 11° 左右，雖在月蝕之寬限以內，但尚未入緊限範圍，仍可發生月蝕；第八次月望宜發生於日球過節點後 19 日，即離節已達 19° 左右，在月蝕之寬限

範圍以外，絕不能發生月蝕。但若日球第一次在第一節點附近時，係在一月份以後，則當第十三次月望發生，為時已在第二年度，故論一年中之月蝕次數，最少為零。自相反之情形言之，設若月望發生於年度之初，離節又在 4° 左右，則當時即有一月蝕，歷 177 日後，月望正在第二節點，再發生一次月蝕；迨歷 354 日後，月望之發生，雖已在日球回復至第一節點後四日，即已離節約有 4° 左右，但仍在月蝕之緊限以內，當能發生月蝕，所經歷之總日數，自第一次月望至此，亦尙在一年之總數以內，故論一年中之月蝕，最多可有三次，即在每一節點附近有一次是也。

一年中可能發生之日月蝕次數，合併言之，最少不能低於二次，全數為日蝕；最多不能過七次，其中五次為日蝕，兩次為月蝕，或四次為日蝕，三次為月蝕。因節有倒退運動之故，在完成一倒退週期間，即 18 年 11 日或 18 年 10 日（依在此期間共應有四個或五個閏年決定）間，共應發生日月蝕七十次，其中四十一一次係日蝕，餘二十九次為月蝕。歷年之日月蝕次數雖有不同，但在此週期中二者之總數成不變。

讀者參考舉要

1. F. R. Moulton: An introduction to Astronomy.
2. George W. Parker: Elements on Astronomy.
3. D. N. Malik: The Elements of Astronomy.
4. Hugh Godfray: A Treatise on Astronomy.
5. David Todd: A New Astronomy.
6. 張雲著. 高等天文學, 商務印書館發行.
7. 盧景貴著. 高等天文學, 中華書局出版.

習 題

1. 繪月之每三日視象圖。
2. 說明月象所以成爲十九年一大週期(即所謂梅當週期)之原因。
3. 設若月球繞地之速度不變,方向變爲自東向西,則月圓一次所需之時間,應爲幾何?
4. 設若月以三十日繞地一週,則月圓一次需若干日?
5. 已知月圓一次所歷之時間爲 29.5306 日,求月繞地一週所需之時間。
6. 設若月以四十五日繞地一週,地以三十六小時自轉一週,求月每日遲出之時間。
7. 太陽之質量爲月球之 26,500,000 倍,日地距離爲月地距離之 390 倍,求日月在地面起潮力之比。
8. 月地之平均距離爲 384,412 公里,月之平均視直徑爲 $31'$, 求月球之直徑。
9. 月球之最大視直徑爲 $33'30''$, 最小 $29'21''$, 求月球距地最遠與最近之比,及其軌道之偏心率。
10. 由日月之直徑及日月之距離,推求月在近地點及遠地點時月影之長及可能發生之最長日蝕時間。
11. 當月蝕發生時,被蝕部分係自東邊開始?抑自西邊開始?又當日蝕發生時,黑影在太陽上之位置,係自西向東?抑自東向西進行?試各繪圖說明之。

12. 月於 29.5306 日復圓一次，月球軌道上之節 (nodes) 於 346.62 日移行一週，試據此解釋日月蝕應於 18 年 10 日或 11 日後成一循環週期之原因。

13. 月蝕何以無金環蝕？

14. 設若本年八月有月蝕，明年六月或十月能再發生月蝕否？試解答之。



第九章

地球上位置方向面積之決定

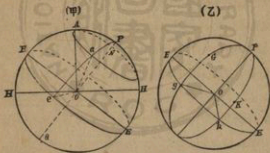
第一節 概論

幾何學上說明一點在空間之位置，以軸系定之，地理上位置之決定，亦有軸系，此軸系即經緯線，經線猶之縱軸，緯線猶之橫軸，一地在經緯線方面之位置定，則其在地球上之位置亦即確定矣。

地球以有自轉運動之故，我人所見日、月、衆星，常有繞地運動，繞地運動之速度，實即直在其下地面之自轉速度，由此推得在天空中某一不轉動點下之地面，其自轉速度亦必爲零，凡物體旋轉，以在其轉軸上之速度爲最小，則自天空中某一不轉動點下之地面，直穿地球中心，以達對方之另一自轉速度最小點，必即爲地球之轉軸，通常稱爲地軸 (earth axis)，地軸實無是軸，乃連繫地面上兩自轉速度最小點並通過地心所得之理想上一直線也。地軸與地面相遇處稱爲極 (poles)，極即地面自轉速度最小處，在南者稱南極 (South Pole)，在北者稱北極 (North Pole)，與地軸平行，作包有地軸之理想平面，此平面與地面相交處成爲一大圓圈，是即據以爲地理上縱軸之經線圈。上述包有地軸之平面，可因方向不同，增作至無數，因而經線圈亦可增至無數，惟其大小相同，且皆通過兩極，即所稱大圓圈 (great

circles) 者是也。又以在同一經線圈上，一方爲正午，另一方爲子夜之故，經過觀測者所在地之一經線亦稱爲子午線 (meridians)。平分地軸，作一與地軸成直角相交之理想平面，此平面與地面相切處亦成爲一大圓圈，是卽赤道 (equator)。在地軸上若任意多作若干與赤道面平行而與地軸成直角相交之平面，則由此等平面與地面相切時所成之圓圈亦不一而足，是卽地理上所據以爲橫軸之緯線圈。緯線圈皆相互平行，故亦稱爲平行線圈 (parallels)。惟其大小不相等，在兩極爲一點，漸向中部漸大，赤道乃緯線圈中之最大而居中者也。經線平面既皆包有地軸而與地軸平行，緯線平面則又皆垂直於地軸，故經緯線皆成直角相交，自赤道至兩極，在經線圈上，各占圓周四分之一，以角度言，各爲九十度 (90°)。若取此四分之一經線圈，分割爲九十等分，則每等分適占一度，是卽緯度 (latitude)。每一緯度更可區分爲若干度之小數，如分 (minutes) 秒 (seconds) 等，視所需要而定，故所謂緯度者，乃地面在經線圈上之距離也。緯線圈亦可區劃爲若干等分，若爲三百六十，則每一等分適爲一度。度更區分之，則亦爲分爲秒，統稱爲經度 (longitude)，故所謂經度者，乃地面在緯線圈上之距離也。自兩極向赤道進行，將見直在兩極上方之星辰，其高出地面之角度，逐漸變小，實際上構成之角度，卽爲當地之緯度，故德文稱緯度爲極高 (polhöhe)，意卽極星高出地面之角度也。達赤道時爲零，赤道乃自然成爲緯之起點。經度則不然，各經線成爲大圓圈，無一定之起點可言，爲避免無所適從起見，各國乃共同議定以英國倫敦格林威治 (Greenwich) 天文台所在地之子午線爲計算經度之起點，各國雖有另用其國都所在地爲經度之起點者，如法國用巴黎，義

大利用羅馬，德國用弗羅 (Ferro)，我國昔曾採用北平等是，但在國際通用上仍以格林威治子午線為最普通，此線亦遂稱為本初子午線 (prime meridian) 地點之在本初子午線以西者稱西經若干度、分、秒；以東者稱東經若干度、分、秒，而於 180° 處相會。故就經度排列之順序言，最多為一百八十，即一百八十個子午線平面也。所謂東經西經，不過在同一子午線圈上相對立之各半而已。緯度既以赤道為起點，在赤道以南者因稱南緯，以北者稱北緯，為數各九十，以圖示之，在第五十五圖 (甲) 中， P 及 Q 為地球之兩極，直線 POQ 為地軸， EeE 為赤道， O 為地心， A 為地面上某一點， PAE 為 A 處之子午線， Pae 為 a 處之子午線。若通過 A 點，作一與赤道平行之平面，則與

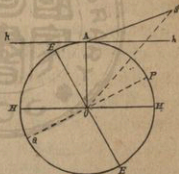


第 55 圖 經緯度

地面相切處構成一較赤道為小之 Aa 圓圈，是即 A 處緯度圈， a 若為 Aa 緯度圈上之一點，則角 eOa 即 a 地點之緯度，此角與角 EOA 等，故凡在同一緯度圈上之地點，其緯度成相等。就 (乙) 圖言， G 示 Greenwich， K 為地面上某一地點，角 GPK 即為 K 地點之經度，經度有東西之分，圖中之 P 若為北極，則此經度即為東經，因 K 在 G

之東也。PG及PK兩子午線平面與赤道平面相交時，成直線gO及kO，其夾角gOk與GPK完全相同，故在地球上一切經度，不問其緯度如何，咸可歸納在赤道上計算。

經緯度外，有所謂高度者，其涵義可自兩方面言之：其一以角度計算，可稱為高度角或角高度(altitude)；另一以離地之垂直距離計算，可即稱為高度(elevation)，地面以海平面為標準，故此高度，實即所謂海拔也。離地實際高度之測算，後將專論及之。高度角之意義，在測量上可定為某點在地平線(horizon)上之角高度。以圖示之(五十六圖)，設PQ為地軸，EE為赤道，O為地心，A為地面上某一點，hh為A處之地平，HH為通過地心而與hh平行之直線，S為空中某一點，若S點即在此紙之平面上，則角hAS為S點之高度角，此角可用傾角儀(clinometer)約略測定，欲求精密，則宜用六分儀(sextant)或經緯儀(theodolite)。在天文學上，一切高度角計算，皆以地心為起點，就此處所舉之例言，若S為天空中之一星，則此星在A地點之高度角，依天文方面計算言，宜為HOS而非hAS。凡星皆距離地球甚遠，以地球半徑與星及地距離比，其數值之渺小，直可置之在不足注意之列，惟為欲得精密結果計，宜就在地面所測得之高度角，加以訂正，是即所謂視差訂正(parallax correction)。此訂正常為一加數，因在地心



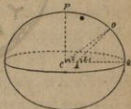
第56圖 高度角

文方面計算言，宜為HOS而非hAS。凡星皆距離地球甚遠，以地球半徑與星及地距離比，其數值之渺小，直可置之在不足注意之列，惟為欲得精密結果計，宜就在地面所測得之高度角，加以訂正，是即所謂視差訂正(parallax correction)。此訂正常為一加數，因在地心

所測得之星辰高度，必較在地面所測得者為大，就上圖言， hh 與 HH 二線間既有 AO 距離，則 $\angle HOS$ 自必較 $\angle hAS$ 為大也。

第二節 緯度之測定

緯度共有三種：其一，以自觀察者在地面上之一點至地球中心所連成之直線，與在赤道平面上地球半徑所夾之角計算，稱為地心緯度 (geocentric latitude)；其二，以北極(在南半球用南極)之高度，或自觀測者所在地之天頂，向下引一直線，與赤道平面相交之角計算，稱為天文緯度 (astronomical latitude)；其三，為天文緯度之經有地理方面訂正者，稱為地理緯度 (geographical latitude) 或大地緯度 (geodetic latitude)。蓋天文緯度之測定，以鉛直線 (plumb line) 之方向為依據，各地鉛直線之方向，每因地內物質之過重或過輕，及受鄰近山岳之影響而有反常情形，此不能不加以訂正者也。以圖示之，設 C 為地球中心， O 為觀測者所在之地面上一點， P 為北極或南極， Q 為赤道上一點，則 OC 與 QC 二線所夾之角 L 為地心緯度， OA 與 QA 二線所夾之角 L_1 為天文緯度， A 稱為天底 (nadir) 與直在 O 上之天頂 X 相對。若 L_1 角之測定，已經有



第 57 圖

地心緯度及天文緯度

地理方面訂正，或在 O 處之鉛直線，以無特殊地質及山嶺之影響，不必加以訂正，則 L_1 即為地理緯度。地心緯度與天文緯度之差別，在兩極及赤道上為零，南北緯四十五度處最大，約達十一分 ($11'$) 左右，天文緯度與地理緯度之差別，則最大不過圓弧之數秒而已。我人目

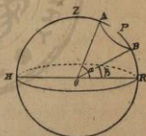
不能窺見地球中心，恆依賴天空中一點，以決定垂直於地面之方向，即所謂鉛直線方向，地球非正圓形，此垂直於地面之線，除正在兩極及赤道外，必不能通過地球中心，故我人在實際上初步測得之緯度，皆天文緯度也。地球非正圓形，已為衆所深悉，依據所測得之天文緯度，加以推求，則地心緯度亦可獲得，故通常言測緯度之方法，咸以天文為依據。

天文上測定緯度之方法，不一而足，較簡便者如下：

拱極星過子午圈法 設 X (第五十八圖) 為天頂， P 為北極或南極， HR 為地平面， α 為某恆星上經過子午圈 A 點時構成之高度角， β 為某恆星下經過子午圈 B 點時所構成之高度角，則

$$PR = \frac{1}{2}(AR + BR) \quad \text{或} \quad \text{緯度} = \frac{1}{2}(\alpha + \beta).$$

此法無須先知恆星赤緯 (declination)，是其優點。至於某恆星過子午圈之時間，可自航海通書或天文年曆中查得，無甚困難，惟所選之恆星，宜擇較明亮而離極不過遠者，在北極附近，北極星即可為一觀測緯度之好目標。

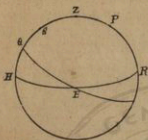


第 58 圖 拱極星過子午圈法

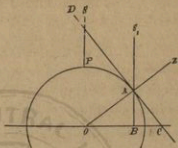
太陽或其他星辰過子午線時高度

法 設 S (第五十九圖) 為太陽或某一星長過子午線時之位置， Z 為天頂， P 為北極或南極， HR 為地平面， QE 為赤道， α 為測得之太陽或某星長高度， δ 為太陽或某一星長之赤緯， z 為太陽或某一星長距天頂之角度，即 $z = 90^\circ - \alpha$ 。如此則 $ZQ = ZS + SQ$ ，或緯度 $= z + \delta$ ，

δ 可在航海通書或天文年曆中查得，故若能將太陽或某一星長過子午線時之高度測定，則其地之緯度定矣。



第59圖 子午圈高度法



第60圖 北極星與緯度

星體單高法 此法以利用北極星為最便，設 A (第六十圖) 為地面上一點， O 為地心， Z 為 A 處之天頂， CAD 為 A 處地平線， P 為北極， SP 及 S_1A 均為北極星光射來之方向，因北極星距地極遠之故， SP 可視作平行於 S_1A 。在此圖中， $\angle DAS_1 = \angle CAB = \angle MOB = h$ ，故在北半球範圍內，一地之緯度，可以北極星高出於地平線之角度為代表，惟北極星不適在北極之上空，其確實位置，目前離極尚達一度以上，此數必須加以訂正，否則所測之緯度，即嫌錯誤過大，訂正之公式若命此訂正數為 x ，北極星距極偏度為 p ，則

$$x = p \cos \theta + \frac{1}{2} p^2 \sin 1'' \times \sin^2 \theta \tan h.$$

式中 p 以度數之秒計， θ 為時角，其公式為： $\theta = t - a$ ， t 代表時間， a 則星之赤經(right ascension)也。當北極星通過子午線時，時角為零，訂正數 x 之全部即等於北極星距離北極之度數。故若以此法測緯度，

最好宜在北極星過子午線時舉行。

天頂距差法 選擇天頂附近南北二星，設其赤緯為 δ_1 及 δ_2 ，天頂距離為 z_1 及 z_2 ，則依據子午線高度法中所得公式，所欲求之緯度 (ϕ) 為：

$$\phi = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2) \pm \frac{1}{2}(z_1 - z_2).$$

式中關於後一項 \pm 所宜用之 \pm 符號，視星體在天頂之南或北而定，就北半球言，在南時為 $+$ ，在北時為 $-$ 。依此測緯度， z 之個別數值可不計，祇須求得二數之差別足矣。在實際觀測方面，因之可省却不少執行手續與錯誤。至於 z_1 與 z_2 之差，則可用特製之天頂儀 (zenith telescope) 求得。此法稱赫爾波及泰耳可 (Horrebow-Talcott) 法，為測緯度中之最精密者，讀數可達 $0''.10$ ，換言之，即在地球表面上苟有三公尺以上之南北距離方面差別，即足影響及之。

第三節 經度之測定

地球以自轉運動，逐漸將地面上各點，轉向天空中不移動之星辰，或就吾人居住在地面，不覺地球之轉動言，天空中日月、衆星，繼續繞地球旋轉不已，歷二十四小時而一周，故其旋轉速度為每小時平均 $\frac{360^\circ}{24} = 15^\circ$ ，是為時間與地球自轉角度之關係。地球既自轉不已，則在同一時間，東西兩地點所對同一星辰之位置必不同，時間中有所謂地方時者，其正午以星辰適在當地之子午線上為依據，故若依地方時言，則兩地點若不在同一子午線上，其時間必有差別；反之，若已知兩處地方時之差別，則依時間與地球自轉角度之關係，兩地

點在經度方面之差別，亦可推得，現時用以測定經度之原則，蓋不外乎此。惟方法亦有多種，茲述其通行者如下：

計時器搬運法 設 E 及 W 為東西兩站，先定 E 站地方時對標準時之訂正數，再定計時器搬運至 W 站後之訂正數，兩訂正數之差，即兩站之經度差。命 ΔT_e 為當表面 T 時對 E 處地方時之差； δT 為每 24 個表面時之鐘表快慢不準率，過快宜減，過慢宜加； ΔT_w 為當表面仍為 T 時對 W 處地方時之差； L 為兩地經度差；則當表面 T 時 E 處之地方時為 $T + \Delta T_e$ ， W 處之地方時為 $T + \Delta T_w$ ，若搬運須時 S 日，則經搬運後，表面時之錯誤為 $\delta T \cdot S$ ，由此得兩地經度差為： $L = (T + \Delta T_w) - (T + \Delta T_e + \delta T \cdot S)$ ，即 $L = \Delta T_w - (\Delta T_e + \delta T \cdot S)$ 。舉例明之，設 E 站測得表面時較地方時快 12 分 15 秒，將此表搬運至 W 站後，快 15 分 10 秒，表之準確率為每日快 5 秒，搬運時間共歷 2 日，求兩站經度差。依據公式，得： $L = 15$ 分 10 秒 $- 12$ 分 15 秒 $- 2 \times 5$ 秒 $= 2$ 分 45 秒；再依據時間與地球自轉角度之關係轉變後，得 $41' 15''$ ，是即兩站之經度差。若 E 站所用之表面時為本初子午線區內之標準時，則 E 站之經度為西經 $3^\circ 3' 45''$ ， W 站之經度為 $3^\circ 45'$ ，否則須另加 E 站表面時與本初子午線區內標準時之差別，方可得以本初子午線為依據之 W 站經度。如 E 站之表面時為自本初子午線向西第二個標準時區內之標準時，則 E 站之經度為西經 $18^\circ 3' 45''$ ， W 站之經度為西經 $18^\circ 45'$ ，餘類推。為欲核對計時器之準確程度起見，觀測者在可能範圍內，宜設法將計時器攜回所從出發之站，並重定其與地方平均時之差，若此計時器之快慢一致，則將兩次結果平均之，即能消除所有錯誤。概括言之，此法不若電信法之精密，然若能用數個計時

器，並來回觀測多次，其結果亦可令人滿意，現時航海、探險、測量諸方面，頗多用之。

電信法 設 E 及 W 為東西兩站，於二站各置一表，先自 E 站發電信至 W ，而記其時之表面時刻，再自 W 站發電信至 E 站，亦記其時之表面時，表差則應於事前測定。令：

T_e 及 ΔT_e 為 E 站發電時之表面時及表差；

T_w 及 ΔT_w 為 W 站接電時之表面時及表差；

T'_w 及 $\Delta T'_w$ 為 W 站發電時之表面時及表差；

T'_e 及 $\Delta T'_e$ 為 E 站接電時之表面時及表差；

U 為電傳所需之時間；

L 為兩站之經度差。

則：
$$L - U = (T_e + \Delta T_e) - (T_w + \Delta T_w) = \lambda_e;$$

$$L + U = (T'_e + \Delta T'_e) - (T'_w + \Delta T'_w) = \lambda_w.$$

由是得：
$$L = \frac{1}{2}(\lambda_w + \lambda_e);$$

$$U = \frac{1}{2}(\lambda_w - \lambda_e).$$

若僅由一方發電，他方接電，則於應用上式推求 L 時， U 含有一量，此量之大小，雖可由每秒電行里數求得，但須先知兩站間之距離，實不若兩站交互發信之便利。

自無線電發明以來，電信法在測定經度方面之應用，愈為普遍，蓋自無線電之用途推廣後，各地廣播無線電台，咸有按照一定時刻之授時廣播，依據此等廣播，極易求得各地時間方面差別，此外復因

欲在各地詳測經度之故，更有特別無線電播時站，以其所測得之精確時刻，每日按時播出，我人只須將當地之精確時刻測定，並另備無線電收音機一具，即可求得當地之經度。

天象法 天象法之原理，與在兩地施放信號，以測時間方面差別而定經度同，惟信號可能見及之範圍甚小，此則範圍廣大耳。天象之可以為測時信號用者，有下列數種：(1)月蝕之初虧或復圓 月蝕可能見及之範圍甚大，其初虧或復圓之標準時間，可自天文曆書中查得，由兩地所見初虧或復圓時間之不同，即可求得兩地之經度差。惟地影之邊緣與月相切處，不甚明晰，故以月蝕為信號所測得之經度，往往不甚精密。(2)月掩星 月掩某一星長之時間，在各天文曆書中有表可查，由各地所見同一星辰被掩之時間不同，即可求得各地之經度方面差別。(3)木星之衛星被掩或經木星面 一般天文曆書中多有木星之衛星被掩或經木星之標準時間，故若能測得此現象發生之本地時刻，即可求得本地之經度。此現象及上列第二現象，為各種天象中之較適宜於測經度者，因星辰被掩與否，極易窺出，可利用之以測得正確時間也。

第四節 地平方向之測定

一切地平方向，咸以正南北向為依據，正南北方向定，其他即可隨之而定矣。測定正南北向之方法甚多，其中手續簡便者，結果咸不甚精密，但頗適於野外旅行之用，亦自有其存在之價值。如欲得精確之方向，宜依天文方法測定。茲各述數則如下：

以磁針測南北 磁針一端向南，一端向北，數千年前，我國卽利

用之以測定南北方向，今仍為舉世通行之測定方向儀器。惟磁針所指之南北，實不甚可靠，其偏度常因時因地而異，在美國紐約之磁針指向偏東，舊金山偏西，法國巴黎於1580年測得磁針指向為偏東 $9\frac{1}{2}^\circ$ ，1810年時變為偏西 $22\frac{1}{2}^\circ$ ，數千里間，數百年內，指向不一致如此，故於使用磁針測定方向時，切不可忽略當時當地之磁差訂正。又磁針極易受鐵之影響而改變其指向，觀測時宜勿與鐵相近，甚至觀測者隨身所攜之小刀鑰匙等，亦宜悉數取出，收儲他處，否則所測結果，即完全不可靠矣。

以表面時針測南北 當晝間有太陽時，取表一隻，平置手中，以時針對太陽，作一線平分時針與表面正午十二時間所夾之角，此線即所欲求之正南北線。



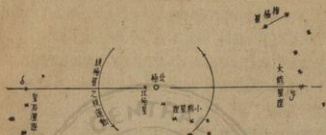
第 61 圖 以時針測南北

以北極星測南北 晝間於欲測定方向之地區內，預立一標識，此標識在晚間須能點燈，或有其他發光設備，以便觀測。

迨太陽已西下，可能見及北極星時，以經緯儀之望遠鏡，對準晝間所作之標識，令其方位角盤上所指示之角度為零。次乃移轉望遠鏡頭，以直指北極星為度，而讀其在方位角盤上所示之偏角，此角測定後，為避免晚間工作不便起見，可暫停止進行。次日，連接在地面上建設之標識及曾安置經緯儀之觀測點作一直線，再依據所測得之偏角，作一與前一直線成相等偏角之直線。若北極星之位置，適在北極之上空，則此直線即為欲求之正南北線。實際上北極星亦為繞極星之一，其偏離北極之數，最大時可達 $1^\circ 40'$ 以上（天文年曆中有詳表），

因之我人所欲測之正南北向，錯誤如不能過大，宜依據北極星之偏差，加以改正，或利用最適當之時間觀測之。

繞極星分佈在北極附近情形，略如下圖所示：



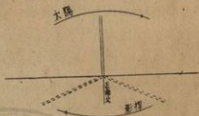
第62圖 北極附近之繞極星

由上圖可知當皇后星座在右，大熊星座在左時，北極星係偏在北極之西側。若皇后星座之 δ 與大熊星座之 γ 成垂直方向時，則北極星正在北極之上方，或正在北極之下方，均無地平方面偏差，而為以北極星測定方向之絕好時間。

以太陽或星辰之同一高度測南北 將經緯儀安置在水平狀態後，對準地面某一定點，讀取其方位角，俟太陽或所欲測之星長自地平東升，達適當高度後，測其高度及方位角，嗣即暫停觀測，直至太陽或所欲測之星長，已過子午線西下，達與首次所測相近高度時，不變更經緯儀上望遠鏡頭所指之高度，而僅轉動地平方向以對之，至太陽或所欲測之星長，在望遠鏡頭中之位置與前次適相合時，再讀取其方位角，最後就兩次所讀得之方位角平均之，則構成平均方位角之直線，即所欲求之正南北線。例如由測候站觀測某一定點之方位角為 $217^{\circ}23'25''$ ，第一次由觀測太陽或星長所得之方位角為 $69^{\circ}48'30''$ ，

第二次觀測太陽或星辰在同一高度時之方位角為 $162^{\circ}9'52''$ ，第一二兩次平均方位角為 $115^{\circ}59'11''$ ，則通過 $115^{\circ}59'11''$ 方位角之直線，即所求之正南北線。此線就開始觀測時之某一定點言，其偏角為 $217^{\circ}23'25'' - 115^{\circ}59'11'' = 101^{\circ}24'14''$ 。

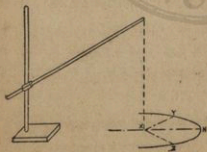
與上述原理相同，而方法略異者，為以日影測南北。於平



第63圖 以日影測南北(甲)

坦之地面上，立一長桿，桿須垂直，以地方時為標準，擇兩個距午相等之時間，如上午九時及下午三時，或上午十時及下午二時，各測桿影之方向及長度一次，則如第六十三圖(甲)所示，平分兩次桿影間所夾角度之直線，即為正南北線。

或如第六十三圖(乙)所示，於室內近窗之桌上立一桿，桿上再橫裝一桿，其方向為近於正南北。橫桿之一端，以線懸掛一重錘，錘之下端，適與桌上之紙面相接觸，此懸掛重錘之線，實際上即構成一鉛

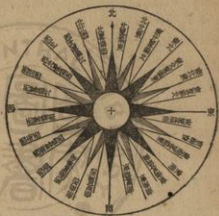


第63圖 (乙)

直線。迨距午約半小時左右，量取此懸掛重錘之直線在紙上所投影之長度，即以影長為半徑，重錘下端接觸紙面處為圓心，用圓規作一弧，線影之長度，初為逐漸縮小，繼復逐漸增長，於影長將復達圓弧時，宜充分小心注視，以決定影端

適在圓弧上之一點，如此則影之一端共有二次在圓弧上，其一為依據影長作圓弧時之 Y 點，其二即影端再與圓弧接觸時之 Z 點，連接圓弧中心 X 及 Y, Z 二點，作 XY 及 XZ 二直線，則平分二線夾角之直線 XN ，即為所欲求之正南北線。

上述各種測定正南北方法，論簡便以磁針為最，論精密以北極星中天（即北極星正在北極之上方或下方）法為最。實際上若能以北極星為標準，而再依據天文曆書中所示，加以偏差訂正，其錯誤亦可在不足注意之列矣。即以磁針測南北，若有磁差訂正表，亦可供通常應用，惟尚須視觀測者之手段如何耳。



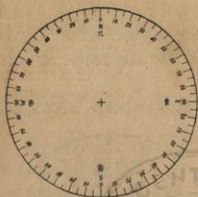
第64圖 海員羅盤針上之方向

方向決定後命名之方法，共有三種：一為海員所用之羅盤針命名法，分圓盤為東、南、西、北四個基本方向，再析為八向、十六向、以至三十二向，其位置及名稱，如第六十四圖所示。

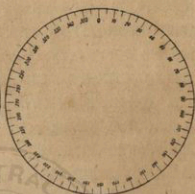
二為測量人員命名法，以角度為單位，分圓為四等分，每等分各得九十度，如第六十五圖所示。

三為方位角命名法，即自正北起，依鐘表面之時針轉向，順次以圓周角表示，正北為零，正東為 90° ，正南為 180° ，正西為 270° ，其餘方向，亦咸以角度表示，如第六十六圖所示。





第55圖 測量人員羅盤針命名法



第56圖 方位角命名法

三種命名法雖名稱不同，而內容則一，故可相互對照通用，惟若方向分至極多時，海員命名法有難於覺得適當名稱以形容之苦耳，茲舉例以示三種命名法之對照如下：

海員法	測量人員法	方位角法
北北東(NNE)	北偏東 $22\frac{1}{2}^{\circ}$ ($N22\frac{1}{2}^{\circ}E$)	$22\frac{1}{2}^{\circ}$
東南略偏南(SE by S)	南偏東 $33\frac{3}{4}^{\circ}$ ($S33\frac{3}{4}^{\circ}E$)	$146\frac{3}{4}^{\circ}$
西南西(WSW)	南偏西($S67\frac{1}{2}^{\circ}W$)	$247\frac{1}{2}^{\circ}$
西北(NW)	北偏西($N45^{\circ}W$)	315°

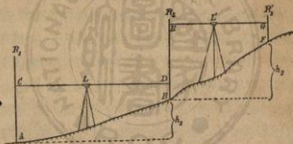
第五節 高度之測定

一地拔出海平面之高度，可以直接或間接方法求得。直接法用尺測量，所欲求之高度，直接可自尺上讀得；間接法所測得者為某一與高度有關之要素，由此要素之變化，依據其變化定則，間接以推得所欲求之高度。兩法之優劣，直接法以用量尺直接測定之故，結果宜

較爲可靠，惟若所欲測之高度甚大，則以須步步測量之故，費時甚多，又若在人類不能從容工作之高空中，此法更無從執行，此直接測定之弊也。間接法可一次迅速測定數千百公尺之高度方面差別，惟其所依據者全爲高度與某一要素變化之關係，自測得其變化以至運用原則推算，其間可能發生之錯誤，甚多且甚大，故結果往往不甚精密，在一千公尺高度中，三五公尺之錯誤，直尋常事耳。欲得精確高度者，所宜注意焉！

直接法所需用之儀器爲能窺測在同一水平面與否之水準儀及標尺數枝，經緯儀之構造，包有地平高度角盤，故其作用能代表水準儀，惟在無經緯儀或不願攜帶經緯儀時始專用水準儀耳。測量時先擇一已知高度之點爲基點，儀器即安置於此基點上，在儀器前後高度不同處各立一標尺，尺須垂直，然後自水準儀之望遠鏡中望前後二標尺，各讀其在鏡中十字線上所標示之數字，二數之差，即爲前後二標尺所在地點之高度差，此一範圍內之高度測定後，將儀器向前移動，標尺中原在較低一點者亦向高處移動，直至其所在地點更高於儀器之新位置爲止。儀器在此時，係位於原在高處之一標尺與移置在更高處後一標尺之間，仍依前法自儀器之望遠鏡中窺測兩標尺所表示之數字，二數之差，爲原在高處一標尺與移置更高處後一標尺間之高度差。如此逐段舉行，將各段間之高度差相加後，即得所欲測量一地區內之總高度差。以圖(第六十七圖)示之， L 爲儀器， R_1 及 R_2 爲二標尺， AC 爲在低處標尺上所示之高度， BD 爲在高處標尺上所示之高度，則 $AC - BD = h_1$ ， h_1 即爲 A, B 兩地點之高度差。同樣 $BE - FG = h_2$ ， h_2 爲 B, F 間之高度差。 h_1 與 h_2 相加後，即得自

A 至 F 間之總高度差，普通高度之計算，咸以平均海面為標準，所謂平均海面 (mean sea level) 者，乃一地海水表面上落之長期平均，而非互全地球皆一致之平均數值也。就美洲大陸而言，東岸大西洋與西岸太平洋之平均水面，即顯有高下，又紅海與地中海之水面，亦高下不同，即以英國一國而論，沿海岸各處水面高下之差別，最甚時達二尺左右，故於應用平均海面為計算高度之標準時，最好宜並註明為何處之平均海面，庶應用此數者能藉以推得確實高度。英國地圖中所註之高度，通常以利物浦 (Liverpool) 為標準，我國所據以為高度標準之海面，中部有吳淞口，北方有大沽口及秦皇島平均海面，用



第 67 圖 直接測定高度法

時宜加以註明者也。在上述測定高度例中，若 A 點之高度，與某一處之平均海面相等，則 F 點高出於 A 點之數，即為 F 點之拔海高度。反之，若 A 點已在某一處之平均海面以上，其確數為已知，則須於求得 F 點與 A 點之高度差後，加入 A 點高出某處平均海面之數，乃能得 F 點之拔海高度。為覆核起見，自 A 向上逐步測量，達最高點後，宜循他途逐步向下測量，若工作完全無誤，則返測達 A 點時，高度差仍為零，否則即有錯誤，亦應用此法測定高度時所宜注意者也。

間接法所測某一與高度有關之要素，通常為氣壓或水之沸點溫度，前者用氣壓表(barometer)測定，後者用沸點溫度計(hypsometer)測定。沸點溫度之高下，與大氣界之壓力相關連，測得沸點溫度後，可依沸點溫度之高下求得氣壓，再依氣壓推求高度，方法雖不同，內容則二而一也。

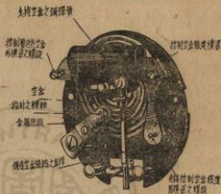
氣壓表共有二類：一為液體氣壓表，所用之液體，以水銀為最普遍，此類氣壓表亦遂稱為水銀氣壓表(mercury barometer)；另一類為固體氣壓表，通常稱為空盒氣壓表(aneroid barometer)。二者之優劣，水銀氣壓表所測之氣壓較精密，但極不便於攜帶，空盒氣壓表之體積，最小者其圓面直徑僅有一二寸與懷表相似，可任意納諸衣袋中，極便於攜帶，其弊在不甚精密，與水銀氣壓表較，相去遠甚，惟以在攜帶方面有絕大便利之故，現時供旅行測高之用者，仍以空盒氣壓表為最普遍。

空盒氣壓表中有所謂高度計或高度表(altimeter)者，其內容與尋常空盒氣壓表相同。惟將氣壓單位變為高度單位，能在盒面上直接讀得高度耳。一切空盒氣壓表之構造，其主要部分成為一空盒，此空盒支持在一鋼質彈片上，俾能常保持某一定狀態，惟當氣壓發生變化時，則以空盒幾於完全無空氣之故，不能抵抗外間壓力，



第 68 圖 空盒氣壓表或高度表
(甲)外形

氣壓增大時，空盒即略被壓縮，反之，則稍膨脹，由此等脹縮，經數個槓杆作用，最後傳達於指針，以示氣壓之高下。按金屬之彈力，歷久則將逐漸喪失，故空盒氣壓表以新者為較靈敏。又當讀取氣壓或高度時，宜以手指輕擊盒面數次，以免各槓杆間受摩擦作用而指針有不能充分移動之弊。



第68圖 (乙) 內部

已測得兩地之氣壓差別後，除高度表直接有高度差別表示外，普通即依氣壓差別，應用法國數學家拉普拉斯(Laplace)氏所作之公式推求，拉氏公式如下：

$$Z = K(1 + \alpha \bar{v}) \left(\frac{1}{1 - 0.378 \frac{e}{b}} \right) \left(1 + \frac{g_0 - g_1}{g_0} \right) \left(1 + \frac{h + h_0}{R} \right) \log \frac{p_0}{p}$$

若當地之地心吸力(g_1)為一未知數，則上式可改書為：

$$Z = K(1 + \alpha \bar{v}) \left(\frac{1}{1 - 0.378 \frac{e}{b}} \right) \left(1 + k \cos 2\phi - k' \cos^2 2\phi + C \right) \left(1 + \frac{h + h_0}{R} \right) \log \frac{p_0}{p}$$

式中所用符號，

h 為上測候站之高度，

h_0 為下測候站之高度，

Z 爲所用求之高度，

p 爲上測候站之氣壓，

p_0 爲下測候站之氣壓，

θ 爲上下兩測候站間之平均氣溫，

α 爲空氣膨脹係數，

e 爲上下兩測候站間之平均水氣壓力，

b 爲上下兩測候站間之平均氣壓，

ϕ 爲測候站所在地之緯度，

K 爲氣壓常數，

R 爲地球之平均半徑，

k 及 k' 爲基於地球形狀所得之二常數，

C 爲一常數，其值爲 $\frac{g_{45^\circ} - g_0}{g_0}$ 之比數，

g_0 爲標準地心吸力，其值爲 980.665 力單位，

g_1 爲當地之地心吸力。

上式雖甚複雜，但其中主要部分爲 $K \log \frac{p_0}{p}$ 一段， p_0 及 p 之實數爲

已知，即可依據 K 之實數，求得 Z 之近似值。 p_0 之數值在海平面上，通常假定爲 760mm.，已有人假定各種 p 之數值，計算得 Z 與 p 之相應數值表，在流行之氣象常用表中極易查得，如此則得兩地點之氣壓差別後，可不勞計算而得兩地高度差別之近似值矣。惟空氣之性質，熱脹冷縮，在同一質量之氣柱中，溫度高時，較溫度低時爲長，上述氣壓與高度相應表，係假定空氣在某一標準溫度時算得，此標準溫度，通常採用攝氏零度 (0°C .)，氣溫不在攝氏零度而在零度以上時，

則因空氣膨脹之故，須在自表上查得之高度差別中加入若干，以符合實際高度，反之在零度以下時，宜減去若干，所加所減之數，卽式中 $(1 + \alpha^g)$ 一項，在流行之氣象常用表中，有已算得之表可查，無須實際運算。又因空氣中所含之水氣，其質量較乾空氣爲輕，在某一定量之空氣柱中，若有水氣摻入，則其長度須較乾空氣爲大，氣壓與高度表之構成，並未顯慮及水氣之關係在內，故若空氣中雜有水氣，卽宜自氣壓與高度表中所查得之數，加以訂正，卽是式中 $\left(\frac{1}{1 - 0.378 \frac{e}{b}}\right)$

一項，其實數亦可自氣象常用表中查得。以上溫度與水氣兩項訂正，爲依據氣壓差別求得高度差別後之主要訂正，以溫度言，若較標準溫度高或低攝氏五度，則在一千公尺之高度中，須加或減十八公尺，十度須加或減三十七公尺，二十度須加或減七十三公尺，可見此項訂正數之大。關於水氣訂正一項，若空氣中含有水氣約百分之一，則在一千公尺高度中，須增加四公尺；百分之二時，卽須增加八公尺左右，爲數亦尙可觀。併合二者計算，若空氣之溫度既高，而所含之水氣又豐富，則由氣壓差別直接推求得之高度差別，若不經過溫度及水氣兩項訂正，其可靠程度，僅達百分之九十五左右，換言之，即在一千公尺高度中，約有五十公尺之錯誤，故凡應用氣壓原理以測定兩地之高度差者，宜不可忽略氣溫與水氣兩項訂正，否則其價值微矣。溫度及水氣以外各項訂正，在拉氏公式中，雖亦曾詳列，但爲數甚微，在一千公尺高度中，總共不過一二公尺，尙不足抵當空盒氣壓表方面之錯誤，逕置之不問可也。

上述依據氣壓測算高度方法之實際應用，可舉一例明之。設在

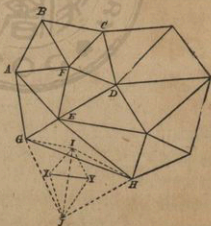
低處測得氣壓爲760mm., 氣溫 25°C ., 水氣壓力17.5mm., 高處氣壓650mm., 氣溫 15°C ., 水氣壓力10.2mm., 求兩處之高度方面差別. 依據美國斯密桑寧研究所 (Smithsonian Institution) 出版之氣象常用表 (meteorological tables) 查得650mm. 等壓面之近似高度爲1,249公尺. 因高低兩處間之平均氣溫爲 $\frac{25+15}{2} = 20(^{\circ}\text{C}.)$, 較標準溫度爲高之故, 須有溫度訂正, 依據同表查得訂正數爲114公尺, 宜加入於高度近似值中. 又因含有平均水氣壓力 $\frac{17.5+10.2}{2} = 13.85(\text{mm}.)$ 之故, 須有水氣壓力訂正, 仍依同表查得訂正數爲9公尺, 宜加入於高度近似值中. 略去其訂正數不計, 得總高度爲 $1,249 + 114 + 9 = 1,372$ 公尺, 是爲高低兩處之高度方面真實差別. 若低處與平均海面等高, 則高處之拔海高度, 卽爲1,372公尺. 在拔海千餘公尺高度中, 溫度及水氣方面訂正數, 共占百餘公尺, 亦可見此二項訂正數之重要矣.

第六節 距離及面積之測定

地表距離及面積之測定, 方法不一, 其詳屬於測量範圍, 測量學 (surveying) 中所當敘述者也. 在諸種測量距離及面積等方法中, 迴轉測量 (traversing surveying) 及鍊尺測量 (chain surveying), 皆以量取距離爲全部工作中最主要部分, 地面以有高低不平之故. 欲得精確之地平距離, 實較得一精確之角度爲難; 又因量取距離時所用之器械爲量尺, 量尺係用金屬製成, 熱脹冷縮, 結果影響及於所量距離之大小. 即使此種脹縮, 爲數甚微, 可列在不足注意之列, 而當以尺量取距離時, 尺與尺間, 未必能十分嚙接, 若每尺有些微錯誤, 則

經測量一較大距離後，爲數卽屬可觀，故以上述二法測量距離及面積，其缺點卽爲不精密，尤以範圍較大時爲甚。平板儀 (plane-table) 及指南針測量，除一基線外，可不必量取距離，惟所測得之方位角，以此二儀器構造簡單之故，實不甚精確，經數度轉變方向後，錯誤往往甚大，因之欲測大規模地區之距離及面積，宜另求不完全以測定距離爲依據，而能得精確角度之方法，是卽現今所通行之三角測量法 (triangulation surveys)。

三角測量法中，最重要者爲基線 (base line)，其長度不拘，但須以極可靠之尺，極完善之方法，精確測定後，卽以基線爲三角形之一邊，在基線之一端，以經緯儀對準某一目的物，測定其與基線所構成之方位角，再在基線之另一端，以經緯儀測定同一目的物對於基線所成之方位角，如此得一以基線及某一目的物爲依據之三角形。此三角形中一邊以基線構成，其長度爲已知，兩角又經測定，故此三角形之三邊及面積均可推知。舉一例明之，設第六十九圖中 $ABCDE$ 爲一多邊形地區，各個尖角，咸與中心站 F 相連，其中 D 及 E 兩角，又爲其他二多邊形之中心站。以不易覓得平坦地區或有其他地形方面不便之故，基線遠設在 XY 之位置。依



第 69 圖 三角測量法

據三角測量方法，先就基線並擇定 I 及 J 二目標，構成 XIY 及 XJY 兩個三角形，第一步測定 $\triangle XIY$ 及 $\triangle XJY$ 中除 XY 一邊外各邊之長度，以定 IJ 之長度；第二步以 IJ 為基線，測定 $\triangle IJH$ 及 $\triangle IJG$ 中除 IJ 一邊外其他各邊之長度，以定 GH 之長度，依同法逐漸向多邊形 $ABCDE$ 推進，最後則此多邊形中所有三角形之邊長，亦或能推得矣。

應用三角測量法時所測之範圍，既往往甚大，因之有若干錯誤，不能不注意：其一，地為球形，範圍擴大後，弧面即漸明顯，在同一廣袤範圍內，直線距離，較弧線距離為短，平面面積，較弧面面積為小，我人以三角法所測得者，就各單位區域言，實為直線距離及平面面積，應較地面上實際距離及面積為小；其二，在較大之範圍內，陸地表面，常高低不平，三角測量法之原則，係假定所測角度，完全在同一平面上，實際上既不如此，因而所測角度，亦不可靠，結果影響及於所測距離及面積之不正確；其三，光線雖云直進，但除自天頂來者外，其他常因空氣之密度不同而起曲折現象，是即通常所稱之折光作用 (refraction)，光線經曲折後，我人所見之目的物，事實上即不在應有之位置，測量時若仍以所見之目的物為依據，結果亦隨同發生錯誤。以上三項，第一項可依據平面與弧面之關係，及已知弧度之大小，由算學方面訂正；第二項於已知所測地區之傾斜方向及傾斜度後，可傾斜經緯儀之平面以適應之；第三項可能發生之錯誤，曾經有人加以研究，認為數值不大，可歸納在不足注意之列，因之欲應用三角法以測量地表距離及面積，並欲得可靠結果者，僅注意前兩項錯誤可也。

三角測量法中基本組織爲三角形，聯合多數三角形後，則成爲一三角網 (network of triangles)。各國以三角網測量大地之舉，由來已久，公元 1735 及 1736 年，法國學士院先後派出兩個測量隊，分赴赤道附近秘魯境內之基多 (Quito) 及北方拉伯蘭 (Lapland) 境內之陀爾尼亞 (Tornea) 實行大規模測量，以解決英法學者對於地球形狀之爭執，其事已詳於前 (第四章第一節)。當時兩隊所用者，即爲三角測量法首先在各該地測定一基線，以爲測量之依據，基多隊且曾在該地測定二基線，除一爲原始三角形之一邊外，另一取作覆核之用，然後再由各基線擴展成爲三角網，以決定某一範圍內之南北距離。基多隊所測定之南北線，長凡三百二十公里，拉伯蘭隊測定之南北線，約一百公里左右。因二隊所用方法之可靠，由兩隊所測得緯度一度之長不相符合情形以定地球扁圓如橘形之結論，遂爲衆所共信。英國利用三角網測量大地之舉，始於公元 1784 年，基線位於宏斯洛亥 (Hounslow Head) 長約五哩。最初計劃，擬由此基線擴展成爲三角網，經南部各地以達多佛 (Dover)，再跨越英吉利海峽 (English Channel)，與法國境內之三角網相接，以決定倫敦與巴黎之經度差。其後英政府更決定計劃，擴展爲全英各島大三角網，以完成帝國大測量，此事卒於公元 1852 年告厥成功。所用基線，除宏斯洛亥外，尚有數條，舉其較著者，一在薩里斯伯來平原 (Salisbury plain)，長約七哩，另一在勞富爾 (Lough Foyle) 海岸，長約八哩。構成之三角形中，最大者幾於將全帝國包括在內，但經選擇數三角形，加以實地丈量後，在 36,500 呎距離內，測算與丈量所得之差別，僅有五吋，換言之，即錯誤率僅有十萬分之一左右，亦可見三角測量法之精密矣。

英國外其他各國，亦正利用三角網，舉行大規模測量，全歐洲之三角網，殆已滿佈。印度及南非之三角網，亦已着手進行，在不久之將來，東半球三大陸之三角網，或可聯合為一。西半球亦正在進行中。若能再將東西兩半球之三角網連貫為一，則不特地面各點之距離，得一確實決定，地球之形狀究何若，亦將得一更詳盡之證明，其影響於人類之觀念，當甚大也。

讀者參考學要

1. F. R. Moulton: An Introduction to Astronomy.
2. Charles A. Young: General Astronomy.
3. F. A. Fath: The Elements of Astronomy, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1928.
4. George W. Parker: Elements of Astronomy.
5. D. N. Malik: The Elements of Astronomy.
6. V. Seymour Bryant & T. H. Hughes: Map Work, Oxford University Press, 1918.
7. J. K. Finch: Topographic Maps & Sketch Mapping, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1920.
8. A. H. Jameson & M. T. M. Ormsby: Mathematical Geography, Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd., London, 1930.
9. 夏堅白著: 應用天文學, 商務印書館出版。
10. 張雲著: 高等天文學, 商務印書館發行。

習 題

1. 測量緯度時若有一秒之錯誤，則在地面上應有若干公尺距離方面之錯誤？

2. 天頂之高度及時角，應各為若干？

3. 在地球上，以何處之地平圈 (horizon) 與天赤道 (celestial equator) 相平行？

4. 在地球上，以何處之地平圈與黃道 (ecliptic) 相平行？

5. 在某地點測得某星上經過子午圈時之高度，經各項訂正後，為 $55^{\circ}48'06''$ ，下經過子午圈時之高度為 $24^{\circ}58'56.4''$ ，求某地點之緯度。

6. 已知太陽過某地子午線時之下緣高度，經各項訂正後，為 $62^{\circ}24'45''$ ，太陽之赤緯為 $+20^{\circ}55'10''$ ，太陽之視半徑為 $15'47''$ ，求某地點之緯度。

7. 在四月六日同一日期內，第一次測定太陽之高度時，天文表 (chronometer) 所示之時間為午前 10 時 6 分 4 秒，第二次測得太陽達與第一次同一高度時，天文表所示之時間為午後 4 時 3 分 12 秒，此天文表之錯誤為每日快 5 秒，自格林威治天文台攜出後共已 6 日；是日之時差為 $+2$ 分 20 秒；求觀測地之經度。

8. 試應用海員法、測量人員法、方位角法，稱述下列各方向：

西南 東南東 東北略偏東 北略偏西

9. 有一飛機，自甘肅之蘭州起飛，經西安、成都、重慶、漢口、衡陽、桂林至香港，試依三種命名法（海員法、測量人員法、方位角法）記述其沿途飛行之方向（以三十二向為限）。

10. 有一旅行者，在登山前用空盒氣壓表測得山麓之氣壓為 758.5 mm.，氣溫 28°C ., 相對濕度 (relative humidity) 80%；達山頂後，測得氣壓為 535 mm.，氣溫 12°C ., 相對濕度 95%，求山頂高出地面數。

第十章 地面情況之描繪

第一節 概論

地理學者於獲得各地點之位置及各種情況以後，所不可缺少之工作，厥為如何將此等情況，依其確實位置，描繪於紙上，使成爲一瞭如指掌之圖，蓋地球本身之範圍甚大，執行實際調查者在各地所見，必不能即以各該地之實際情形，搬運於未達其地者之前也。經描繪於紙上後，已見者可以之示人，可傳之久遠，未見者得之，可按圖而索驥，描繪地面實際情況之重要，於此可見。

描繪大地實際情況所成之圖，稱爲地圖。各民族有地圖之歷史成甚長，我國古時制度，周禮：「大司徒掌輿地之圖」，唐代賈耽之華夷圖已頗燦然可觀，並以一寸折成百里，則是已具有比例尺之規模，爲精密地圖必須有之條件。泰西地圖，濫觴於埃及，目的在表示疆界及供尋常應用，技術拙劣，範圍甚小，無可稱道。希臘人爲西方民族中首先欲測繪全世界地圖者，當時所知範圍，東西較大，南北較小，故稱東西爲長，南北爲寬，今日英文中用以稱經度之‘longitude’一字，其原意爲長（length），用以稱緯度之‘latitude’一字，原意爲寬（breadth），長指東西，寬指南北，即經緯度也。

地圖既在描繪大地之實際情況，故其優劣以能否逼真爲斷，最

佳者宜與地上實際情形不差分毫，下焉者其符合於實際情形之程度即較差。更澈底言之，即在大地上有一顯著目標，地圖上亦應有其代表，在同一地圖上所示各地點或各目標之相互距離，宜與各地點或各目標間之實際距離成同一比例，前者所論之意義，以一字概括之，為「詳」，後者為「確」，能詳且確，即為好地圖，否則流為下品，與其他美術圖畫之尚有賴於傳神阿堵者不同，蓋地圖之性質為實用圖畫，而非專在供人賞鑒者也。古代地圖，以人類所知不詳不確之故，質地咸不佳。近世調查資料豐富，描繪之方法精密，地圖之內容，亦遂迥非昔比，實行繪製之方法，已另自擴展成為製圖學(cartography)一科，其詳雖不在本學程範圍以內，但有若干基本原則，可揭述於此，以為用圖之助。

地圖可大別為二類：僅表示地面之大要，如城市、村鎮、鐵路、公路、河流、溪澗等而無意於表示地面凹凸不平之實際情況者，稱為平面圖(flat maps)，我人日常所習見之地圖屬之；另一類既表示地面之綱要，且將凹凸情形，設法表現，與地面實際情形極相似者，稱為地形圖(topographic maps)或凹凸圖(relief maps)，地質、軍事、工程方面所用者大多屬之。地形圖遠較平面圖為複雜，惟除所用符號較多，描繪有一定方式外，其餘仍相通，若將地形圖縮至極小，至不克表示地面詳細情況時，則地形圖亦即成為平面圖而已。

第 二 節

地圖投影法大意及各種投影法之特徵

地圖之描繪，以經緯線為骨幹，一切地點之填註，咸以經緯線為

依據，經緯線定則地點在圖上之位置定矣。製圖者倘欲繪製一地圖，可先設想有一地球模型，其形狀與實際地球完全相似，惟體積遠較實際地球為小耳。在此地球模型之外，以透明紙包裹之，將模型面部各點，逐一投影於紙上，為求簡明起見，可暫置水陸分佈情形不論，而僅以經緯線為標準，則此紙經展開後，即成為一僅具有骨幹之地圖，地圖投影法之大要如此而已。惟地為球形，此紙既與代表地球之模型相貼合，則自模型上取下後，必不能伸展成為一毫無折皺之平面，猶之自橘取下之皮，仍不能脫離蜷屈狀態然。自相反之方面言之，既為一平面之紙，亦必不能與球面相貼合，猶之以紙包橘，紙不能無折疊然。現時地表為一球面，而我人所用之地圖則為一平面，球面與平面不相合，故地圖與地面實際情形間，不能不常有若干差別。最佳者亦僅能發展至極相近似而已，此用地圖者所不可不知也。

由球面地形投射為平面地圖之方法，經學者研究所得，已有多種，其詳屬於地圖投影 (map projections) 範圍，有志者可另於其中求之，茲略述由各種投影法所成地圖之特徵，以資辨認如下：

(一) 經線成放射形直線，緯線為同心圓，通常係圓錐投影法 (conical projection) 之現象。圓錐投影法尚有數種，若各緯線間之距離相等，則為具有一或二標準緯線之簡單圓錐投影法，尤以後者之可能性為多。若各緯線間之距離，中部較頂底兩部為接近，則為圓錐投影法中之正展法 (orthomorphic)；反之，若其距離在中間部分最大，則係圓錐法中具有二標準緯線之等積法。又若緯線皆為完整之圓圈，經線成放射狀直線，則為圓錐投影法中之天頂視極法 (polar zenithal)。在此法中，又可析為三種：若各緯線間之距離相等，則為

天頂等距法 (zenithal equidistant); 中部距離較小, 向外逐漸增大, 爲正展法; 中部距離較大, 向外逐漸縮小, 爲等積法。

經線成放射狀直線, 緯線不爲同心圓, 係中央投影法 (gnomonic or central projection) 或改良多圓錐投影法 (modified polyconic projection) 之特徵。

(二) 經線爲平行之直線, 緯線亦然, 此係圓筒投影法 (cylindrical projection) 之特徵。各緯線間之距離若相等, 則爲圓筒投影法中之等距法; 反之, 若各緯線間之距離, 愈至兩極愈接近, 則爲此法中之等積法。二者均不常用, 甚至可稱爲從不應用, 以其缺點太多也。若各緯線間之距離, 愈至兩極愈增大, 則或爲牟開拓氏法 (Mercator's projection)。

經線成平行之直線, 緯線爲曲線, 此係中央投影法中赤道投法或橫投法之特徵, 絕少有人應用。

(三) 緯線成直線, 經線爲曲線, 通常爲正弦曲線法 (sinusoidal projection) 或摩爾韋特氏投影法 (Mollweide's projection) 之代表。二者之區別, 若緯線之距離相等, 則爲正弦曲線法; 若緯線之距離, 以赤道附近爲最大, 則爲摩爾韋特氏法。

(四) 緯線爲同心圓, 經線爲曲線, 係鮑恩 (Bonne) 氏投影法之代表, 若緯線僅爲圓圈而非同心圓, 則屬於多圓錐投影法 (polyconic projection)。在此法中, 赤道宜爲一直線。

(五) 經緯線均爲曲線, 通常係天頂投影法 (zenithal projection) (極地除外) 之特徵。若緯線在中央子午線上平均分佈, 則爲天頂等距法 (zenithal equidistant projection); 若緯線之距離, 在中央部分

較小，則爲天頂正展法 (zenithal orthomorphic projection)；又若緯線之距離，愈向南北進行愈小，則或係天頂等積法 (zenithal equal area projection) 之代表。

第三節 地圖之縮尺

地球之實際面積甚大，必須經縮小後，始能描繪於紙上，此所以一切地圖咸有縮尺也。所謂縮尺者，具體言之，即地上實際尺寸縮小成爲圖上尺寸之比數，通常以固定單位，或代表分數，或圖解尺三種方法表示，均在圖之邊緣註明，以固定單位表示之方法，先擇定一單位，其餘完全依此單位推算之，例如所擇定之單位爲吋，每一吋係代表一哩，則在圖上每量得一吋之距離，在實際上即爲一哩；若所擇定之單位爲公分 (cm.)，每一公分係代表十公里 (km.)，則在圖上每量得一公分，在實際上即爲十公里，餘類推。我國唐時賈耽所繪之華夷圖，以一寸折成百里，圖東西寬三丈三，南北長三丈，在圖上有一寸距離，實際爲百里，即屬此種縮尺之表示法也。以代表分數表示之方法，命地面上兩點之實際距離爲 1，圖上兩點之距離爲 1 之分數，此分數即稱爲代表分數 (representative fraction)，縮寫爲 R. F.，以式

表示之：
$$R.F. = \frac{\text{地圖上距離}}{\text{地面上實際距離}}$$
。就唐賈耽之華夷圖言，以一寸折

成百里，若當時之里爲一千八百尺，尺十寸，則此圖之代表分數，宜

爲：
$$R.F. = \frac{1}{1,800,000}$$
。此法所表示者爲地面實際距離之比數，不必

有一定單位，故可爲任何單位不同之國家所應用，如華夷圖之 R. F.

既爲 $\frac{1}{1,800,000}$ 則在歐洲各大陸國家人士視之，圖上每一公分係

代表實際距離十八公里，英美人視之，在圖上每一吋，即係代表 28.4

哩，爲用甚便，故現時地圖上依此方法表示者甚多，即所稱縮尺幾千

幾百萬分之一是也。若依圖上所示之縮尺倍之，例如圖示千萬分之

一者乘以千萬，百萬分之一者乘以百萬，則此圖宜與其所代表之地

區，處處相合，否則即不克稱爲一精良之地圖。以圖解尺表示之方法，

在圖之邊緣，畫一直尺，尺上有等分線，註明所代表之實際距離，凡

在圖上量得之距離，滿足比例尺中一等分時，即以每等分所註之數

字爲實際距離，不足一等分時，依比例推算。此法之原則，與固定單

位法同，尺中所示，即爲固定單位，不過以圖解尺表示而已。一圖之

上，尺可不止一條，以求合於各種長度單位之用。繪製此類圖解尺之

方法，先求得所繪圖之 R. F. 再取某一整數距離爲單位，而求其在圖

上應有之長度。例如某圖之 R. F. 爲 $\frac{1}{63,360}$ ，所採取之某一整數距

離爲十公里，則每十公里實際距離，在圖上應爲 $\frac{1,000,000}{63,360} = 15.78$

公分 (cm.)，以此爲所繪圖解尺之總長度；再自此尺之一端，任作一

直線，其長宜爲易於十等分者，如十五公分或二十公分等，以量尺十

等分之；連接圖解尺及直線之另一端作直線，然後自線上各等分點

作與此線平行之虛線，如第七十圖所示，則此等虛線與圖解尺相交

之點，即爲圖解尺之十等分點。圖解尺之全長既爲十公里，每一等分

之距離即應爲一公里，或一千公尺，依次以數字標示之，其中最初一

等分，再以同一方法分爲五等分，每等分得二百公尺，亦依次以數字

標示，以便讀取不足一公里之數。若再能用目力估計至每一小等分之半，則此尺之讀數，可達十分之一公里矣。地圖上有此類圖解尺之用意，在避免由圖上距離推求實際距離時運算之勞，蓋地圖之 R.F. 或圖上距離與實際距離之比，有時不必為一極簡單之整數，設若某



第 70 圖 圖解尺之作法

圖之 R. F. 為 $1 : 63,360$ 或 $\frac{1}{63,360}$ ，則在圖上每次量得之距離，必須乘以 63,360，始能得地上實際距離，此項計算，雖不外乘除，然若每次必須為之，亦屬不勝其煩。經作成圖解尺後，則在圖上每次量得之距離，取與圖解尺相比對，達每一等分時，讀此等分點所示之數，即為所欲知之地上實際距離，無運算之可言，故凡地圖之 R. F. 不為一極簡單之整數，如一萬、十萬、百萬、千萬分之一等，或地圖之 R. F. 雖為一極簡單之整數，而我人所採用之長度，非完全十進制，如吋之與哩，寸之與里等者，最適宜於附有圖解尺。

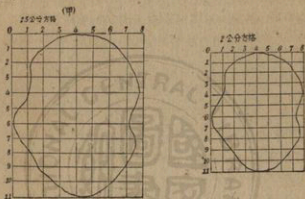
地圖之縮尺，大小不等，有較實際距離縮小至數百分之一者，有更縮至十百千萬分之一者，視圖之範圍及圖紙之大小而定。所謂縮尺之大小，通常以 R. F. 之值為斷，千分之一較萬分之一為大，萬

分之一又較十萬分之一及百萬分之一大，故稱千分之一為大比例尺 (large scale)，十萬分之一及百萬分之一為小比例尺 (small scale)。就實際情形言之，地產、農場、市鎮、要塞、建築、炮兵陣地、戰場佈置等各方面所用之地圖，概為數百分之一至萬分之一之大比例尺，世界全圖，則以範圍過大，常為數百萬分之一乃至千萬分之一之小比例尺。

第四節 地圖之放大及縮小

已依某一定縮尺作成之地圖，因另有需要，欲加以放大或縮小時，最簡便之方法為方格法。進行之步驟，先將被放大或縮小之圖，分畫成為無數方格；再將空白紙亦作成同數之方格，空白紙上每一方格，與圖上每一方格之邊長比數，視所用放大或縮小之圖與原圖之大小比數而定；最後即將原圖上各顯著點，一一依其在方格中之位置，照樣描寫於空白紙上各相應之方格中，即成為一放大或縮小之圖。舉例以明之，設有一海島圖，其縮尺為每吋代表實際距離一哩，今欲放大為每二公分代表一公里。依據縮尺原則，原圖之 R. F. 為 $1 : 63,360$ ，所欲放大圖之 R. F. 為 $1 : 50,000$ ；若在原圖上作成每二公分之方格，則在空白紙上之方格，宜為 $x : 2 :: \frac{1}{50,000} : \frac{1}{63,360}$ ，故 $x = \left(2 \times \frac{1}{50,000}\right) \div \frac{1}{63,360} = \frac{2 \times 63,360}{50,000} \approx 2.5$ 公分，第七十一圖中甲乙二圖之方格，即依上述二數構成。在第七十一圖 (乙) 中取 y, z 二點，填註於第七十一圖 (甲) 中 Y, Z 之位置，依此方法，將第七十一圖 (乙) 中所有各顯著點，完全描繪於第七十一圖 (甲) 中，最後

即得第七十一圖(甲)(乙)所示外形相似而大小不同之二海島圖，乙爲原圖，甲爲放大圖。若原圖上每一方格之邊長爲2.5公分，空白紙上每一方格之邊長爲2公分，則甲爲原圖，乙爲縮小圖，放大與縮小，如此而已。



第71圖 地圖之放大及縮小

應用方格法放大或縮小地圖時，所有方格，必須爲正方形，愈多愈佳。在同一紙上，各方格之大小宜一致。放大圖與原圖上各方格之邊長比數，宜與原圖及所欲放大或縮小圖之比數完全一致。以上各點，有一不合，經放大或縮小後之圖，即失原形，不可不注意！方格法以外，地圖之放大或縮小，尚有各種方法，最精確者宜推照相法。在某一定比例值內，英國倫敦司蒂瓦特 (Steward) 及史屈蘭特 (Strand) 兩氏所創製之‘最佳 (best)’ 縮小及放大尺，亦頗精密而適用。

第五節 地圖之接合

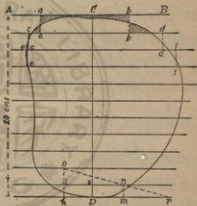
由分區測繪所得之地圖，欲將其併合爲一，首先宜注意者爲各

個分圖之縮尺，若縮尺不相合，則宜將縮尺化爲同一標準，而後施行接合，否則無接合之可能。化縮尺爲同一標準之方法，或擇分圖中之一爲標準，而以其餘各圖遷就之，或竟完全放棄，另擇一縮尺，爲各分圖之標準，二者均有人採用，視所需接合後總圖之縮尺而定。舉例明之，設欲得某二國間之邊區地圖，已知甲國地圖之縮尺爲 1:12 000，乙國地圖之縮尺爲 1:8,000，所欲得接合後新圖之縮尺爲 1:10 000。應用前節中所述方格放大及縮小方法，選定每一平方公分为新圖上方格之單位，命 x 爲甲圖上每方格應有之大小，則依據甲圖之 R.F. 爲 $\frac{1}{12,000}$ ，新圖之 R.F. 爲 $\frac{1}{10,000}$ ，得 $x : 1 :: \frac{1}{12,000} : \frac{1}{10,000}$ ，或 $x = \frac{10}{12} = 0.833$ 公分。次命乙圖上每方格應有之大小爲 y ，依乙圖及總圖之 R.F.，得 $y : 1 :: \frac{1}{8,000} : \frac{1}{10,000}$ ，或 $y = \frac{10}{8} = 1.25$ 公分。甲乙及總圖上之方格作成後，依甲乙二圖之位置，將二圖中所有各顯著點，就其在方格中之地位，一一描繪於新圖上，則新圖即爲甲乙二圖聯合後之總圖。在舉行描繪時，經緯線相交處可作爲起始點，南北線可作爲標準方向線，惟須注意者，南北線在圖上并不皆與圖紙之邊緣平行，圖上若已繪有經緯線，則經線之方向，即爲所經地點之正南北向，若在圖上無經緯線，而僅於圖之邊緣，附註經緯度數，則在緯度差別不過大之範圍內，連接同經度二點所成之直線，亦即可視爲正南北線。此外另有須說明者，地表實爲一弧面，所有縮尺及方向，適於一點，當不能完全適合於各點，此項錯誤，自屬不可忽略，惟其影響，以在範圍較大時始顯，縱橫不過數百公里之小範圍內，有時

竟置之不問可也。

第六節 由地圖推求面積之方法

已得精確之地圖，欲據以推求某一地區之面積，除將地圖劃成無數小方格而計算在某地區範圍內所包有之小方格一法外，可於某一地區之頂底二點，各作一相互平行之切線，在二切線之中間，取某一定距離為單位，再分割成若干平行之小長條。此某一距離，可不必以平均分完兩切線間之總距離為主，而在能為一便於運算之整數。例如第七十二圖中曲線，所包之範圍，為一欲推求得面積之地區，在此地區之頂點及底點，作切線 AB 及 kp ，自 AB 線上之 C 至 in 線上之 E ，每相距二公分作一平行線，總共得十個寬度相等之小長條， ED 間不足二公分，即任其另為一小長條，而不必定



第72圖 由地圖推求面積之方法

欲將 CD 間距離平分，成為寬度完全相等之小長條。如此則因已知圖之 R. F. 為 $1 : 50,000$ ，每一小長條所代表之地面上實際寬度為 $2 \text{ 公分} \times 50,000 = 100,000 \text{ 公分} = 1,000 \text{ 公尺} = 1 \text{ 公里}$ ，為一極簡單數，頗便於運算，較將 ED 部分併入，另行平均分割，致每一小長條之寬度與圖之 R. F. 相乘後，得奇零數者為佳。每一小長條之寬度既已確知為代表實際距離一公里後，若再將每一小長條之實際長度決

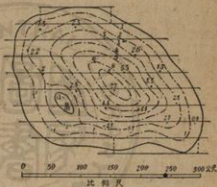
定，則可得每一小長條之面積，併合各小長條之面積計之，即可得全區之面積。此法中較為不易計算之處，係在每一小長條之邊緣。進行之方法，係用目力估計，於每一小長條之地區內所包面積與地區外面積相等處，作一垂直於小長條或平行於 CD 之直線，如圖中最上一小長條內之 aa 及 bb 線是， ab 即為最上一小長條之長度，則其面積定矣。已得最上一小長條之 aa 及 bb 直線後，依同樣方法，求得其下每一小長條中兩端之直線，如第二小長條中之 cc 及 dd ，第三小長條中之 ee 及 ff 等，至所有標準寬度之小長條，咸依法決定其兩端之直線為止。所餘不足標準寬度之最後一小長條，先依上述同樣方法，決定兩端之直線，即圖中之 ki 及 mn 二直線；次延長 ki 至 O ，自 O 經 n 作直線，與底邊切線 kp 相交於 p ，如是則 Δmnp 與 ΔiOn 為兩相似三角形，因之得 $mp : km :: ki : iO$ ， $mp = km \times \frac{ki}{iO}$ ，是即不足標準寬度之最後一小長條歸納為標準寬度後應有之長度，至此所有各小長條之面積完全確定，而此地區之面積定矣。以上所述，為不用儀器之推求面積方法，結果雖尚正確，手續不免繁瑣，若欲迅速獲得可靠之面積，宜利用求積儀 (planimeter)。此器巧小玲瓏，價值約需英幣數鎊，構造原理，見於此器所附之說明書中，購者可自得之。用時祇須將儀器所附之針端，對準所量地區之界線移動，至此針沿界線移行一周，回復至出發點時，讀取圓盤上所指示之數，即可求得所量地區之面積。曾有人以求積儀及上述小長條法，推求同一地區之面積，結果依據求積儀量得之數為 30,572 平方碼，小長條法為 30,860 平方碼，二者相差約百分之一左右，故在無求積儀可資應用

時，小長條法實為一較可靠之求積方法。

第七節 求積之應用

地圖之面積，除為研究此地區者所必須確知外，其他尚有若干方面，亦必須應用自地圖上求得之面積，而後能有結果。舉二例以明之，設在地圖上有一湖或蓄水處，已在其中測得深度多處，今欲推求其蓄水總量及平均深度，

則必須先知此湖或蓄水處之面積而後可，若即以所測得之各點深度相加而平均之，作為平均深度，實大誤也。推求面積之方法，先依水面下各點之深度，作成等深度線，如第七十三圖所示：



在圖之頂底兩方各作

第73圖 推求湖水容積及平均深度之方法

一切線，并任取一距離為單位，在兩切線間作成若干距離相等之平行線，如上節小長條求積法中所述，我人若假想在每一等深線圈上有一平面，則此等平行之直線，係將湖中之水，分割成為寬度相等之地平小長條。此等小長條之頂部及底部面積，係以頂底兩等深線為界限，可依上節小長條求積法中所述，在兩端用目力估計線內線外面積相等處作直線之方法求得。至於每一小長條之厚度，則在圖中即為每一等深線間之差數，此數可稱為垂直距差 (vertical interval)，縮寫為 $V. I.$ 。如此則每一小長條之面積及厚度均已獲得，此小長條之容積

亦可獲得。合所有小長條之容積計之，即得湖水之總容量。總容量係總面積與平均深度相乘之積，反其道而求之，以總面積除總容量，則湖之平均深度得矣。茲再依據第七十三圖，實行統計，表列結果如下：

深 度	各等深綫圈 所包之面積	平 均	容積 = 平均 × V.l.
7.7 公尺	0 平方公尺	760 平方公尺	532 立方公尺
7.0	1,520	2,720	2,720
6.0	3,020	5,660	5,660
5.0	7,400	10,650	10,650
4.0	13,900	18,100	18,100
3.0	22,300	28,625	28,625
2.0	34,950	42,490	42,490
1.0	50,030	59,465	59,465
0	68,900		
總容積			168,342 立方公尺

依據上表，湖之平均深度，宜為 $\frac{168,342}{68,900} = 2.44$ (公尺)，若將所測各點之深度相加，而求其平均，則得平均深度為 2.73 公尺，此數較前一數為大，由是可見兩數之差別，而依據各點深度，直接推求平均深度之不可靠。

另一例為應用求積以推定平均雨量。設在 ABCDEF 地區內有若干雨量測候站，所得之雨量分佈情形，經高度訂正後，如第七十四圖所示。援用與前例相似之方法，先就各雨量站之紀錄，作成等雨量綫 (isohyetal lines)，而後推求各等雨量綫圈所包之面積，以定降水之總量，與前例中推求湖水容量之方法相同。降水之總量定，則全區雨量之平均厚度，亦即隨之而定矣。

第七十四圖雖援用與第七十三圖相似之方法作成，但有一不相同處，即若設想水為不流動體，則當雨水下達地面時，不向低處流動，中部雨量大，水面宜較各處為高，構成一圓頂狀或冠狀是也。每一個等雨量線圈，係代表圓頂之一個底面，面與面間之高度差別，即兩等雨量線間之雨量差別。面積則為等雨量線所包之範圍。如此則倘欲知相鄰二等雨量線平面間所包有之雨水總量，祇須求得相鄰二等雨量線平面之面積平均，乘以相鄰二等雨量線平面間之高度差足矣。茲即以此法，并以第七十四圖之實際大小為準，表列計算所得之結果如下：



第74圖 推求平均雨量之方法

雨水厚度	差別	面積	平均	雨水之容積 = 平均 × 差別
745 mm		0.0		
725	20 mm	1.2	0.6	12
700	25	2.6	1.9	47.5
675	25	5.2	3.9	97.5
650	25	9.8	7.5	187.5
625	25	16.0	12.9	322.5
600	25	22.0	19.0	475.0
575	25	28.6	25.3	632.5
550	25	35.2	31.9	797.5
525	5	36.2	35.7	178.5
545				
				總容積 2,750.5

表中雨水總容積一項，可不必註明單位，因容積為面積與厚度相乘之積，求容積時用何面積，反求厚度時仍須以此面積除容積，二者相銷，不影響於雨水之厚度也。通常所稱雨量，係以雨水之厚度為標準，由雨水總容積推求雨水之平均厚度即所謂平均雨量之公式，為：雨水

之平均厚度 = $\frac{\text{雨水之總容積}}{\text{總面積}}$ ，以表中實數代入，得： $\frac{2,750.5}{36.2} = 76\text{mm.}$

此係高出於全區域內最小紀錄之平均數，合最小紀錄 545mm. 計之，得平均數為 $545 + 76 = 621\text{mm.}$ ，若將各雨量站之紀錄相加後平均之，則得 639mm.，二者相較，亦大有出入，是為求平均數值不能直接由各點紀錄推求，而宜採用求積法之又一明證。

讀者參考舉要

1. A. H. Jameson & M. T. M. Ormsby: *Mathematical Geography.*
2. V. Seymour Bryant & T. H. Hughes: *Map Work.*
3. J. K. Finch: *Topographic Maps & Sketch Mapping.*

習 題

1. 某地圖之註載比例尺部分已喪失，但知某二地點在地面上直線距離原為 250 公里，今量得其在圖上之距離僅為一時，求此圖之 R.F.

2. 已知某地圖之 R.F. 為 1 : 12,500，試依據圖解尺之作法，作一以一公里為一基本等分，並附有一個 $\frac{1}{5}$ 公里為小等分之圖解尺。

3. 在第二題所述之圖上，每量得一時，係代表地面距離若干里？若干公里？若干哩？（數理地理完）

附錄一 各項常用單位對照表

長 度

1公尺(m.) = 10公寸(dm.) = 100公分(cm.) = 1,000公厘或厘米(mm.)

1公尺(m.) = 3.28083呎(ft.) = 39.37吋(in.) = 1.09361碼(yd.)

1公分(cm.) = 10公厘或厘米(mm.) = 0.394吋

1呎(ft.) = 12吋 = 0.33333碼 = 0.3048公尺 = 0.0001894哩(mi.) =
0.0003048公里(km.)

1碼(yd.) = 3呎 = 36吋 = 0.9144公尺 = 0.0005682哩 = 0.0009144公里

1公里(km.) = 1,000公尺 = 0.62137哩 = 0.53959海里 = 3,280.83呎

1哩(mi.) = 1.60935公里 = 0.86889海里 = 5,280呎 = 1,609.35公尺

1海里(nautical mi.) = 1.15155哩 = 1.85325公里 = 6,080.20呎 =
1,853.25公尺

1國際地理哩(International geographical mile) = $1/15^\circ$ (在赤道上) = 7,422公
尺 = 4.611808英里(U. S. mi.)

1國際海里 = $1/60^\circ$ (在子午線上) = 1,852公尺 = 0.999326英里

1英畝海里(U. S. nautical mi.) = $1/60^\circ$ (以與地球同體積之圓球為標準) =
6,080.27呎 = 1.15156哩 = 1,853.23公尺

1英國海里(British nautical mi) = 6,080.04呎 = 1.15152哩 = 1,853.16公尺

容 量

1立方公尺(m.³) = 1,000立方公寸(dm.³) = 1,000,000立方公分(cm.³)

1立特(L.) = 1,000立方公分(cm.³ or c.c.) = 61.0234立方吋 = 0.03531立方
呎 = 1.65668美制液體夸特(U. S. liquid quart) = 0.90808美制乾量夸特

(U.S. dry quart) = 0.26417 美制液體加侖 (U.S. liquid gallon) = 0.22702

美制乾量加侖 (U.S. dry gallon) = 0.02838 蒲雪爾 (U.S. bushel)

1 立方呎 = 1,728 立方吋 = 28.3170 立特 = 29.9221 美制液體夸特 = 25.7140 美制

乾量夸特 = 7.48055 美制液體加侖 = 6.42851 美制乾量加侖 = 0.80356 美制

蒲雪爾

1 美制乾量蒲雪爾 = 4 板克 (peck) = 8 加侖 (gallon) = 32 夸特 (quart) = 64 派因

(pint)

1 美制液體加侖 = 4 夸特 = 8 派因 = 32 吉爾 (gill) = 128 液體兩 (fluid ounce)

1 英帝國液體及乾量加侖 = 1.3202 美制乾量加侖 = 1.20091 美制液體加侖

1 英帝國加侖 = 277.410 立方吋 = 4,545.0631 立方公分

1 立方呎標準水之重量 = 62.4283 磅 = 28.3170 公斤

1 美制液體加侖標準水之重量 = 8.34545 磅 = 3.78543 公斤

1 英帝國加侖標準水之重量 = 10.0221 磅 = 4.5450631 公斤

重 量

1 克 (gram or g.) = 10 突西克 (decigram or dg.) = 100 生的克 (centigram or cg.)

= 1,000 密里克 (milligram or mg.)

1 公斤 (kg.) = 1,000 克 = 1 立特之標準水重 = 35.2740 兩 (ounce or oz.) = 15,432.4

格令 (grain or gr.)

1 格令 = 0.002286 兩 = 0.0001429 磅 = 0.06480 克 = 0.0003645 公斤

1 兩 = 437.5 格令 = 0.06250 磅 = 28.35 克 = 0.02835 公斤

1 磅 (pound or lb.) = 16 兩 = 7,000 格令 = 453.59 克 = 0.45359 公斤

1 淨噸 (net ton 美國通行) = 2,000 磅 = 0.80283 大噸 = 907.185 公斤

1 大噸 (gross ton 英國通行) = 2,240 磅 = 1.12 淨噸 = 1,016.5 公斤

1 公噸 (metric ton) = 1,000 公斤 = 0.98421 大噸 = 1.10231 淨噸 = 2,204 磅

面 積

1 平方公尺 = 1550.00 平方呎 = 10.7639 平方呎 = 1.19599 平方碼

1 平方呎 = 144 平方吋 = 0.111111 平方碼 = 0.09290 平方公尺

1 平方碼 = 9 平方呎 = 1.296 平方吋 = 0.83613 平方公尺

1 畝 (acre) = 4,840 平方碼 = 43,650 平方呎 = 4,046.87 平方公尺

1 平方哩 = 640 畝 = 3,097,600 平方碼 = 27,878,400 平方呎 = 2,589,999 平方公尺

1 平方公里 = 1,000,000 平方公尺 = 0.38610 平方哩 = 247.104 畝 = 1,195,985 平

方碼 = 10,763,867 平方呎

溫 度

$^{\circ}\text{C.} = 5/9(^{\circ}\text{F.} - 32^{\circ})$

$^{\circ}\text{F.} = 9/5(^{\circ}\text{C.} + 32^{\circ})$

$^{\circ}\text{F}$	0	32	40	50	60	70	80	90	100
$^{\circ}\text{C}$	-18	0	4	10	16	21	27	32	38

速 度

1 m./sec. = 3.28083 ft./sec. = 3.6 km./hr. = 2.23693 mi./hr.

1 ft./sec. = 0.30480 m/sec. = 0.68182 mi./hr. = 1.09728 km./hr.

1 mi./hr. = 1.46667 ft./sec. = 0.44704 m./sec. = 1.60935 km./hr.

1 km./hr. = 0.27778 m./sec. = 0.91134 ft./sec. = 0.62137 mi./hr.

氣 壓

1 mb. = 0.75006 mm. = 0.02953 inch

1 inch = 25.40 mm. = 33.86395 mb.

1 mm. = 0.03937 inch = 1.33322 mb.

附 錄 二

三 角 公 式

quadrant	I	II	III	IV	angle		
angles	0° to 90°	90° to 180°	180° to 270°	270° to 360°	30°	45°	60°
function	values vary from				equivalent values		
sin	+0 to +1	+1 to +0	-0 to -1	-1 to -0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$
cos	+1 to +0	-0 to -1	-1 to -0	+0 to +1	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}$
tan	+0 to +∞	-∞ to -0	+0 to +∞	-∞ to -0	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	1	$\sqrt{3}$
cot	+∞ to +0	-0 to -∞	+∞ to +0	-0 to -∞	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$

附 錄 三

三 角 函 數 表

0°	SINES							COSINES
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0.00000	0.00291	0.00582	0.00873	0.01164	0.01454	0.01745	89
1	0.01745	0.02036	0.02327	0.02618	0.02908	0.03199	0.03490	88
2	0.03490	0.03781	0.04071	0.04362	0.04653	0.04943	0.05234	87
3	0.05234	0.05524	0.05814	0.06105	0.06395	0.06685	0.06976	86
4	0.06976	0.07266	0.07556	0.07846	0.08136	0.08426	0.08716	85
5	0.08716	0.09005	0.09295	0.09585	0.09874	0.10164	0.10453	84
6	0.10453	0.10742	0.11031	0.11320	0.11609	0.11898	0.12187	83
7	0.12187	0.12476	0.12764	0.13053	0.13341	0.13629	0.13917	82
8	0.13917	0.14205	0.14493	0.14781	0.15069	0.15356	0.15643	81
9	0.15643	0.15931	0.16218	0.16505	0.16792	0.17078	0.17365	80
10	0.17365	0.17651	0.17937	0.18224	0.18509	0.18795	0.19081	79
11	0.19081	0.19366	0.19651	0.19937	0.20222	0.20507	0.20791	78
12	0.20791	0.21076	0.21360	0.21644	0.21928	0.22212	0.22495	77
13	0.22495	0.22778	0.23062	0.23345	0.23627	0.23910	0.24192	76
14	0.24192	0.24474	0.24756	0.25038	0.25320	0.25601	0.25882	75
15	0.25882	0.26163	0.26443	0.26724	0.27004	0.27284	0.27564	74
16	0.27564	0.27843	0.28123	0.28402	0.28680	0.28959	0.29237	73
17	0.29237	0.29515	0.29793	0.30071	0.30348	0.30625	0.30902	72
18	0.30902	0.31178	0.31454	0.31730	0.32006	0.32282	0.32557	71
19	0.32557	0.32832	0.33106	0.33381	0.33655	0.33929	0.34202	70
20	0.34202	0.34475	0.34748	0.35021	0.35293	0.35565	0.35837	69
21	0.35837	0.36108	0.36379	0.36650	0.36921	0.37191	0.37461	68
22	0.37461	0.37730	0.37999	0.38268	0.38537	0.38805	0.39073	67
23	0.39073	0.39341	0.39608	0.39875	0.40142	0.40408	0.40674	66
24	0.40674	0.40939	0.41204	0.41469	0.41734	0.41998	0.42262	65
25	0.42262	0.42525	0.42788	0.43051	0.43313	0.43575	0.43837	64
26	0.43837	0.44098	0.44359	0.44620	0.44880	0.45140	0.45399	63
27	0.45399	0.45658	0.45917	0.46175	0.46433	0.46690	0.46947	62
28	0.46947	0.47204	0.47460	0.47718	0.47974	0.48229	0.48484	61
29	0.48484	0.48738	0.48991	0.49242	0.49495	0.49748	0.50000	60
30	0.50000	0.50252	0.50503	0.50754	0.51004	0.51254	0.51504	59
31	0.51504	0.51753	0.52002	0.52250	0.52496	0.52745	0.52992	58
32	0.52992	0.53238	0.53484	0.53730	0.53975	0.54220	0.54464	57
33	0.54464	0.54708	0.54951	0.55194	0.55436	0.55678	0.55919	56
34	0.55919	0.56160	0.56401	0.56641	0.56880	0.57119	0.57358	55
35	0.57358	0.57596	0.57833	0.58070	0.58307	0.58543	0.58779	54
36	0.58779	0.59014	0.59248	0.59482	0.59716	0.59948	0.60182	53
37	0.60182	0.60414	0.60645	0.60876	0.61107	0.61337	0.61566	52
38	0.61566	0.61795	0.62024	0.62251	0.62479	0.62706	0.62932	51
39	0.62932	0.63158	0.63383	0.63608	0.63832	0.64056	0.64279	50
40	0.64279	0.64501	0.64723	0.64945	0.65166	0.65386	0.65606	49
41	0.65606	0.65825	0.66044	0.66262	0.66480	0.66697	0.66913	48
42	0.66913	0.67129	0.67344	0.67559	0.67773	0.67987	0.68200	47
43	0.68200	0.68412	0.68624	0.68835	0.69046	0.69256	0.69466	46
44	0.69466	0.69675	0.69883	0.70091	0.70298	0.70505	0.70711	45
SINES	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	0°

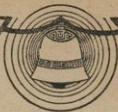
0°	COSINES							sines
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	1.00000	1.00000	0.99998	0.99996	0.99993	0.99989	0.99985	89
1	0.99985	0.99979	0.99973	0.99968	0.99968	0.99968	0.99969	88
2	0.99959	0.99952	0.99947	0.99945	0.99942	0.99938	0.99933	87
3	0.99873	0.99847	0.99831	0.99813	0.99795	0.99776	0.99756	86
4	0.99756	0.99736	0.99714	0.99692	0.99668	0.99644	0.99619	85
5	0.99619	0.99594	0.99567	0.99540	0.99511	0.99482	0.99452	84
6	0.99452	0.99421	0.99390	0.99357	0.99324	0.99290	0.99255	83
7	0.99255	0.99219	0.99182	0.99144	0.99106	0.99067	0.99027	82
8	0.99027	0.98985	0.98944	0.98902	0.98858	0.98814	0.98769	81
9	0.98769	0.98723	0.98676	0.98629	0.98580	0.98531	0.98481	80
10	0.98481	0.98430	0.98378	0.98325	0.98272	0.98218	0.98163	79
11	0.98163	0.98107	0.98050	0.97992	0.97934	0.97875	0.97815	78
12	0.97815	0.97754	0.97692	0.97630	0.97566	0.97502	0.97437	77
13	0.97437	0.97371	0.97304	0.97237	0.97169	0.97100	0.97030	76
14	0.97030	0.96959	0.96887	0.96815	0.96742	0.96667	0.96593	75
15	0.96593	0.96517	0.96440	0.96363	0.96285	0.96206	0.96126	74
16	0.96126	0.96046	0.95964	0.95882	0.95799	0.95715	0.95630	73
17	0.95630	0.95545	0.95459	0.95372	0.95284	0.95195	0.95106	72
18	0.95106	0.95015	0.94924	0.94832	0.94740	0.94646	0.94552	71
19	0.94552	0.94457	0.94361	0.94264	0.94167	0.94068	0.93969	70
20	0.93969	0.93869	0.93769	0.93667	0.93565	0.93462	0.93358	69
21	0.93358	0.93253	0.93148	0.93042	0.92935	0.92827	0.92718	68
22	0.92718	0.92609	0.92499	0.92388	0.92276	0.92164	0.92051	67
23	0.92050	0.91936	0.91822	0.91706	0.91590	0.91472	0.91355	66
24	0.91355	0.91236	0.91116	0.90996	0.90875	0.90753	0.90631	65
25	0.90631	0.90507	0.90383	0.90259	0.90133	0.89907	0.89879	64
26	0.89879	0.89752	0.89623	0.89493	0.89363	0.89232	0.89101	63
27	0.89101	0.88968	0.88835	0.88701	0.88566	0.88431	0.88295	62
28	0.88295	0.88158	0.88020	0.87882	0.87743	0.87603	0.87462	61
29	0.87462	0.87321	0.87178	0.87035	0.86892	0.86748	0.86603	60
30	0.86603	0.86457	0.86310	0.86163	0.86015	0.85866	0.85717	59
31	0.85717	0.85567	0.85416	0.85264	0.85112	0.84959	0.84805	58
32	0.84805	0.84650	0.84495	0.84339	0.84182	0.84025	0.83867	57
33	0.83867	0.83708	0.83549	0.83389	0.83228	0.83066	0.82904	56
34	0.82904	0.82741	0.82577	0.82413	0.82248	0.82082	0.81915	55
35	0.81915	0.81748	0.81580	0.81412	0.81242	0.81072	0.80902	54
36	0.80902	0.80730	0.80558	0.80386	0.80212	0.80038	0.79864	53
37	0.79864	0.79683	0.79512	0.79335	0.79158	0.78980	0.78801	52
38	0.78801	0.78622	0.78442	0.78261	0.78079	0.77897	0.77715	51
39	0.77715	0.77531	0.77347	0.77162	0.76977	0.76791	0.76604	50
40	0.76604	0.76417	0.76229	0.76041	0.75851	0.75661	0.75471	49
41	0.75471	0.75280	0.75088	0.74896	0.74703	0.74509	0.74314	48
42	0.74314	0.74119	0.73924	0.73728	0.73531	0.73333	0.73135	47
43	0.73135	0.72937	0.72737	0.72537	0.72337	0.72136	0.71934	46
44	0.71934	0.71732	0.71529	0.71325	0.71121	0.70916	0.70711	45
cosines	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	0°
	SINES							

0°	TANGENTS							tangent in
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0.00000	0.00291	0.00582	0.00873	0.01164	0.01455	0.01746	89
1	0.01746	0.02036	0.02328	0.02619	0.02910	0.03201	0.03492	88
2	0.03492	0.03783	0.04075	0.04366	0.04658	0.04949	0.05241	87
3	0.05241	0.05533	0.05824	0.06116	0.06408	0.06700	0.06993	86
4	0.06993	0.07285	0.07578	0.07870	0.08163	0.08456	0.08749	85
5	0.08749	0.09042	0.09335	0.09629	0.09923	0.10216	0.10510	84
6	0.10510	0.10805	0.11099	0.11394	0.11688	0.11983	0.12278	83
7	0.12278	0.12574	0.12869	0.13165	0.13461	0.13758	0.14054	82
8	0.14054	0.14351	0.14648	0.14945	0.15243	0.15540	0.15838	81
9	0.15838	0.16137	0.16435	0.16734	0.17033	0.17333	0.17633	80
10	0.17633	0.17933	0.18233	0.18534	0.18835	0.19136	0.19438	79
11	0.19438	0.19740	0.20042	0.20345	0.20648	0.20952	0.21256	78
12	0.21256	0.21560	0.21864	0.22169	0.22475	0.22781	0.23087	77
13	0.23087	0.23393	0.23700	0.24008	0.24316	0.24624	0.24933	76
14	0.24933	0.25242	0.25552	0.25862	0.26172	0.26483	0.26795	75
15	0.26795	0.27107	0.27419	0.27732	0.28046	0.28360	0.28675	74
16	0.28675	0.28990	0.29305	0.29621	0.29938	0.30255	0.30573	73
17	0.30573	0.30891	0.31210	0.31530	0.31850	0.32171	0.32492	72
18	0.32492	0.32814	0.33136	0.33460	0.33783	0.34108	0.34433	71
19	0.34433	0.34755	0.35085	0.35412	0.35740	0.36069	0.36397	70
20	0.36397	0.36727	0.37057	0.37388	0.37720	0.38053	0.38386	69
21	0.38386	0.38721	0.39055	0.39391	0.39727	0.40065	0.40403	68
22	0.40403	0.40741	0.41081	0.41421	0.41763	0.42106	0.42447	67
23	0.42447	0.42791	0.43136	0.43481	0.43828	0.44175	0.44523	66
24	0.44523	0.44872	0.45222	0.45573	0.45924	0.46277	0.46631	65
25	0.46631	0.46985	0.47341	0.47698	0.48055	0.48414	0.48773	64
26	0.48773	0.49134	0.49495	0.49858	0.50222	0.50587	0.50953	63
27	0.50953	0.51320	0.51688	0.52057	0.52427	0.52798	0.53171	62
28	0.53171	0.53545	0.53920	0.54296	0.54674	0.55051	0.55431	61
29	0.55431	0.55812	0.56194	0.56577	0.56962	0.57349	0.57735	60
30	0.57735	0.58124	0.58513	0.58905	0.59297	0.59691	0.60086	59
31	0.60086	0.60483	0.60881	0.61280	0.61681	0.62083	0.62487	58
32	0.62487	0.62892	0.63299	0.63707	0.64117	0.64528	0.64941	57
33	0.64941	0.65355	0.65771	0.66189	0.66608	0.67028	0.67451	56
34	0.67451	0.67875	0.68301	0.68728	0.69157	0.69588	0.70.21	55
35	0.70021	0.70455	0.70891	0.71329	0.71769	0.72211	0.72654	54
36	0.72654	0.73100	0.73547	0.73996	0.74447	0.74900	0.75355	53
37	0.75355	0.75812	0.76272	0.76733	0.77193	0.77661	0.78129	52
38	0.78129	0.78598	0.79070	0.79544	0.80020	0.80498	0.80978	51
39	0.80978	0.81461	0.81946	0.82434	0.82923	0.83415	0.83910	50
40	0.83910	0.84407	0.84906	0.85408	0.85912	0.86419	0.86929	49
41	0.86929	0.87441	0.87955	0.88473	0.88992	0.89515	0.90040	48
42	0.90040	0.90569	0.91099	0.91633	0.92170	0.92709	0.93252	47
43	0.93252	0.93797	0.94345	0.94896	0.95451	0.96008	0.96569	46
44	0.96569	0.97133	0.97700	0.98270	0.98843	0.99420	0.00000	45
tangent	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	0°
	COTANGENTS							

		COTANGENTS							tang. int.
0°		0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	∞	343.77371	117.88540	114.58865	85.63979	68.75009	57.22900	89	
1	57.28906	49.10' 88	42.96408	38.18846	34.30777	31.24158	28.63025	88	
2	28.63925	26.43160	24.54176	22.90377	21.47040	20.20555	19.03114	87	
3	19.08114	18.07468	17.16034	15.34996	15.60478	14.92442	14.30037	86	
4	14.33067	13.72674	13.19688	12.70621	12.25051	11.82617	11.43005	85	
5	11.43005	11.08943	10.71191	10.38540	10.07803	9.78817	9.51436	84	
6	9.51436	9.25530	9.03983	8.77689	8.55555	8.34496	8.14435	83	
7	8.14435	7.95302	7.77035	7.59575	7.42871	7.26873	7.11537	82	
8	7.11537	6.98823	6.82694	6.69116	6.56055	6.43484	6.31375	81	
9	6.31375	6.19708	6.08444	5.97576	5.87080	5.76937	5.67128	80	
10	5.67128	5.57038	5.48451	5.39552	5.30828	5.22566	5.14455	79	
11	5.14455	5.06584	4.98940	4.91516	4.84300	4.77236	4.70463	78	
12	4.70463	4.63825	4.57363	4.51071	4.44942	4.38969	4.33148	77	
13	4.33148	4.27471	4.21933	4.16530	4.11256	4.06107	4.01078	76	
14	4.01078	3.96165	3.91364	3.86671	3.82083	3.77595	3.73205	75	
15	3.73205	3.68909	3.64705	3.60588	3.56557	3.52609	3.48741	74	
16	3.48741	3.44651	3.41336	3.37594	3.34023	3.30521	3.27085	73	
17	3.27085	3.23714	3.20406	3.17159	3.13972	3.10842	3.07768	72	
18	3.07768	3.04749	3.01783	2.98869	2.96004	2.93189	2.90421	71	
19	2.90421	2.87700	2.85032	2.82391	2.79822	2.77254	2.74748	70	
20	2.74748	2.72281	2.69853	2.67462	2.65109	2.62791	2.60509	69	
21	2.60509	2.58261	2.56046	2.53855	2.51715	2.49597	2.47509	68	
22	2.47509	2.45451	2.43422	2.41421	2.39449	2.37504	2.35585	67	
23	2.35585	2.33633	2.31822	2.29984	2.28167	2.26374	2.24604	66	
24	2.24604	2.22857	2.21132	2.19430	2.17749	2.16090	2.14451	65	
25	2.14451	2.12832	2.11233	2.09654	2.08094	2.06553	2.05030	64	
26	2.05030	2.03526	2.02039	2.00569	1.99116	1.97680	1.96261	63	
27	1.96261	1.94858	1.93470	1.92098	1.90741	1.89400	1.88073	62	
28	1.88073	1.86760	1.85462	1.84177	1.82907	1.81649	1.80405	61	
29	1.80405	1.79174	1.77953	1.76749	1.75556	1.74375	1.73205	60	
30	1.73205	1.72047	1.70901	1.69769	1.68643	1.67530	1.66428	59	
31	1.66428	1.65337	1.64256	1.63185	1.62125	1.61074	1.60033	58	
32	1.60033	1.59002	1.57981	1.56969	1.55966	1.54972	1.53987	57	
33	1.53987	1.53019	1.52043	1.51084	1.50133	1.49190	1.48256	56	
34	1.48256	1.47333	1.46411	1.45501	1.44598	1.43703	1.42815	55	
35	1.42815	1.41934	1.41061	1.40195	1.39336	1.38484	1.37638	54	
36	1.37638	1.36800	1.35968	1.35142	1.34323	1.33511	1.32704	53	
37	1.32704	1.31904	1.31110	1.30323	1.29541	1.28764	1.27994	52	
38	1.27994	1.27230	1.26471	1.25717	1.24969	1.24227	1.23490	51	
39	1.23490	1.22758	1.22031	1.21310	1.20593	1.19882	1.19175	50	
40	1.19175	1.18474	1.17777	1.17085	1.16398	1.15715	1.15037	49	
41	1.15037	1.14363	1.13694	1.13029	1.12369	1.11713	1.11061	48	
42	1.11061	1.10414	1.09770	1.09131	1.08496	1.07864	1.07237	47	
43	1.07237	1.06613	1.05994	1.05378	1.04766	1.04158	1.03553	46	
44	1.03553	1.02952	1.02355	1.01761	1.01170	1.00583	1.00000	45	
cotange- nts		60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	0°
TANGENTS									

0°	SECANTS							COSECANTS
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	30'	
0	1.00000	1.00000	1.00002	1.00004	1.00007	1.00011	1.00015	89
1	1.00015	1.00021	1.00027	1.00034	1.00042	1.00051	1.00061	83
2	1.00061	1.00072	1.00083	1.00096	1.00105	1.00122	1.00137	87
3	1.00137	1.00153	1.00169	1.00187	1.00205	1.00224	1.00244	85
4	1.00244	1.00265	1.00287	1.00309	1.00333	1.00357	1.00382	85
5	1.00382	1.00406	1.00435	1.00463	1.00491	1.00521	1.00551	84
6	1.00551	1.00582	1.00614	1.00647	1.00681	1.00715	1.00751	83
7	1.00751	1.00787	1.00825	1.00863	1.00902	1.00942	1.00983	82
8	1.00983	1.01024	1.01067	1.01111	1.01155	1.01200	1.01247	81
9	1.01247	1.01294	1.01342	1.01391	1.01440	1.01491	1.01543	80
10	1.01543	1.01595	1.01649	1.01703	1.01758	1.01815	1.01872	79
11	1.01872	1.01930	1.01989	1.02049	1.02110	1.02171	1.02234	78
12	1.02234	1.02298	1.02362	1.02428	1.02494	1.02562	1.02630	77
13	1.02630	1.02700	1.02770	1.02842	1.02914	1.02987	1.03061	76
14	1.03061	1.03137	1.03213	1.03290	1.03368	1.03447	1.03526	75
15	1.03526	1.03609	1.03691	1.03774	1.03858	1.03944	1.04030	74
16	1.04030	1.04117	1.04205	1.04295	1.04385	1.04477	1.04569	73
17	1.04569	1.04663	1.04757	1.04853	1.04950	1.05047	1.05145	72
18	1.05146	1.05246	1.05347	1.05449	1.05552	1.05657	1.05762	71
19	1.05762	1.05869	1.05978	1.06085	1.06195	1.06306	1.06418	70
20	1.06418	1.06531	1.06645	1.06761	1.06878	1.06996	1.07115	69
21	1.07115	1.07235	1.07356	1.07479	1.07602	1.07727	1.07853	68
22	1.07853	1.07981	1.08109	1.08239	1.08370	1.08503	1.08636	67
23	1.08636	1.08771	1.08907	1.09044	1.09183	1.09323	1.09464	66
24	1.09464	1.09606	1.09750	1.09895	1.10041	1.10189	1.10338	65
25	1.10338	1.10488	1.10640	1.10793	1.10947	1.11103	1.11260	64
26	1.11260	1.11419	1.11579	1.11740	1.11903	1.12067	1.12233	63
27	1.12233	1.12400	1.12568	1.12738	1.12910	1.13083	1.13257	62
28	1.13257	1.13433	1.13610	1.13789	1.13970	1.14152	1.14335	61
29	1.14335	1.14521	1.14707	1.14893	1.15085	1.15277	1.15470	60
30	1.15470	1.15665	1.15861	1.16059	1.16259	1.16460	1.16663	59
31	1.16663	1.16868	1.17075	1.17283	1.17491	1.17704	1.17918	58
32	1.17918	1.18133	1.18350	1.18569	1.18790	1.19012	1.19235	57
33	1.19235	1.19463	1.19691	1.19920	1.20152	1.20386	1.20622	56
34	1.20622	1.20859	1.21099	1.21341	1.21584	1.21830	1.22077	55
35	1.22077	1.22327	1.22579	1.22833	1.23089	1.23347	1.23607	54
36	1.23607	1.23869	1.24134	1.24400	1.24669	1.24940	1.25214	53
37	1.25214	1.25489	1.25763	1.26047	1.26330	1.26615	1.26902	52
38	1.26902	1.27191	1.27483	1.27778	1.28075	1.28374	1.28676	51
39	1.28676	1.28980	1.29287	1.29597	1.29909	1.30223	1.30541	50
40	1.30541	1.30861	1.31183	1.31509	1.31837	1.32168	1.32501	49
41	1.32501	1.32838	1.33177	1.33519	1.33864	1.34212	1.34563	48
42	1.34563	1.34917	1.35274	1.35634	1.35997	1.36363	1.36733	47
43	1.36733	1.37105	1.37481	1.37860	1.38242	1.38628	1.39016	46
44	1.39016	1.39409	1.39804	1.40203	1.40605	1.41012	1.41421	45
secants	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	0°
	COSECANTS							

		COSECANTS							seconds
0°		0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0		343.77510	171.88331	114.59301	85.94561	68.75738	57.29889	89	
1	57.29889	49.11406	42.67871	38.20153	34.38232	31.25758	28.65371	88	
2	28.65371	26.45051	24.56212	22.92559	21.49398	20.23028	19.10732	87	
3	19.10732	18.10262	17.19843	16.38041	15.63679	14.95788	14.33559	86	
4	14.33559	13.76312	13.23472	12.74550	12.29125	11.86837	11.47371	85	
5	11.47371	11.10455	10.75849	10.43343	10.12752	9.83912	9.56677	84	
6	9.56677	9.30917	9.06515	8.83367	8.61379	8.40466	8.20551	83	
7	8.20551	8.01565	7.83143	7.66130	7.49571	7.33719	7.18530	82	
8	7.18530	7.03962	6.89979	6.76547	6.63633	6.51208	6.39245	81	
9	6.39245	6.27719	6.16607	6.05885	5.95538	5.85539	5.75877	80	
10	5.75877	5.66533	5.57493	5.48740	5.40263	5.32049	5.24084	79	
11	5.24084	5.16359	5.08853	5.01585	4.94517	4.87649	4.80973	78	
12	4.80973	4.74482	4.68167	4.62023	4.56041	4.5.216	4.45411	77	
13	4.45411	4.39012	4.32622	4.26366	4.20239	4.14238	4.1337	76	
14	4.1337	4.08591	4.03938	3.99393	3.94932	3.90513	3.86370	75	
15	3.86370	3.82223	3.78166	3.74198	3.70315	3.66515	3.62796	74	
16	3.62796	3.59154	3.55587	3.52094	3.48671	3.45371	3.42090	73	
17	3.42090	3.38898	3.35649	3.32551	3.29512	3.26531	3.23607	72	
18	3.23607	3.20737	3.17620	3.15155	3.12440	3.09774	3.07155	71	
19	3.07155	3.04584	3.02057	2.99674	2.97135	2.94737	2.92380	70	
20	2.92380	2.90063	2.87785	2.85545	2.83342	2.81175	2.79043	69	
21	2.79043	2.76945	2.74881	2.72850	2.70851	2.68884	2.66947	68	
22	2.66947	2.65040	2.63162	2.61313	2.59491	2.57698	2.55930	67	
23	2.55930	2.54190	2.52474	2.50784	2.49119	2.47477	2.45859	66	
24	2.45859	2.44264	2.42692	2.41142	2.39614	2.38107	2.36620	65	
25	2.36620	2.35154	2.33708	2.32282	2.30875	2.29487	2.28117	64	
26	2.28117	2.26766	2.25432	2.24116	2.22817	2.21535	2.20269	63	
27	2.20269	2.19019	2.17786	2.16568	2.15366	2.14178	2.13005	62	
28	2.13005	2.11847	2.10704	2.09574	2.08458	2.07356	2.06267	61	
29	2.06267	2.05191	2.04123	2.03077	2.02039	2.01014	2.00000	60	
30	2.00000	1.98998	1.98008	1.97029	1.96062	1.95108	1.94160	59	
31	1.94160	1.93226	1.92302	1.91385	1.90485	1.89591	1.88709	58	
32	1.88709	1.87834	1.86970	1.86116	1.85271	1.84435	1.83608	57	
33	1.83608	1.82790	1.81981	1.81180	1.80388	1.79604	1.78829	56	
34	1.78829	1.78062	1.77303	1.76552	1.75803	1.75073	1.74345	55	
35	1.74345	1.73624	1.72911	1.72205	1.71503	1.70815	1.70130	54	
36	1.70130	1.69452	1.68782	1.68117	1.67460	1.66809	1.66164	53	
37	1.66164	1.65526	1.64894	1.64268	1.63648	1.63035	1.62427	52	
38	1.62427	1.61852	1.61229	1.60639	1.60054	1.59475	1.58902	51	
39	1.58902	1.58333	1.57771	1.57213	1.56661	1.56114	1.55572	50	
40	1.55572	1.55036	1.54504	1.53977	1.53455	1.52938	1.52425	49	
41	1.52425	1.51918	1.51415	1.50916	1.50422	1.49933	1.49448	48	
42	1.49448	1.48967	1.48491	1.48019	1.47551	1.47087	1.46628	47	
43	1.46628	1.46173	1.45721	1.45274	1.44831	1.44391	1.43953	46	
44	1.43953	1.43524	1.43093	1.42672	1.42251	1.41835	1.41421	45	
COSECANTS	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	0°	
	SECANTS								



版權所有
翻印必究

中華民國三十七年四月初版

地學通論

(數理之部)

全一册 定價國幣六元七角

(精裝本定價另加五元)

(外埠酌加運費運費)

編 著 者 黃 厦 千
發 行 人 蔣 志 澄
印 刷 所 正 中 書 局
發 行 所 正 中 書 局

(2268)

校
：
：
：
：
：
自

