地文航海術

蔣鳳翥編譯

黃祿

劉序

溯自海運大通,造船之術日進,航海之學亦益求精到.輿之方軌東西談瀛浮海之士,力爭上游,各闢蹊徑;時有新著,獨抒機軸.迄乎今日諸法大備,海上風濤號爲坦途焉.惟是諸家之書恥踏因襲之嫌,多存門戶之見,馴至瑕瑜互見,缻鼎雜陳,各有所長,亦各有所短,欲求其完美無缺足供研習之用者,蓋百不一得.而還視我國,並其淺陋者而無,遂使國內學者猶不得不取資外籍,藉窺門徑,顧此失彼,既囿我於一家偏見之言,捨己從人,尤貽人以科學落伍之誚,識者莫不慨焉.余友蔣子鳳翥精究數理,盡得其奧,旁及著術,尤擅其長.其任青島海軍學校教官也,適主斯科,因鑒於以往之失,乃以日本酒井進航海學及松本航海表等原著爲藍本,取長捨短,參以己意,著爲新書,以享學子.書成丐余爲序.惟此書爲綜合之創作,具獨到之特長,其材料之豐富,內容之精審,說理之顯明,例證之確切,已於其著作之動機見之,固無待余言爲介.而蔣子潛心竭慮,盡祛不亟之務,紹述發明獨成有用之書,其卓識定力不尤足多乎.余譾陋不文,謹就鄙見所及筆之於此,是爲序.

劉襄序於青島海軍學校.

地文航海術目次

劉序

緒論……1

第一編　推測法……3

第一章　術語解說……3

第一節　地球上各部之術語……3

第二節　方位及針路之術語……6

第二章　地文航海術基本算法……10

第一節　浬及度之改算法……10

第二節　起程到達兩地經緯度及變經變緯互求法……11

第三章　針路及方位之改正……16

第一節　各差之決定……16

第二節　改羅針路爲眞針路法……22

第三節　改眞針路爲羅針路法……28

第四節　納伯爾氏自差圖……31

第五節　方位改正……34

第四章　平面航法……35

第一節　公式之說明……35

第二節　算例……36

第五章　方位表……40

第一節　方位表作成之原理及構成……40

第二節　方位表使用法……41

第六章　聯針路航法……………………………………45
第一節　法則之說明……………………………………45
第二節　應用方位表計算例……………………………46
第七章　等距圈航法……………………………………52
第一節　解說……………………………………………53
第二節　算例……………………………………………54
第八章　中分緯度航法…………………………………61
第一節　中分緯度之解說及算則………………………61
第二節　中分緯度航法之解說…………………………62
第三節　算例……………………………………………65
第四節　眞中分緯度及其改正…………………………72
第九章　漸長緯度航法…………………………………75
第一節　漸長緯度之解說………………………………75
第二節　以地球實體立論關於漸長緯度之改正………81
第三節　漸長緯度航法解說……………………………85
第四節　算例……………………………………………87
第十章　潮流航法………………………………………93
第一節　潮流航法應用之公式及方位表之關係………93
第二節　算例……………………………………………94
第十一章　日誌算法……………………………………107
第一節　日誌之記載及算則……………………………107
第二節　算例……………………………………………108
第十二章　大圈航法……………………………………125
第一節　關於大圈航法術語之解說……………………125
第二節　求起程針路及到達針路法……………………127

第三節　求航程法……129
第四節　求頂點位置法……130
第五節　求變易針路之各點法……132
第六節　混合大圈航法……139
第二編　沿岸航法……147
第十三章　海圖……147
第一節　概說……147
第二節　平面圖……150
第三節　漸長圖……152
第四節　漸長圖上大圈之記入法……157
第五節　投影圖……163
第六節　多圓錐圖……174
第七節　對於海圖應注意之事項……176
第十四章　陸測位置……178
第一節　方位……178
第二節　位置線……183
第三節　船位之決定……185
第四節　危險角法……196
第五節　位置線及決定位置之誤差……198
表例……1—7

地文航海術

緒　論

航海學者,亦爲科學之一,其所研究之範圍,可分兩端:一,關於航海測器構造之原理及使用、保管、調整諸法;二、關於船舶自此港航向他港,及於海洋之中,決定船舶之位置等之法術;而後者依其所用之方法,又可分爲兩種,地文航法及天文航法是也.

地文航法者,乃船位推測法及沿岸航海法之總稱也,卽就地物以推測船舶之位置,決定航路之方向及距離等.天文航法者,乃依天體觀測,決定船位法、自差算法、經線儀違差算法及其他基本要素算法等之總稱也.

本書爲地文航海術,則關於測器及天文航法,自不在本書範圍之內也.

航海術之一切計算,通常咸藉助於航海表,以期計算簡捷,運用靈便.是以習斯科者,非但對於表之使用宜使嫺熟,卽對其構成之原理,亦當有所領悟,然後始克循序漸進,以底於成.惟以我國航海表等書,目今尙無出版,一般置身於商輪及軍艦者率多採用國外原本.本書爰特採用日本松本氏航海表(Matsumoto's Nautical Tables, 東京海文堂出版)爲例,以資講述.過有用表之處皆註明其頁數,並於書末附列各表式樣,學者可與原本對照讀之,庶可有助於實用也.

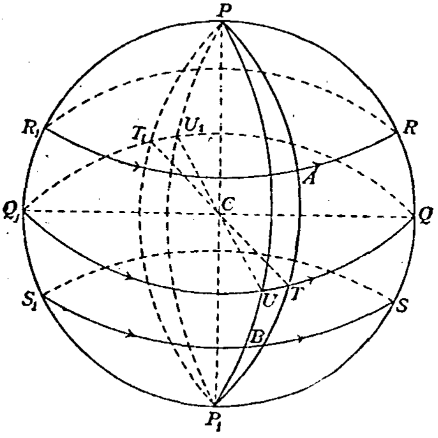
第一編　推測法

第一章　術語解說

第一節　地球上各部之術語

地球非正確之球體,於兩極處,稍呈扁狀,然於航海術上雖假定其爲球體而計算所生之誤差,極爲微少,於實用上,無多大出入,故在一般航海術中,殆無不假定其爲球體而立論者.

1. 地球之自轉 (Rotation of the earth)、**地軸** (Axis)、**地極** (Poles)　第一圖 PQP_1Q_1 以示地球,地球以 PP_1 爲軸,一日間由西向東旋轉一週,曰地球之自轉.其自轉之樞軸 PP_1 曰地軸.其兩端 P 及 P_1 曰地極,在北者曰北極(North pole),在南者曰南極 (South pole).



第一圖

2. 赤道 (Equator)　赤道者,即與地軸直交之大圈也.故赤道上所有之點,與兩極之距離均爲九十度,如第一圖 QTQ_1T_1 所示.

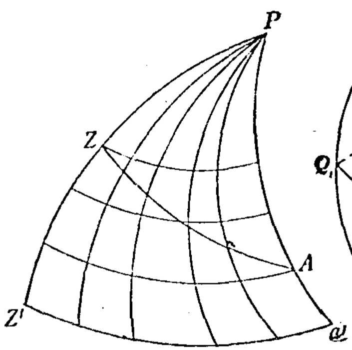
3. 子午線 (Meridian)、**本初子午線**(Prime meridian)　凡經過兩極之大圈,均曰子午線,子午線與赤道直角相交,自不待言,如第一圖 PTP_1T_1 及 PUP_1U_1 所示.經過格林維基 (Greenwich) 天文臺子午儀中心之子午線,曰本初子午線.

4. 等距圈 (Parallels of latitude)　凡與赤道平行之小圈,均

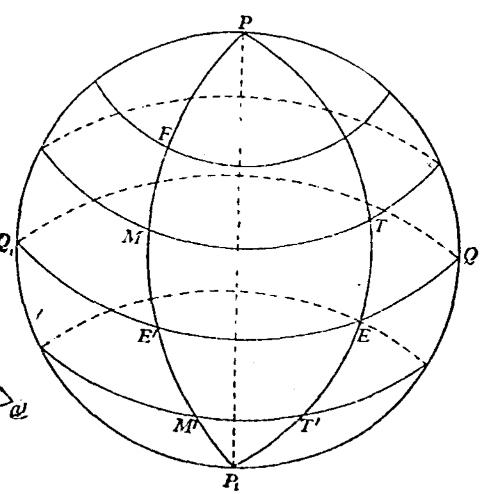
曰等距圈,如第一圖之RR_1及SS_1.

5.緯度(The latitude of a place) 某地之等距圈及赤道截某地之子午線間之弧長,以度分秒度之,曰某地之緯度.緯度由赤道為零起,向北或向南度之,故緯度數,皆自零度起至九十度終.向北度者曰北緯,配以N符號;向南度者曰南緯,配以S符號.如第一圖若$\widehat{AT}$(同$\angle TCA$)等於$30°18'$,而P表北極點,則A點之緯度卽為$30°18' N$.又若$\widehat{BU}$(同$\angle BCU$)等於$81°15'11''$,P_1表南極點,則B點之緯度卽為$81°15'11'' S$.

6.起程緯度(Latitude from),**到達緯度**(Latitude in) 起程緯度者,船舶出發點之緯度也,以$Lat\ from$表之.到達緯度者,船舶到達地點之緯度也,以$Lat\ in$表之.第二圖若P為北極,$a'Z'$為赤道,A為起程點,Z為到達點,則$a'A$卽為起程緯度,$Z'Z$卽為到達緯度.



第二圖



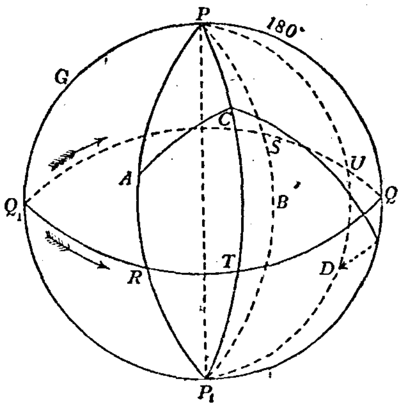
第三圖

7.變緯(Difference of latitude) 過兩地之等距圈間之子

午線之弧,稱曰兩地之變緯,以*D.lat*表之.於第三圖,*FM*為*F*及*T*兩地之變緯,卽*F*之緯度*E'F*與*T*之緯度*ET*之差也.又*TT'*或*MM'*為*T*及*M'*兩地之變緯,卽*T*之緯度*ET*與*M'*之緯度*E'M'*之和也.

8.經度(Longitude of a place)　某地之子午線與本初子午線截赤道之弧長,以度分秒度之,曰某地之經度.經度由本初子午線為零起向東或西各度至一百八十度,向東度者曰東經,配以*E*符號;向西度者曰西經,配以*W*符號.第四圖PQP_1Q_1示本初子午線,*G*點示格林維基之位置,若*A*地在*G*之東,且Q_1R等於46°7′,則*A*地之經度,卽為46°7′*E*.又若*B*地在*G*之西,Q_1S等於117°7′8″,則*B*地之經度,卽為117°7′8″*W*.

9.起程經度(Longitude from)、**到達經度**(Longitude in)



第四圖

船舶出發點之經度,名曰起程經度,以*Long from*表之.船舶到達點之經度,名曰到達經度,以*Long in*表之.如第四圖*A*示起點,*C*示到達點,則Q_1R卽為起程經度,Q_1T卽為到達經度.

10.變經(Difference of longitude)　兩地子午線間,所截赤道之弧,曰兩地之變經,以*D.Long*表之.於第四圖,*RT*為*A*地與*C*地之變經,卽*C*地之經度Q_1T與*A*地之經度Q_1R之差也.*TQU*為*C*地與*D*地之變經,卽由三百六十度減去*C*地之經度Q_1T(東經)與*D*地之經度Q_1SU(西經)之和(TRQ_1SU)也.

11.同角航線(Rhumb line)　船舶所經之航線與各子午線

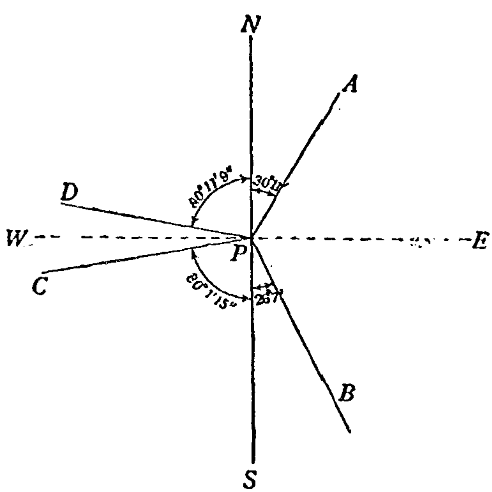
之交角皆爲同一者,曰同角航線.如船舶向東或西航行,則此航線必與赤道或等距圈相合;若向北或南航行,此航線必與子午線相合;除此之外,常漸漸接近地極成螺旋狀.

12.航程(Distance) 於同角航線,或其他航線上,自起程至到達地之距離,以浬作單位,名曰航程,以 *Dist* 表之.

13.東西距(Departure) 起程地及到達地,若在同一等距圈上時,則兩地間之等距圈之浬數,即爲該兩地之東西距.又該兩地之緯度不同時,則過兩地間之無數子午線與同角航線相會之各點,作無數之等距圈,此無數之等距圈爲此無數之子午線所截之諸小弧之和,以浬作單位,名曰該兩地之東西距.東西距以 *Dep* 表之.

第二節 方位及針路之術語

地球上某地之方位云者,乃測者子午線與過某地及測者之大圈之交角之度數也.皆以子午線作基本,由北或南,向東或向西以度之,選用其小於九十度之角,各配以相當符號.例如由北向東度者,則配以 N 若干度 E,餘準此.若某地與測者之距離甚小時,其間之大圓弧,可認爲一直線,則某地之方位,自可認爲測者子午線與過測



第五圖

者及某地之直線之交角也.如第五圖,P 爲測者所在地,NS 爲子午線,則 A、B、C、D 四地之方位,各爲 $N30°11'E$,$S26°7'E$,$S80°1'15''W$,$N80°11'9''W$.

針路者,船舶之子午線與船舶首尾線之交角之度數也.其度法與方位之度法同,惟有時用羅盤儀(Compass)上所刻之三十二點計之.

然子午線,乃無形假設者也,故不得不先決定之.決定之法,必賴羅盤儀;用轉輪式羅盤儀(Gyro compass)其所示之南北,卽爲子午線之眞方向.若用磁石羅盤儀 (Magnetic compass) 因受地磁及船舶內鐵器之影響,其所示之南北,實非子午線之眞方向,以下逐次將其相關諸術語解釋之.

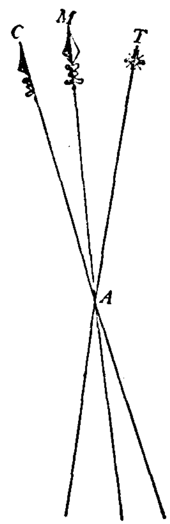
14.磁子午線 (Magnetic meridian)　磁針羅盤儀,未受鐵器之影響時,其所指示之南北,乃磁針之南北,過此磁針之南北之大圈,名曰磁子午線.

15.偏差 (Variation)　磁子午線與眞子午線交角之度數,曰偏差,以 *Var* 表之.換言之,卽未受鐵器影響時,磁針羅盤儀所指示之南北與眞子午線交角之度數也.磁針之北端偏向眞北之右者,曰偏東,配以 E 符號;偏向左者,曰偏西,配以 W 符號.偏差依地域之不同而變,且隨時間之不同亦生變化.海圖上對於偏差皆有詳細記載,實用時自可察閱.

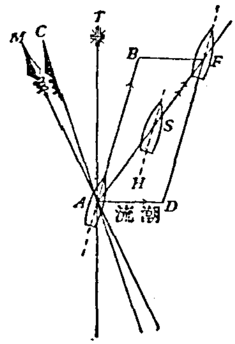
16.自差 (Deviation)　船舶由鋼鐵所造,而在軍艦上,兩舷首尾又裝有多數砲雷,船舶所裝置之磁針羅盤儀,受此等鐵器之磁性影響,其所指示之南北,與磁針之南北,尙不能一致,其交角之度數,曰自差,以 *Dev* 表之.自差隨船舶方向之不同而生變化,自不待言,卽同一船舶在同一方向,因羅盤儀之不同,亦生變化.磁針之北端偏向磁北之右者,曰偏東,配以 E 符號;偏左者曰

偏西,配以W符號,與偏差同.

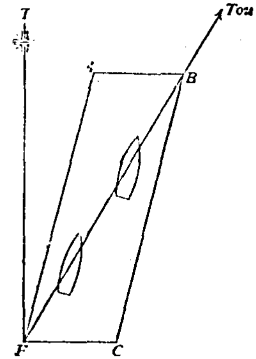
17.羅針違差(Compass error)　偏差及自差雙重之影響羅盤儀磁針所指之南北線與眞子午線交角之度數,稱曰羅針違差,以$C.R$表之.其偏東偏西以及配置符號法,完全與偏差、自差同.



第六圖



第七圖



第八圖

於第六圖,AT示眞北,AM示磁北,AC示羅針北(以下各圖,皆用與此相同之文字代各北),則$\angle TAM$爲偏差,$\angle MAC$爲自差,$\angle TAC$爲羅針違差.

18.風壓差(Lee way)、**流壓差**(Tide way)　船舶航行中,若側方受風時,船舶必平行被風力下壓,此時船舶之航跡與其首尾線,必成一適當之交角,此交角之度數,卽爲風壓差.

船舶若在有潮流之海洋中航行,亦必平行被流力下壓,此時船舶之航跡與其首尾線交角之度數,曰流壓差.第七圖若AB與船舶首尾綫之方向相一致,則$\angle ASH$卽示風壓差或流壓

差也.

19.眞針路(Ture course)　眞子午線與航跡交角之度數,曰眞針路(其度法及配號法見前),以 *T.Co* 表之.

20.視眞路(Apparent course)　船舶首尾線與眞子午線交角之度數,曰視眞路(其度法及配號法見前),以 *App.Co* 表之.故在無風壓,流壓時,視眞路必與眞針路相一致,否則,當不能一致.於第八圖,某船由 F 起程,其首尾線與 FA 相一致,航行某時間後因流壓或風壓之關係,船至 B 地,則 FB 必示航跡,故 $\angle TFA$ 爲視針路, $\angle TFB$ 爲眞針路.

21.磁針路(Magnetic course)　磁子午線與船舶首尾線交角之度數,曰磁針路,以 *M.Co* 表之.其度法及配符號法與眞針路同,惟以磁子午線爲基本耳.第七圖之 MAB,卽爲磁針路.

22.羅針路(Compass course)　羅盤儀磁針之南北線與船舶首尾線交角之度數,曰羅針路,以 *C.Co* 表之.其度法以磁針之南北線爲基準.第七圖之 CAB 卽爲羅針路.

23.地物之眞方位(The true bearing of an object or place)　眞子午線與過測者及地物之大圈或直線(在近距離時)交角之度數,曰某地之眞方位,其度法與眞針路同.

24.地物之磁針方位(The magnetic bearing of an object or place)　磁子午線與過測者及地物之大圈或直線交角之度數,曰某地之磁針方位,其度法與磁針路同.

25.地物之羅針方位(The compass bearing of an object or place)　羅盤儀磁針之南北線與過測者及地物之大圈或直線交角之度數,曰某地之羅針方位,其度法與羅針路同.

第二章 地文航海術基本算法

第一節 浬及度之改算法

地球赤道全長爲 24902.18 哩 (Land miles or statute miles), 一哩等於 5280 呎,故地球赤道全長爲 131483510 呎,故其一分之弧長當爲

$$\frac{24902.18\times5280}{360\times60}=6087 \text{ 呎}.$$

在地理學上或航海學上,爲方便起見,以 6087 呎作一里,記爲浬 (Nautical miles or sea miles). 但在實用上,常用 6080 呎,即

$$1\text{ 浬}=6080\text{ 呎}$$

由上所論,則已知地球上大圈之度數,欲求其長之浬數,或已知其長之浬數,欲求其度數,至爲易易.

1. 改度分秒爲浬法

【例題一】 試改 29°10′40″ 爲浬.

$$\begin{array}{r}29^\circ\\ \times60\\ \hline 1740'\end{array},\qquad 60)\underline{\;40''\;}\ \ 0'.66\cdots\cdots\qquad \begin{array}{r}1740'\\ 10'\\ +\quad 0'.66\\ \hline 1750'.66\end{array}$$

故 29°10′40″ 弧之長 =1750.66 浬.

【例題二】 試改 35°9′34″ 爲浬.

$$35^\circ\times60+9'+34''\div60=8109'.6.$$

故 35°9′34″ 與 8109.6 浬相當.

2. 改浬爲度分秒法

【例題一】 改 3659.69 浬爲度分秒.

$$\begin{array}{r} 60)3659'(60^\circ \\ \underline{3600} \\ 59' \end{array} \qquad \begin{array}{r} 0.69 \\ \underline{\times\ 60} \\ 41''.4 \end{array}$$

故 3659.69 浬與 $60^\circ 59' 41''.4$ 相當.

【例題二】 改 291.8 浬爲度分秒.

$$\begin{array}{r} 60)291'(4 \\ \underline{240} \\ 51 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 0.8 \\ \underline{\times 60} \\ 48'' \end{array}$$

故 291.8 浬與 $4^\circ 51' 48''$ 相當.

問題一

試將下例各題之度數改爲浬數:

(1) $19^\circ 47' 40''$.　　(2) $129^\circ 59' 36''$.

(3) $151^\circ 51' 34''$.

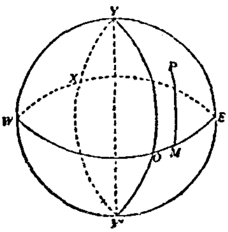
試將下例各題之浬數改爲度數:

(4) 2591.6 浬.　　(5) 971.8 浬.

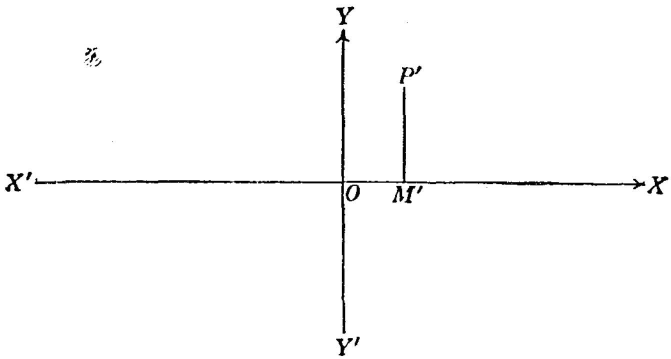
(6) 1917 浬.

第二節　起程到達兩地經緯度及變經變緯互求法

地球上某點位置之決定,必賴經緯度,但吾人關於其間之一切算法,最善莫若用矩形座標以規定之.如第九圖 $YOY'X$ 爲本初子午線,$EOWX$ 爲赤道,今假想將本初子午線伸長使 YOY' 與 YXY' 重合,成如第十圖之 YY' 直線,且將赤道由 X 點左右分伸使成如第十圖之 XX' 直線,則地球上任一點之經度 OM 緯度 M



第九圖



第十圖

P，即與第十圖之 OM'、$M'P'$ 相當.今將 XX' 作 x 軸，YY' 作 y 軸，則 OM' 及 $M'P'$ 即為 P' 點之橫座標及縱座標,由是地球上任何點之經緯度,當可認為以赤道及本初子午線為兩軸之横縱座標也.

如此甚為得當.凡任何點之經度,若為東經則為正,若為西經則為負.緯度若為北緯則為正,若為南緯則為負.知乎此,凡關於經緯度之一切算法,當不致發生若何之困難矣.

3.知起程到達兩地之經緯度求變緯法 設起程點之經度及緯度為 x_1 及 y_1，到達地之經度及緯度為 x_2 及 y_2，因變經及變緯為連兩點之線在赤道及本初子午線上之投影,故無論兩點之位置如何,若將其經緯度如上所論者配以正負號,恆得變經 $=x_2-x_1$，變緯 $=y_2-y_1$，即

$$\left.\begin{aligned} D.\ long &= Long\ \ in - Long\ \ from \\ D.\ lat &= Lat\ \ in - Lat\ \ from \end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{公式 } I$$

由上兩式所求得之變緯若為正,則配以 N 符號,即表示到達點在起程點之北;若為負,則配以 S 符號,即表示到達點在起

程點之南.經度爲正或爲負,亦同樣配以 E 或 W 符號,以示到達點在起程地之東或西.但其結果,若在一百八十度以上者,則當由三百六十度內減去,而原所配之 E 或 W 符號,宜變爲 W 或 E,此無他,蓋用其最短之弧耳.

【例題一】 某船航行,起程地之經度爲東經 135°30′,緯度爲北緯 46°15′,到達地之經度爲東經 140°29′,緯度爲北緯 53°10′,求其變經及變緯之度數.

Long	*in*	140°29′ +	*Lat*	*in*	53°10′ +
Long	*from*	−)135°30′ +	*Lat*	*from*	−)46°15′ +
D. long		4°59′ +	*D. lat.*		6°55′ +

故其變經爲 $4°59'E$, 變緯爲 $6°55'N$.

【例題二】 起程地. *Long*. 80°53′ E, *Lat*. 28°27′33″N, 到達地 *Long*. 69° 32′E,*Lat*. 19°53′18″N,求變經及變緯之浬數.

$$80°53'E = 4853'E, \qquad 28°27'33''N = 1707'.55N',$$

$$69°32'E = 4172'E, \qquad 19°53'18''N = 1193'.3N.$$

Long. in	4172′+	*Lat. in*	1193′.30+
Long. from	−)4853′+	*Lat. from*	−)1707′.55+
D. long.	681′−	*D. lat*	514′.25−

故其變經爲 681 浬 W,變緯爲 514.25 浬 S.

【例題三】 起程地 *Long*. 160°W,*Lat*. 3°50′N, 到達地 *Long*. 179° 30′E, *Lat*. 1°10′12″ S, 求變經,變緯之浬數.

$$160°W = 9600'W, \qquad 3°50'N = 230'N,$$

$$179°30'E = 10770'E, \qquad 1°10'12''S = 70'.2S.$$

Long in	10770′+	*Lat. in*	70′.2−
Long from	−) 9600′−	*Lat. from*	−)230′.0+
	20370 +	*D. lat.*	300′.2−

$$\begin{array}{lr}
360^\circ\times 60\cdots\cdots\cdots\cdots & 21600' \\
 & -)\underline{20370'+} \\
D.\,long & 1230'-
\end{array}$$

故其變經爲 1230 浬 W,變緯爲 300.2 浬 S.

4. 知起程經緯度及變經,變緯求到達經緯度法

由前款知

$$\left.\begin{array}{l}
Long\ \ in = Long\ \ from + D.\ long. \\
Lat\ \ in\ \ = Lat\ from\ \ \ + D.\ lat
\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{公式}II$$

【例題一】 起程地 $Long.\ 15^\circ30'\ W$, $Lat.\ 38^\circ51'20''N$, 變經 135.5 浬 W,變緯 234.5 浬 N, 求到達地之經緯度.

$$135'.5W = 2^\circ15'30''W, \qquad 234.'5N = 3^\circ54'30''N.$$

$$\begin{array}{llr@{\qquad}llr}
Long\ from & & 15^\circ30'\quad - & Lat\ from & & 38^\circ51'20''+ \\
D.\,long & +) & \underline{2^\circ15'30''-} & D.\,Lat & +) & \underline{3^\circ54'30''+} \\
Long\ in & & 17^\circ45'30''- & Lat\ in & & 42^\circ45'50''+
\end{array}$$

故到達地之經緯度爲 $17^\circ45'30''W$, $42^\circ45'50''N$.

【例題二】 起程地 $Long.\ 100^\circ55'W$, $Lat.\ 38^\circ20'30''S$, 變經 320 浬 E,變緯 391 浬 N, 求到達地之經緯度.

$$320'E = 5^\circ20'E, \qquad 391' = 6^\circ31'N$$

$$\begin{array}{llr@{\qquad}llr}
Long\ from & & 100^\circ55'- & Lat\ from & & 38^\circ20'30''- \\
D.\,long & +) & \underline{5^\circ20'+} & D.\,lat & +) & \underline{6^\circ31'\quad\ +} \\
Long\ in & & 95^\circ35'- & Lat\ in & & 31^\circ49'30''-
\end{array}$$

故到達地之經緯度爲 $95^\circ35'W$, $31^\circ49'30''S$.

問 題 二

A 爲起程地,B 爲到達地,試求下列各題變經變緯之浬數:

(1) A: $Long\ \ 6^\circ\ 2'E$, $Lat\ 55^\circ\ 1'N$; B: $Long\ \ 0^\circ\ 0'$, $Lat\ 57^\circ58'N$.

(2) *A*: *Long* 89°42′*W*, *Lat* 32°40′*S*;　*B*: *Long* 79°42′*W*, *Lat* 20°41′*S*.

(3) *A*: *Long* 38°32′*W*, *Lat* 4°15′*N*;　*B*: *Long* 8°43′*E* *Lat.* 15°55′*S*.

(4) *A*: *Long* 176°34′*E*, *Lat* 29°53′*S*;　*B*: *Long* 176°34′*W*, *Lat.* 20° 8′*N*.

用下列各要素,求到達地之經緯度:

	起程地	變經	變緯
(5)	*Long.* 169°25′ *E*, *Lat*, 0° 0′	1347′ *E*	168′ *S*
(6)	*Long.* 168°41′ *W*, *Lat*, 0° 8′*N*	1729′ *W*	182′ *S*
(7)	*Long.* 5°29′ *E*, *Lat*, 3°58′*N*	787′ *W*	238′ *S*
(8)	*Long.* 4°21′ *W*, *Lat*, 4°48′*S*	953′ *E*	288′ *N*

第三章　針路及方位之改正

使用磁針羅盤儀時,因其生有偏差、自差,故直接求船舶之眞針路及地物之眞方位,實不可能.又如船舶之眞針路已知,若用羅盤儀直接示指之航行,亦不可能.故由羅針路及磁針方位,改爲眞針路及眞方位,或由眞針路及眞方位,改爲羅針路及羅針方位,實爲航海術上一種重要算法.他若遇有風壓流壓時亦爲改正眞針路所應計算者.詳論針路及方位之改正各法,實本章之目的也.

第一節　各差之決定

1. 偏差之決定　偏差因地域與時間而不同,前已述及,但因時間所生之變動甚微,其主要者,尙爲地域.欲求某地之偏差數爲若干,當用偏差儀以測之,對於該儀器之構造及使用法,已出本書範圍之外,吾人於航海應用上,由海圖上所標示者求之可矣,

2. 自差之決定　因自差依船首之方位而異,故駕駛者,對其所駕之船舶,船首各羅針方位之自差,必須求出,且須時時更正,以備改正針路及方位之用.致其求之之法,賴乎天體觀測,已屬天文航法範圍內矣.

通常求得各羅針方位之自差後,作成自差表(Deviation table),或自差曲線圖(Deviation curve),以供應用,且由此以推算船首各磁針方位之自差.

3. 自差表(Deviation table)　自差表有兩種作法:一、船首方向每相差10°者;二、船首方向每相差兩點者,如下之自差表一及自差表二所示.

自差表一.

Ship Hd. by C.	Dev.	Ship Hd. by C.	Dev.
N	5°.0 *W*	*S*	6°.0 *E*
N 10° *E*	4°.8 *W*	*S* 10° *W*	5°.2 *E*
N 20° *E*	4°.5 *W*	*S* 20° *W*	4°.0 *E*
N 30° *E*	4°.0 *W*	*S* 30° *W*	3°.0 *E*
N 40° *E*	3°.3 *W*	*S* 40° *W*	2°.0 *E*
N 50° *E*	2°.2 *W*	*S* 50° *W*	1°.0 *E*
N 60° *E*	1°.0 *W*	*S* 60° *W*	0°.3 *W*
N 70° *E*	0°.7 *E*	*S* 70° *W*	1°.5 *W*
N 80° *E*	2°.0 *E*	*S* 80° *W*	2°.5 *W*
E	3°.0 *E*	*W*	3°.3 *W*
S 80° *E*	4°.2 *E*	*N* 80° *W*	3°.8 *W*
S 70° *E*	5°.0 *E*	*N* 70° *W*	4°.3 *W*
S 60° *E*	5°.7 *E*	*N* 60° *W*	4°.7 *W*
S 50° *E*	6°.3 *E*	*N* 50° *W*	4°.8 *W*
S 40° *E*	6°.3 *E*	*N* 40° *W*	5°.2 *W*
S 30° *E*	7°.3 *E*	*N* 30° *W*	5°.3 *W*
S 20° *E*	7°.3 *E*	*N* 20° *W*	5°.3 *W*
S 10° *E*	6°.7 *E*	*N* 10° *W*	5°.3 *W*
S	6°.0 *E*	*N*	5°.0 *W*

自差表二.

Ship Hd. by C.	Dev.	Ship Hd. by C.	Dev.
N	5°.0 *W*	*S*	6°.0 *E*
N N E	2°.3 *W*	*S S W*	3°.8 *E*
N E	2°.7 *W*	*S W*	1°.5 *E*
E N E	0°.2 *W*	*W S W*	1°.3 *W*
E	3°.0 *E*	*W*	3°.3 *W*
E S E	5°.2 *E*	*W N W*	4°.3 *W*
S E	6°.7 *E*	*N W*	5°.0 *W*
S S E	7°.3 *E*	*N N W*	5°.3 *W*
S	6°.0 *E*	*N*	5°.0 *W*

當使用該表時,若船首之方位,在表上所列之度數或點數二者之間時,其自差,當依比例求之。如求 $N\,23^\circ E$ 之自差,則有

$$10:3=(4^\circ.5-4^\circ.0):x$$

$$\therefore \quad x=0^\circ.15$$

故所求之自差爲 $4^\circ.5-0^\circ.15=4^\circ.35\,W$

又如求 SW/W 之自差,則有

$$2:1=(1^\circ.5+1^\circ.3):x$$

$$\therefore \quad x=1^\circ.4$$

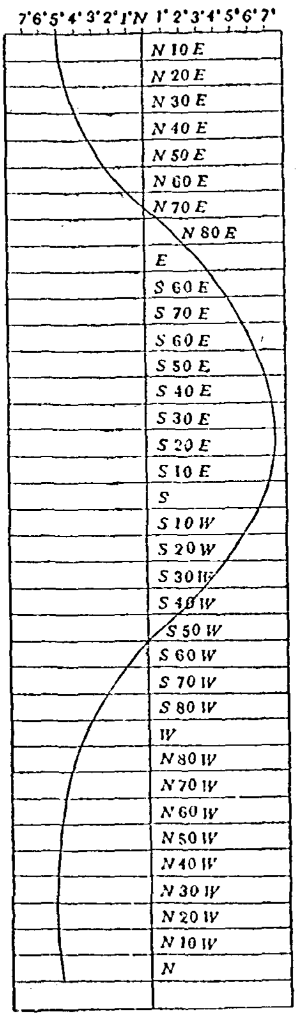
故所求之自差爲 $1^\circ.5-1^\circ.4=0^\circ.1E$

又如求 $SW/W\frac{1}{2}W$ 之自差,則有

$$2:\frac{3}{2}=(1^\circ.5+1^\circ.3):x$$

$$\therefore \quad x=2^\circ.1$$

故所求之自差爲 $2^\circ.1-1^\circ.5=0^\circ.6\,W$.



第十一圖

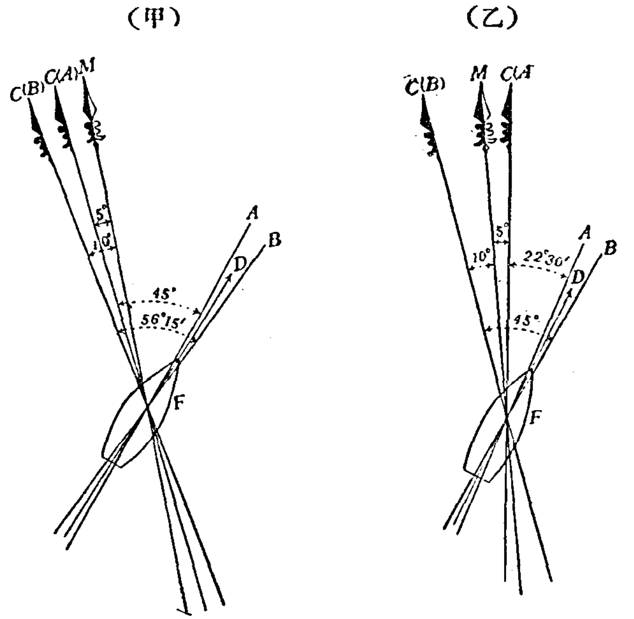
4. 自差曲線圖(Deviation curve) 自差表一有時繪成曲線,以便查用,是曰自差曲線圖.其作法如第十一圖所示:將縱線等分爲三十六,各標以 N、$N\,10^\circ E$ 等,以代船首方位.橫線左右等分爲若干等份(縱線之一份,不必與橫線之一份相等),各標以 1°、2° 等,以代自差數值.如船首方位爲 N,其自差爲 $5^\circ.0\,W$,即在第一橫線上左方 5° 處標一點.船首方位爲 $S80^\circ E$,其自差爲 $4^\circ.2E$,即在第十一橫線上右方量得相當於 $4^\circ.2$ 之長標一點.按照此法,將各方位之自

差點,盡皆標出,而後過各點作一曲線卽得.

若船首之方位,居表上方位兩者之間時,如爲 $N\,23°E$, 則過第三縱線下一份之十分之三點處,作平行於橫線之一直線,此直線在曲線與縱線間線分之長度之相當度數 $4°.4W$ 卽爲所求之自差,自較用自差表時爲簡單多矣.

5. 角度比例　除用納伯爾氏自差圖外(見後)其他無論自差表或自差曲線圖,祇能求得船首羅針方位之自差,若由磁針路改爲眞針路時,當不能應用,非用換算法求之不可.

於第十二圖, M 爲磁北, $C_{(A)}$ 爲船首 A 向之羅北, $C_{(B)}$ 爲船



第十二圖

首 B 向之羅北.今於甲圖,設船首 A 向之羅針路 $(C_{(A)}FA)$ 爲 NE, 其自差爲 $5°\,W$. 則

$$M.CoMFA = 45^\circ - 5^\circ = N40^\circ E,$$

卽船首磁針方位 $N40^\circ E$ 之自差爲 $5^\circ W$ 也.又船首 B 向之羅針路 $(C_{(B)}FB)$ 爲 NE/E, 其自差爲 $10^\circ W$ 則

$$M.CoMFB = 56^\circ 15' - 10^\circ = N46^\circ 15' E,$$

卽船首磁針方位 $N46^\circ 15' E$ 之自差爲 $10^\circ W$ 也.

次設船首 D 向時之方位爲磁針路 NE. 欲求其自差,當依以上之兩磁針路之自差,用比例法求之.卽

C. Co.	Dev.	M. Co.	M. Co.
N E	5° W	N40°0′E	N45°0′E
NE / E	10° W	N46°15′E	N40°0′E
	5°	6°15′	5°

$$6^\circ 15' : 5^\circ = 5^\circ : x,$$

$$\therefore \quad x = \frac{5^\circ \times 5^\circ}{6^\circ.25} = 4^\circ,$$

故磁針方位 $N45^\circ E$ 之自差,當爲

$$5^\circ + 4^\circ = 9^\circ W.$$

今於乙圖,設羅針路 $C_{(A)}FA$ 爲 NNE, 其自差爲 $5^\circ E$. 則

$$M.CoMFA = 22^\circ 30' + 5^\circ = N27^\circ 30' E$$

卽船首磁針方位 $N27^\circ 30' E$ 之自差爲 $5^\circ E$ 也.又羅針路 $C_{(B)}FB$ 爲 NE 其自差爲 $10^\circ W$ 則

$$M.CoMFB = 45^\circ - 10^\circ = N35^\circ E.$$

次設船首 D 向時之方位爲磁針路 $N33^\circ E$. 欲求其自差,用與前例同樣之算法卽得.卽

C. Co.	Dev.	M. Co.	M. Co.
NNE	5° E	N27°30′E	N33° 0′E
N E	10° W	N35° 0′E	N27°30′E
	15°	7°30′	5°30′

$$7°.5 : 5°.5 = 15° : x,$$

$$\therefore \quad x = \frac{5°.5 \times 15°}{7°.5} = 11°.$$

故磁針方位 $N33°E$ 之自差,當爲

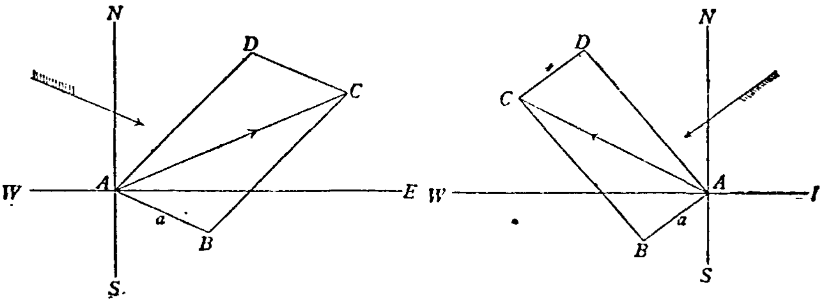
$$11° - 5° = 6°W$$

爲便於實用起見,亦多由前所示之自差表一,將各磁針路每隔十度之自差照上法求出列成一表,如下之自差表三是.

自差表三.

S. Hd. by M.	Dev.	S. Hd. by M.	Dev.
N	49°. W	S	6°.5 E
N 10°E	4°.7 W	S 10°W	5°.7 E
N 20°E	4°.3 W	S 20°W	4°.5 E
N 30°E	3°.7 W	S 30°W	3°.3 E
N 40°E	3°.0 W	S 40°W	2°.2 E
N 50°E	2°.0 W	S 50°W	1°.1 E
N 60°E	0°.9 W	S 60°W	0°.3 W
N 70°E	0°.7 E	S 70°W	1°.7 W
N 80°E	0°.8 E	S 80°W	2°.7 W
E	2°.7 E	W	3°.5 W
S 80°E	3°.8 E	N 80°W	4°.1 W
S 70°E	4°.6 E	N 70°W	4°.5 W
S 60°E	5°.3 E	N 60°W	4°.7 W
S 50°E	5°.9 E	N 50°W	5°.0 W
S 40°E	6°.3 E	N 40°W	5°.3 W
S 30°E	6°.0 E	N 30°W	5°.3 W
S 20°E	7°.3 E	N 20°W	5°.3 W
S 10°E	7°.0 E	N 10°W	5°.1 W
S	6°.5 E	N	4°.9 W

6. 風壓差及流壓差之決定　欲求風壓差或流壓差,首當決定風流之方向及速度.決定之法,賴乎風信計、風力計及檢潮儀等.如第十三圖,設船由 A 點起程,其首尾線與 AD 相一致,其



第十三圖

時之速度爲 AD. 而風或潮之方向如矢向所示,且每時之速度爲 a. 今平行於矢向過 A 點作 AB, 令其長爲 a. 則船之眞針路,及一小時之航程,必爲 AD 及 AB 之合力 AC 之方向與大小; ∠DAC 即爲風壓差或流壓差.因 AD 及 DC 爲已知之量,又 ∠ADC 亦可由 AD 及 AB 之方向而求得.故就 △ACD 用三角法,當可求得 ∠DAC 之値也.

又如知船之眞針路爲 AC 之方向,欲求其風壓差或流壓差,亦可用三角法求之.蓋在 △ACD 內, ∠ACD 可由 AC 及風或潮之方向求得, AD, DC 皆爲已知故也.

以上所論之求風壓流壓二差之方法,在實用時,可用方位表求之(見後).但在不需精確時,即用作圖法求之,亦無不可.

第二節　改羅針路爲眞針路法

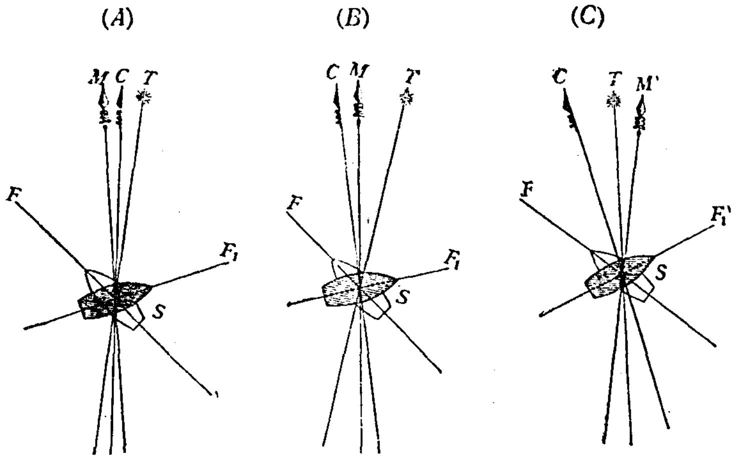
吾人在針路改正中,常規定角之正負,以求其算法簡捷.通常皆以南北爲基準,其與時計指針所行之方向一致而度者爲正,即由北向東,或由南向西爲正.反是爲負,即由北向西,或由南向東爲負.如言針路 N20°E, S71°W, 偏差或自差 6°E, 皆爲正.如言針路 N51°W, S10°E, 偏差或自差 4° W, 皆爲負.

7. 無風壓或流壓之情形　第十四圖中,T、M 及 C 各示眞北、磁北及羅北,FS 及 F_1S 示船首尾線之方向,則

羅針路……………………………CSF 或 CSF_1,

磁針路……………………………MSF 或 MSF_1,

眞針路……………………………TSF 或 TSF_1.



第十四圖

A 圖 $\begin{cases}\text{磁針路}MSF = \text{羅針路}CSF - \text{自差}MSC, \\ \text{磁針路}MSF_1 = \text{羅針路}CSF_1 + \text{自差}MSC;\end{cases}$

B 圖 $\begin{cases}\text{磁針路}MSF = \text{羅針路}CSF + \text{自差}MSC, \\ \text{磁針路}MSF_1 = \text{羅針路}CSF_1 - \text{自差}MSC;\end{cases}$

C 圖 $\begin{cases}\text{磁針路}MSF = \text{羅針路}CSF + \text{自差}MSC, \\ \text{磁針路}MSF_1 = \text{羅針路}CSF_1 - \text{自差}MSC.\end{cases}$

由磁針路改為眞針路時,亦如上同樣,加減偏差卽得.

由上所論,若吾人用前述之正負規定時,恆得:

$$\left.\begin{aligned} M.Co &= C.Co+Dev \\ T.Co &= M.Co+Var \\ T.Co &= C.Co+Dev+Var \end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式 } III$$

由公式 III 求得針路之正負,即表示其爲東或爲西,則其 N、S、E、W之配法,自不致發生困難.但若其度數超過九十度時,當由一百八十度內減去,將所配之 N,S 符號反轉,E,W 符號不動.

【例題一】 羅針路 $N / E\frac{1}{2}E$, 自差 $1\frac{1}{2}$點西,偏差 $3\frac{1}{4}$點東,其眞針路如何?

$C.Co$ $N / E\frac{1}{2}E$	N	1^p	2^q	$E+$
Dev	$+)$	1	2	$W-$
$M.Co$		0	0	
Var	$+)$	3	1	$E+$
$T.Co$	N	3	1	$E+$

故眞針路爲 $NE\frac{3}{4}N$.

【例題二】 羅針路 $W / N\frac{1}{4}N$, 自差 $2\frac{1}{2}$點西,偏差 $3\frac{3}{4}$ 點西,眞針路如何?

$C.Co$ $W / N\frac{1}{4}N$	N	6^p	3^q	$W-$
Dev	$+)$	2	2	$W-$
$M.Co$	N	9	1	$W-$
Var	$+)$	3	3	$W-$
	N	13	0	$W-$
$T.Co.$	S	3^p	0^q	$W-$

故眞針路爲 SW / S.

【例題三】 羅針路 $S15°30' E$, 自差 $5°$ W, 偏差 $13°E$, 其眞針路若何?

C. Co		S	15°	30′	E−
Dev	+)		5°	0′	W−
M. Co		S	20°	30′	E−
Var	+)		13°	0′	E+
T. Co		S	7°	30′	E−

【例題四】 羅針路 N33°E, 偏差 7°15′W, 自差用自差表一,試求其眞針路如何?

$$10:3=0.7:x,$$

$$\therefore\quad x=0^\circ.21=12'.6$$

故　　$Dev=3^\circ 47' W.$

C. Co.		N	33°	0′	E+
Dev.	+)		3°	47′	W−
M. Co.		N	29°	13′	E+
Var.	+)		7°	15′	W−
T. Co.		N	21°	58′	E+

【例題五】 羅針路 SW/W, 偏差 8°6′E, 自差用自差表二,試求其眞針路如何?

$$(1^\circ.5+1^\circ.3)\div 2=1^\circ.4,$$

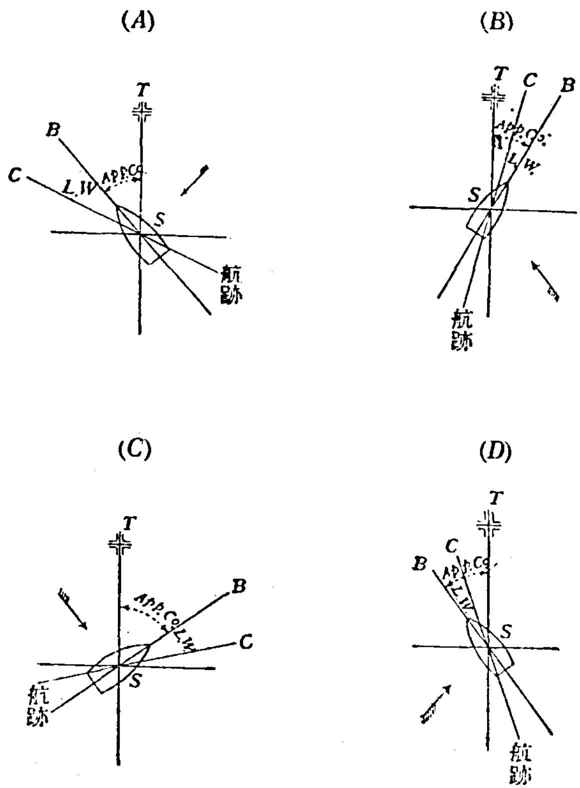
故　　$Dev.=1^\circ.5-1^\circ.4=0^\circ.1=0^\circ 6' E.$

又　　$SW/W=S56^\circ 15' W$

C. Co		S	56°	15′	W+
Dev	+)		0°	6′	E+
M. Co		S	56°	21′	W+
Var	+)		8°	6′	E+
T. Co		S	64°	27′	W+

8. 有風壓或流壓之情形　在有風壓及流壓之情形下,依

上款改正後,所得之針路,乃視針路也.欲求眞針路,必須再改正風壓差或流壓差始可.



第十五圖

如第十五圖,T爲眞北,SB爲船首尾線,因矢向之風或流船之眞航路爲SC.則

A圖:　眞針路TSC=視針路TSB+風壓差(或流壓差)

BSC(右舷受風或潮),

B圖: 眞針路 TSC= 視針路 $TSB-$ 風壓差(或流壓差) BSC(右舷受風或潮),

C圖: 眞針路 TSC= 視針路 $TSB+$ 風壓差(或流壓差) BSC(左舷受風或潮),

D圖: 眞針路 TSC= 視針路 $TSB-$ 風壓差(或流壓差) BSC(左舷受風或潮).

但吾人若將針路仍按前法規定正負,風壓差及流壓差當左舷受風時爲正,右舷受風時爲負,則恆有:

$$T.Co.=App.Co+L.W.(\text{或 } T.W.) \cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式} IV$$

【例題一】 羅針路 $N67°30'E$ 偏差 $21°E$, 自差 $19°E$,風向 SE,風壓差 $2\frac{1}{2}$點,其眞針路如何?

$C.Co$	$N\ 67°$	$30'E+$	
Dev	$+)\ 19°$	$0'E+$	
$M.Co$	$N\ 86°$	$30'E+$	
Var	$+)\ 21°$	$0'E+$	
$App.Co$	$N107°$	$30'E+$	
$L.W$	$28°$	$7'\ -$	(右舷受風)
$T.Co$	$N\ 79°$	$23'E+$	

【例題二】 羅針路 $NE/E\frac{1}{2}E$, 流向 W/N, 流壓差爲 $1\frac{3}{4}$點,自差 $9°W$, 偏差 $24°E$, 求其眞針路.

Dev	$9°\ 0'W-$	$C.Co\ NE/E\frac{1}{2}E$	$N\ 5^p\ 2^q\ E+$
Var	$+)24°\ 0'E+$	$T.W$	$+)\ 1\ \ 3\ \ +$
$C.E$	$15°\ 0'E+$		$N\ 7^p\ 1^q\ E+$
		or	$N81°\ 34'E+$
		$C.E$	$+)\ 15°\ 0'E+$
			$N96°\ 34'E+$
			$-)\ 180°\ 0'$
		$T.Co$	$S\ 83°\ 26'E$

問題三

試由下列諸巳知條件,改羅針路爲眞針路:

	羅針路	自差	偏差
(1)	S	$9°12'W$	$12°\ 0'E$
(2)	$E\frac{3}{4}S$	$6°\ 0'W$	$17°15'E$
(3)	$S63°17'W$	用自差表一	$9°0'W$
(4)	$N64°30'E$	用自差表一	$7°15'E$

試由下列諸巳知條件,改羅針路爲眞針路:

	羅針路	風向	風壓差	自差	偏差
(5)	$SSW\frac{1}{4}W$	SE by S	$2\frac{1}{2}p$	$8°0'W$	$17°\ 0'W$
(6)	SW by S	W by N	$1\frac{1}{2}p$	用自差表二	$25°\ 0'E$
(7)	$S80°30'E$	S by $E\frac{1}{2}E$	$\frac{3}{4}p$	$10°30'E$	$9°12'W$
(8)	$N0°10'E$	S	$1\frac{1}{4}p$	$6°15'W$	$6°15'E$

第三節　改眞針路爲羅針路法

改眞針路爲羅針路,實航海者所常用之一種改算.如欲由甲地向乙地航行時,當先依所要之航法,將眞針路求出,而後將各差改正,求出其當用之羅針路,始能依羅盤儀航行之.

9. 無風壓或流壓之情形　此改正法爲§7之反,故有

$$\left.\begin{aligned} M.Co. &= T.Co - Var. \\ C.Co. &= M.Co - Dev. \\ C.Co. &= T.Co. - Var - Dev. \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式 V}$$

但此處之自差,乃指船首之磁針方位而言,學者當留意焉.

【例題一】 眞針路 W/N, 偏差 $11°30'E$, 自差 $5°W$, 羅針路如何?

T. Co. W/N,	$N\,78°\ 45'W-$
Var.	$-)\ 11°\ 30'E+$
M. Co.	$N\,90°\ 15'W-$
Dev.	$-)\ 5°\ 0'W-$
C. Co.	$N\,85°\ 15'W-$

【例題二】 眞針路 $S76°E$, 偏差 $6°W$, 自差用自差表三,求其羅針路.

T. Co	$S\ 76°\ 0'\ E-$
Var	$-)\ 6°\ 0'W-$
M. Co	$S\ 70°\ 0'\ E-$
Dev	$-)\ 4°36'\ E+$
C. Co	$S\ 74°36'\ E-$

【例題三】 眞針路 $N69°15'E$, 偏差 $4°15'E$, 自差用表,求其羅針路

T. Co	$N\ 69°\ 15'E+$
Var	$-)\ 4°\ 15'E+$
M. Co	$N\ 65°\ 0'E+$
Dev.	$-)\ 0°\ 6'W-$ (用此例求得).
C. Co.	$N\ 65°\ 6'E+$

【例題四】 眞針路 N/E, 偏差 $15°15'E$, 自差 $9°10'E$, 求其羅針路.

T. Co	$N\ 11°\ 15'\ E+$
Var	$-)\ 15°\ 15'\ E+$
M. Co	$N\ 4°\ 0'W-$

Dev	−) 9° 10′ E+
C. Co	N 13° 10′W−

10.有風壓或流壓之情形 此法爲§8之反,故有

App.Co. = T.Co. − L.W.(或 T.W.)…………………… 公式 VI

但三差合併改正時,必須先改眞針路爲視針路之後,再依前法依次改正其偏差、自差始可.不然,船首之磁方位不能先期求出,自差當難於決定也.

【例題一】 眞針路 N8°W, 因 E/N 之風所生之風壓差爲 $\frac{1}{2}$ 點,偏差 17°10′W,自差 3°20′E, 其羅針路如何?

T. Co	N 8° 0′W−	
L. W	−) 5° 37′ −	(右舷受風)
App. Co	N 2° 23′W−	
Var	−) 17° 10′W−	
M. Co	N 14° 47′ E+	
Dev	−) 3° 20′ E+	
C. Co	N 11° 27′ E+	

【例題二】 眞針路正西,流自正南來,其流壓差爲 $2\frac{1}{4}$ 點,偏差 21°14′E, 自差用自差表,求其羅針路如何?

T. Co	N 90° 0′W−	
T. W	−) 25° 19′ +	(左舷受流)
App. Co	N 115° 19′W−	
Var	−) 21° 14′ E+	
	N 136° 33′W−	
M. Co	S 43° 27′W+	
Dev	−) 6° 10′ E+	
C. Co	S 37° 17′W+	

問題四

試由下列諸條件,改眞針路爲羅針路:

眞針路	偏差	自差
(1) S22°30′W	11° 3′E	用自差表
(2) N 2° 7′E	7° 3′W	用自差表
(3) N by W	16°30′W	9° E
(4) S87°E	9° 0′W	3° W

試由下列諸條件改眞針路爲羅針路:

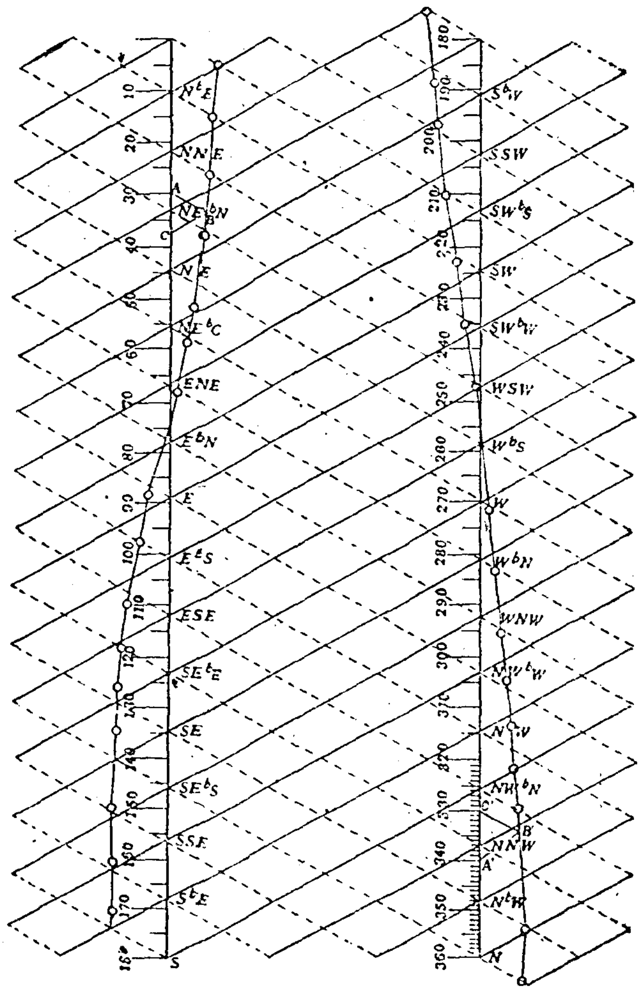
眞針路	風向	風壓差	偏差	自差
(5) S by W	S W	$2\frac{1}{2}$p	3°W	12°W
(6) NE$\frac{1}{2}$E	NNW	3p	4°W	16°E
(7) N	E	30°30′	4°E	用表
(8) N87°W	N	11°	2°E	用表

第四節 納伯爾氏自差圖

在航行近距離時,通常皆將航跡線畫於海圖上,其針路即可由度量得之.然在海圖上,磁北方向;皆有標示,故不必改正偏差,磁針路即能立即求出.所要者,祇改正自差,求其羅針路可矣.又船舶之羅針路已知,欲在海圖上求其航路,亦祇須改此羅針路爲磁針路可矣.

應用納伯爾氏自差圖(Napiers diagram)改正斯項針路時,非常簡捷,亦無須運算,祇用平行線繪圖法,即可滿足吾人之要求.以下分項說明之:

11.納伯爾氏自差圖之作法 如第十六圖,在用紙上作十



第十六圖

八时長之縱線(該圖因限於地位,故分兩段),且三十二等分之,由上端自 N 起,依次在分點處將羅盤上之三十二點記入,又將此

縱線三百六十等分之,由上端自 0° 起,每隔十度,各標以 10°、20° 等.

次過所標方位各點,向左上方與縱線六十度之傾角作諸平行點線,向右上方與縱線六十度之傾角作諸平行實線.

玆再將各點之自差,以與縱線同一比例尺度,分別在過各相當點之點線上量之.自差若爲偏東,則向右方量之,偏西則向左方量之.過所量得之各點,繪一曲線,即稱謂納伯爾氏自差圖.

12.納伯爾氏自差圖之使用法　如欲改羅針路 $N\,30°E$ 爲磁針路,則即在該圖上,過 $N\,30°E$ 點(設爲 A 點)作 AB 線與點線相平行,B 爲其與曲線之交點,則 AB 長之相當度數,當爲羅針路 $N\,30°E$ 之自差.再過 B 作 BC 與實線平行,C 爲其與縱線之交點,則 AC 必等於 AB, 故 C 點所示之度數 $N\,38°E$, 當爲所求之磁針路.

若改磁針路爲羅針路,法亦同此.如欲改磁針路 $N\,20°\,W$ 爲羅針路,則過 A' 點(即 $N\,20°W$)作與實線平行之直線,設其與曲線之交點爲 B'.再過 B' 作 $B'C'$ 與點線平行,設其與縱線之交點爲 C',則 C' 所示之度數 $N\,30°W$, 即爲所求之羅針路.

問題五

學者各用橡皮紙,按照第十六圖精製一拍氏自差圖.且應用該圖,將下列之羅針路改爲磁針路,磁針路改爲羅針路.

(1) C.Co.	$NE\frac{1}{2}E$	(2) C.Co.	$S\,65°\,W$
(3) C.Co.	SSW	(4) C.Co.	$N\,20°\,W$
(5) M.Co.	$N\,11°\,E$	(6) M.Co.	W/S
(7) M.Co.	$S\,38°\,E$	(8) M.Co.	$ESE\frac{1}{2}E$

第五節 方位改正

方位之改正,多用於沿岸航行中.即與測得物標之羅針方位後,改爲磁針方位或眞方位,以供於海圖上決定船舶之位置時用之.

改羅針方位爲眞方位,或改眞方位爲羅針方位,其方法完全與針路之改正同.惟在航行中,用改正方位以決定船位時,必當迅速從事,故學者萬勿以爲簡易,而忽略之.

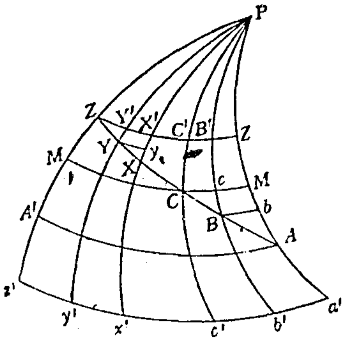
第四章　平面航法

平面航法 (Plane sailing) 乃依平面三角之公式,於針路,航程,變緯及東西距四者之中,知其任何二要素,求其他二要素之一種算法也.

使用本航法時,乃將地面作爲平面立算(見下公式之求來自明),於航程巨大之情形下,實用上不能不生有誤差.又用本航法以直接推算航船之位置爲不可能,必與其他航法合用始可.

第一節　公式之說明

於第十七圖, AZ 爲過起程地 A, 及到達地 Z 之同角航線.



第十七圖

今將 AZ 如 AB,BC,…………XY,YZ 等無數等分之.過此等分點 B,C,…………X,Y,Z 等,作等距圈及子午線,則得無數之小三角形 ABb, BCc,…………XYy, YZY' 等.此等之小三角形,可以認爲平面直角三角形.又因 AZ 與各子午線成等角,故此諸平面直角三角形,當爲等角者.

今於此等三角形中得

$Ab = AB\ \cos Co,$　　　$Bb = AB\ \sin Co,$

$Bc = BC\ \cos Co,$　　　$Cc = BC\ \sin Co,$

…………………………　　　…………………………

…………………………　　　…………………………

…………………………　　　…………………………

$$Xy = XY\ \cos Co, \qquad Yy = XY \sin Co,$$
$$YY' = ZX\ \cos Co, \qquad ZY' = ZY \sin Co.$$

加之得 $(Ab+Bc+\cdots\cdots+Xy+YY') = (AB+BC+\cdots\cdots+XY+ZY$

$(Bb+Cc+\cdots\cdots+Yy+ZY') = (AB+BC+\cdots\cdots+XY+ZY$

但 $Ab+Bc+\cdots\cdots+Xy+YY'$ 等於兩地 A 及 Z 之變緯, $Bb+$
$\cdots+Yy+ZY'$ 等於兩地之東西距, $AB+BC+\cdots\quad+XY+Z$
兩地之航程,故得

$$\left.\begin{aligned} D.lat &= Dist \times \cos\ Co \\ Dep\ &= Dist \times \sin\ Co \end{aligned}\right\} \text{..............................公}$$

由此二式更得

$$\left.\begin{aligned} tanCo &= \frac{Dep}{D.lat} \\ Dist\ &= D.lat \times \sec\ Co. = Dep \times \csc\ Co. \end{aligned}\right\} \text{.........公式}$$

第二節　算例

1. 知針路及航程求變緯及東西距.

由公式 *VII*

$$D.Lat = Dist \times \cos Co.$$
$$Dep\ = Dist \times \sin Co.$$

故若知針路及航程,則變緯及東西距,當不難求得.所求之為南或北,依針路偏南或北以定之.東西距之為東或西,亦路偏東或西以定之.

【例題一】某船由 A 處以 $S34°30'E$ 之眞針路行250浬 B 處.求 A,B 兩地之東西距及變緯.

$D.lat\ = 250 \times \cos 34°30'$, $\qquad Dep\ = 250 \times \sin 34°30'$,

$logD.lat = log250 + log\cos 34°30'$, $\qquad logDep = log250 + log\sin 3$

$log250$	2.397940	$log250$	2.397940

$log cos 34°30'$	$9.915994-10$	$log sin 34°30'$	$9.753128-10$
$log D.lat$	2.313934	$log Dep.$	2.151068

$\therefore$ $D.lat=206.03$ 浬 S　　　$\therefore$ $Dep=141.60$ 浬 E

【例題二】 某船由北緯四十八度四十分,東經一百三十九度五十分之地,向 NE/N 航行二百九十六浬.求其到達地之緯度及其間之東西距.

$D.lat =296\times cos 33°45'$　　　$Dep =296\times sin 33°45'$

$log D.lat=log 296+log cos 33°45'$　　$log Dep=log 296+log sin 33°45'$

$log 296$	2.471292	$log 296$	2.471292
$log cos 33°45'$	$9.919846-10$	$log sin 33°45'$	$9.744739-10$
$log D.lat$	2.391138	$log Dep$	2.216031

$\therefore$ $D.lat=246.11$ 浬 $N=4°6'7''N$　　$\therefore$ $Dep=164.44$ 浬 E

Lat from		$48°\ 40'\ 0''N+$
D. lat	$+)$	$4°\ 6'\ 7''N+$
Lat in		$52°\ 46'\ 7''N+$

2. 知變緯及東西距求針路及航程

由公式 $VIII$

$$tan\ Co=\frac{Dep}{D.lat}$$

$$Dist=D.lat\times sec Co.=Dep\times csc Co.$$

故其求法,一目了然,無贅述之必要.然所得之眞針路,變緯爲何符號,其前卽當配以何符號,東西距爲何符號,其後卽當配以何符號,始爲完全.

【例題】 某船自北緯三十四度之地出發,行某時間後,到達北緯三十六度三十二分之地.此間之東西距計百五十二浬東.某船之針路及航程各當如何?

$$\begin{array}{ll} Lat\ in & 36^\circ\ 32'N+ \\ Lat\ from & -)\underline{34^\circ\ \ 0'N+} \\ & \quad 2^\circ\ 32'N \end{array}$$

$$D.lat \qquad 152\text{浬}\ N$$

$tan\ Co=\dfrac{152}{152}=1$ ∴ 某船之針路爲 $N45°E$

$$Dist=152\times sec\,45^\circ$$

$$log\ Dist=log\ 152+log\ sec\,45^\circ$$

$$\begin{array}{ll} log\ 152 & 2.181844 \\ log\ sec\,45^\circ & +)\underline{10.150515-10} \\ log\ Dist & 2.332359 \end{array}$$

∴ $Dist=214.96$ 浬.

問題六

(1) 某船自北緯 36°30′ 之地出發,眞針路爲 SW/W,共航 420 浬,求其到達地之緯度及東西距.

(2) 一船自南緯 3°54′ 之地以 $NW\frac{3}{4}W$ 之針路,航至北緯 2°14′ 之地,求該船之航程及東西距.

(3) 一船由南緯 15°55′ 之某島向 $SE/S\frac{1}{2}S$ 航行,某時間後至目的地,東西距爲150浬,則其到達緯度及航程各當如何?

(4) 某船由北緯 28°20′ 之地出發,向東北方航行486浬,依天測知船所在地爲北緯32°17′,則該船之眞針路及東西距各若何?

(5) 某船自北緯 37°3′ 之地向南西方向出航,變緯 67 浬,東西距215浬,則該船之眞針路及航程各若何?

(6) 一船自在北緯 49°58′ 之 Lizard 燈臺向偏西方向航行520浬,至在該燈臺南300浬之目的地,求該船之眞針路、東西距及到達地之緯度各如何?

(7) 一船自北緯35°15′之某岬向東北方航出226浬,作成東198浬之東西距,試求其眞針路及到達緯度.

(8) 某日午後六時,一船自北緯14°45′之某地以W/S之眞針路,每時7浬之速度出航,至翌日正午至某島停泊,試求其航程、東西距及到達緯度各如何?

(9) 一船自北緯55°30′之地出航,眞針路為$S\,33°45'\,W$,經過20小時後到北緯53°17′之地,則此船每時之速度及東西距當為若干?

(10)向東北方航行之某船,其東西距恰為變緯之二倍,試求其眞針路.

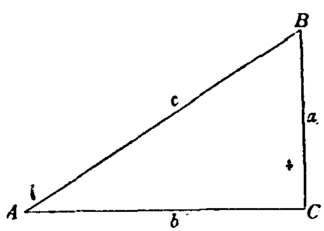
第五章　方位表

方位表,乃用平面直角三角形之斜邊及一銳角,依平面直角三角形之公式,將其兩腰算出而編成者.換言之,即用針路及航程,依前章之公式 *VII*, 將其變緯及東西距算出而編成者也.

由是,若使用本表,則於航海術上之計算,自可簡捷多矣.

第一節　方位表作成之原理及構成

1. 方位表作成之原理　第十八圖 ABC 示平面直角三角形, a、b、c 各為其相當角對邊之長,則



第十八圖

$$a = c \sin A, \qquad b = c \cos A,$$

又 $$a = c \cos B, \qquad b = c \sin B.$$

但 $A + B = 90°$, 故 A 角對邊之值與其餘角鄰邊之值同, A 角鄰邊之值與其餘角對邊之值亦同.

今角 A 作為針路,則 $a =$ 東西距, $b =$ 變緯, $c =$ 航程.故若針路自四分之一點乃至四點,或自一度乃至四十五度,對於某航程之變緯及東西距之值計得後,則針路自四點乃至七點四分之三,或自四十五度乃至八十九度,對於同一航程之變緯及東西距之值,將前者之變緯及東西距互移其名即得.方位表之構成,即據此以編列者.

2. 日本松本氏航海表方位表之構成　第四十表(*p.*534–549):針路以點作主,兩鄰近針路之差為四分之一點.由四分之一點至四點者,皆在上欄.由四點至七點四分之三者,皆在下欄.航程於每一針路之下,皆由一浬至三百浬,添記於最左之 *Dist*

一行中.其所求得之變緯及東西距,皆分別記入 D. Lat 及 Dep 二行之中.惟若用上欄之針路,其 D. Lat、Dep, 亦當以上欄者爲標準.若用下欄之針路,其 D. Lat、Dep 卽當以下欄者爲標準.

第四十一表 (p.550－639):其構成之格式,與第四十表同,惟針路以度爲主.其相鄰兩針路之差爲一度,航程由一浬至六百浬耳.

第二節 方位表使用法

3. 知針路及航程求變緯及東西距法、依針路之點數或度數,於上述之兩表中,擇取其相當之一頁,於 dist 行內將所與之航程尋出,則其所指示之 D.Lat 及 Dep(依針路在上欄或下欄,而用上欄或下欄之 D. Lat. 及 Dep), 卽爲所求之變緯及東西距.

若航程帶有小數時,初期可認爲其無小數點,按上法求得其變緯及東西距,再依航程小數點後之位數,將變緯及東西距,亦加上小數點.

在航程甚大,表上無記載之情形下,可將此航程以二、或三、或四、或五除之,而後以除得之數作航程,由表所查得之 D.lat 及 Dep, 再以原所除之數乘之,卽爲所求之實在變緯及東西距也.

若針路非與表上正相符時,當依比例法求之,與查對數同.

由上所得之變緯及東西距,恆依其針路以配符號,與前章 §1 同

【例題一】 某船以 $SE\frac{1}{2}S$ 之眞針路航行 300 浬,求其變緯與東西距.

由松本氏航海表 p.547 得:

$D.\ lat = 231.9$ 浬 S, $Dep. = 190.3$ 浬 E.

【例題二】 眞針路 $N68°W$, 航程 360 浬,則其變緯及東西距

各若干?

由 $p.593$ 得

$D.lat = 134.8$ 浬 N, $Dep. = 333.8$ 浬 W.

【例題三】 眞針路 $N45°30'E$, 航程 60 浬,變緯及東西距如何?

由 $p.636$ 及 638 得

	D. lat	Dep
Co 45°	42.4N	42.4E
Co 46°	41.7N	43.2E
	2)84.1	2)85.6
Co N45°30'E	42.0N	42.8E

【例題四】 眞針路 $NW\frac{1}{2}N$, 航程 20.3 浬,其變緯及東西距如何?

今將航程 20.3 作爲 203 看之,則由 $p.547$ 得 $D.lat$ 及 Dep 各爲 $156.9N$ 及 $128.8W$, 故所求之變緯及東西距各爲

$D.lat = 15.69$ 浬 N, $Dep = 12.88$ 浬 W.

【例題五】 眞針路 $S41°W$, 航程 714 浬,變緯及東西距若干?

今將航程 714 二等分之得 357, 由表得 $D.lat = 269.4S$, $Dep = 234.2W$. 故

$$D.lat\quad \begin{array}{r} 269.4 \\ \times\ 2 \\ \hline 538.8 \end{array}\text{ 浬 } S \qquad Dep.\quad \begin{array}{r} 234.2 \\ \times\ 2 \\ \hline 468.4 \end{array}\text{ 浬 } W$$

本題更可將 714 分爲兩部一爲 600, 一爲 114, 各求其變緯及東西距,而後再各求其和,卽

Dist	D. Lat	Dep
600	452.8	393.6
+114	+ 86.0	+ 74.8
714	538.8S	468.4W

故所求之變緯及東西距,各為538.8浬 S 及468.4浬 W.

4.知變緯及東西距求針路及航程法 所知之變緯及東西距之數值之大者,在表中上欄所標之 *D. Lat* 縱行內查出相同者,數值小者,在表中上欄所標之 *Dep* 縱行內查出其相同者但所查得之兩數,必須在同一橫行始可.此橫行左方 *Dist* 縱行內之數值,當為所求之航程.若變緯比東西距大,表內上欄之點數或度數,為所求之針路.反之,表內下欄之點數或度數,始為所求之針路.

求得之針路之符號,當依變經及東西距之符號以定之,與前章§2同.

所與之變緯及東西距,不能恰與表內符合時,則表內所載之甚相近二數之相當航程及針路,可認為所求者.

所與之變緯及東西距之甚相近之值,在表上兩頁中出現者,則此兩頁所載之針路及航程之平均數,始可認為所求者.

變緯及東西距,若超過表上所記者時,當用同一能整除之數除之,以此除後之變緯及東西距所求得之航程,再用前所除之數乘之,即為所求之航程.其針路仍為所求,不得亦以該數乘之.

當變緯及東西距甚小,數頁之中皆有其相近值,欲求得正確之針路及航程時,當各以10乘之,而後所求得之針路即為所要之針路,求得之航程,當以10除之,始為所要之航程.

【例題一】 某船以某針路航行某時間,其所成之變緯為69.2浬 S,東西距為16浬 W,其眞針路及航程各如何?

由 *p.*574得

$$T.Co=S13^\circ W,\qquad Dist=71\text{浬}.$$

【例題二】 一船以某針路,向北作成之變緯為36浬,向西作

成之東西距爲60浬,求針路及航程.

由$p.610$得在同一橫行內之甚相近二數爲 60.0 及 36.1,故

$$T.\,Co=N59°W, \qquad Dist=70\text{ 浬}.$$

【例題三】 某船以某針路航行,向北之變緯爲167.7浬,向東之東西距爲565.6,求其針路及航程.

表中$p.581$之567.1及162.7,與所與之二數甚相近,其所示之針路及航程各爲74°及 590 浬.又$p.583$之564.2及172.5亦與所與之二數甚相近,其所示之針路及航程各爲73°及 590 浬.平均之得

$$T.\,Co=N73°30'E, \qquad Dist=590\text{ 浬}.$$

【例題四】 變緯962.2浬南,東西距490.4浬西,針路及航程各如何?

因所與之二數,超過表上所記之數,茲以 2 除之得 $D.\,lat.=481.1$, $Dep=245.'2$. 由$p.603$得其相當之針路及航程各爲27°及540 浬,故得

$$T.\,Co.=S27°W, \qquad Dist=1080\text{ 浬}.$$

【例題五】 變緯爲0.5浬南,東西距爲 7.08 浬東時,針路及航程各如何?

因0.5及 7.08 甚小,故可以10乘之得 $D.\,lat=5.0$, $Dep=70.8$ 由 $p.556$ 得其相當之針路及航程各爲86°及71浬,故得

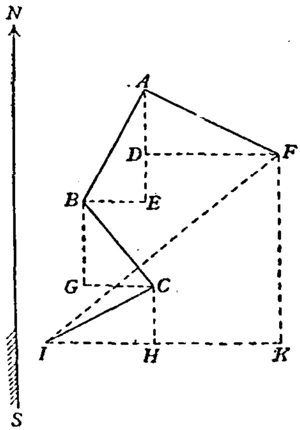
$$T.\,Co=S86°E, \qquad Dist=7.1\text{ 浬}.$$

第六章　聯針路航法

船舶航行中,因風向之轉變,或島嶼之散列,屢爲航行之障礙,致不能直行達到其目的地,故常取種種針路而爲縫航.用依航行中每時之航程、羅針路、自差、偏差、風向、風力、流向及流速,所求得各種眞針路及航程,推算吾人意想中之直行針路及航程,常爲必需.此推算之方法,曰聯針路航法 (Traverse sailing).

第一節　法則之說明

本航法仍依平面航法計算之.如某船由 F 地起程,如第十九圖實線所示之眞針路到達 I 地.則 AD、AE、EG 及 CH 必爲每一針路及其相當航程之變緯,茲以 y_1、y_2、y_3 及 y_4 代之.FD、EB、GC 及 HI 必爲每一針路及其相當航程之東西距,茲以 x_1、x_2、x_3 及 x_4 代之.則意想中之直行眞針路 $\angle KFI$ 及航程 FI 所生之變緯 FK 及東西距 KI, 必各等於下二式所示:



第十九圖

$$FK = y_2 - y_1 + y_3 + y_4,$$

$$KI = x_1 + x_2 - x_3 + x_4.$$

但吾人若將變緯爲北者及東西距爲東者配以正號;變緯爲南者及東西距爲西者,配以負號時;則上二式可變爲

$$FK = y_1 + y_2 + y_3 + y_4,$$

$$KI = x_1 + x_2 + x_3 + x_4.$$

按一般講,若 y_1、y_2、y_3、$\cdots\cdots\cdots\cdots y_n$ 及 x_1、x_2、x_3、$\cdots\cdots\cdots\cdots x_n$, 各代每一

眞針路及其相當航程之變緯及東西距,恆得

$$\left.\begin{array}{l}\text{直行變緯} \quad = y_1 + y_2 + y_3 + \cdots\cdots\cdots + y_n \\ \text{直行東西距} = x_1 + x_2 + x_3 + \cdots\cdots\cdots + x_n\end{array}\right\} \cdots\cdots \text{公式 } IX$$

此所得之結果,不獨數值不誤,更能依所得之符號,以判斷變緯及東西距之方向,甚爲便利.

直行變緯及東西距,依此公式求得後,其直行之眞針路及航程,自不難應用公式 *VIII* 以求得之.

以上所論,乃示其原理之由來,致實行計算時,當以用方位表爲宜.

第二節 應用方位表計算例

【例題一】 一船自北緯50°13′之地,以下列之諸眞針路及航程航駛,求其直行眞針路,航程及到達緯度各如何?

WSW 51 浬, *W/N* 35 浬, *S/E* 45 浬,
SW/W 55 浬, *SSE* 41 浬.

計 算 表

T.Co	Dist	D. lat		Dep	
		N.	S	E	W
S6Pts W	51		19.5		47.1
N7Pts W	35	6.8			34.3
S1Pt E	45		44.1	8.8	
S5Pts W	55		30.6		45.7
S2Pts E	41		37.9	15.7	
T. Co made good S. 39° W Dist made good 162 浬		6.8	132.1 −) 6.8 125.3	24.5	127.1 −) 24.5 102.6

Lat. from	$50°13'N+$
D. lat	$+)\ 2°\ 5'.3S-$
	$48°\ 7'.7N+$
Lat in	

【例題二】某船由某島出發,如下表所列之諸羅針路及航程航駛之,求其直行針路及航程.

No	羅針路	航程	風向	風壓差	自差	偏差
1	S	15	S	0pts	0°	15°E
2	SSE	31	SW	1pt	11°W	15°E
3	NE½E	35	N/W	1½pts	14°W	15°E
4	SE½S	17	SSW	1½pts	22·W	15°E
5	S/W	17	SSW	½pts	10°E	15°E
6	NW/W	38	WSW	1pts	7°E	15°E
7	SSW	19	W	¼pts	23°E	15°E
8	W/N	19	W	0pts	12°E	15°E
9	NE	34	ESE	¼pts	13°W	15°E
10	E/N	15	E/S	0pts	0°	15°E

(1)

C. Co	$S\ 0°\ 0'$
Var	$+)\ 15°\ 0'E+$
T. Co	$S\ 15°\ 0'W+$
	$S\ 15°\ W$

(2)

C. Co.	$S\ 2^{pts}\ E-$
L. W	$+)\ 1\qquad -$
	$S\ 3^{pts}\ E-$
或	$S\ 33°45'E-$
Dev	$+)\ 11\ \ 0\ W-$
	$S\ 44°45'E-$
Var	$+)\ 15°\quad E+$
T. Co.	$S\ 29°45'E-$
	$S\ 30°\quad E$

(3)	C. Co	N $4^{pts}2^{q}$ E+
	L. W.	+) 1 2 +
		N $6^{pts}0^{q}$ E
	或	N67° 30′ E+
	Dev	+)14° W−
		N53° 30′ E+
	Var	+)15° E+
	T. Co	N68° 30′ E+
		N69° E

(4)	C. Co	S $3^{pts}2^{p}$ E−
	L W	+) 1 2 −
		S $5^{pts}0^{q}$ E−
	或	S56° 15′ E−
	Dev	+)22° 0′ W−
		S78° 15 E−
	Var	+)15° 0′ E+
	T. Co	S63° 15′ E−
		S63° E

(5)	C. Co	S 1^{pt} 0^{q} W+
	L W	+) 2 −
		S $0^{pts}2^{q}$ W+
	或	S 5° 38′ W+
	Dev	+)10° E+
		S15° 38′ W+
	Var	+)15° E+
	T. Co	S30° 38′ W+
		S31° W

(6)	C. Co	N $5^{pts}0^{q}$ W−
	L. W.	+) 1 0 +
		N $4^{pts}0^{q}$ W−
	或	N45° 0′ W−
	Dev	+) 7° 0′ E+
		N38° 0′ W−
	Var	+)15° 0′ E+
	T. Co	N23° 0′ W−
		N23° W

(7)	C. Co	S $2^{pts}0^{q}$ W+
	L. W.	+) 2 −
		S $1^{pts}2^{q}$ W+
	或	S16° 53′ W+
	Dev	+)23° E+
		S39° 53′ W+
	Var	+)15° E+
	T. Co	S54° 53′ W+
		S55° W

(8)	C. Co	N $7^{pts}0^{q}$ W−
	或	N78° 45′ W−
	Dev	+)12° E+
		N66° 45′ W−
	Var	+)15° E+
		N51° 45′ W−
		N52° W

(9) C.Co $N\ 4^{pts}0^{q}\ E+$

L.W. $+)\underline{\quad 2 \quad -}$

$N\ 3^{pts}2^{q}\ E+$

或 $N\ 39^\circ\ 23' E+$

Dev $+)\underline{\ 13^\circ \quad W-}$

$N\ 26^\circ\ 23'\ E+$

Var $+)\underline{\ 15^\circ \quad E+}$

T.Co $N\ 41^\circ\ 23'\ E$

$\underline{\underline{N\ 41^\circ E}}$

(10) C.Co $N\ 7^{pts}0^{q}E+$

或 $N78^\circ\ 45' E+$

Var $+)\underline{15^\circ \quad E+}$

$N93^\circ\ 45' E+$

T.Co $S86^\circ\ 15' E$

$\underline{\underline{S86^\circ E}}$

No.	T. Co	Dist	D. lat		Dep	
			N	S	E	W
1	S 15°W	15		14.5		3.9
2	S 30°E	31		26.8	15.5	
3	N69°E	35	12.5		32.7	
4	S 63°E	17		7.7	15.1	
5	S 31°W	17		14.9		8.8
6	N23°W	38	35.0			14.8
7	S 55°W	19		10.9		15.6
8	N52°W	19	11.7			15.0
9	N41°E	34	25.7		22.3	
10	S 86°E	15		1.0	15.0	
T.Co made good N 77°E Dist. made good 43 浬			84.9 −) 75.8 9.1	75.8	100.6 −) 58.1 42.5	58.1

問題七

(1) 一船自北緯53°19′之地,以下列之針路及航程駛至某地,求該地之緯度,與該船之直行針路及航程.

$SE/S\frac{3}{4}S$, 8′; ENE, 23′; $NW/W\frac{1}{2}W$, 36′; $E\frac{3}{4}N$, 48′; $NW\frac{1}{2}W$, 46′.

(2) 一船自北緯 38°25′ 之地出航，以下列之針路及航程駛行，求其到達緯度，與直行針路及航程各當如何？

SW/W, 28′; W/N, 55′; W, 47′; $SE\frac{3}{4}S$, 25′; S, 101′; $W\frac{3}{4}S$, 72.

(3) 某船自南緯 37°24′ 之地出航，向 SW/S 行 20 浬，正 W 行 16 浬，NW/W 行 28 浬，SSE 行 32 浬，ENE 行 14 浬，SW 行 36 浬，則其到達緯度及直行針路航程各當如何？

(4) 某船自北緯 46°20′ 之地出發，以下列之針路及航程駛行，求其到達緯度及直行針路與航程.

$N72°E$, 21′; $N30°E$, 17′; $S26°W$, 13′; $S73°E$, 19′; $S1°W$, 19′; $S65°E$, 48′; $N76°E$, 19′; $N48°N$, 48′.

(5) 某船自南緯 1°5′ 之地出發，向 $N17°E$ 行 13 浬，正 N 行 38 浬，$N27°E$ 行 18 浬，$N79°E$ 行 25 浬，$S83°W$ 行 23 浬，$S48°E$ 行 25.2 浬，$N48°W$ 行 27.1 浬，$N36''W$ 行 21 浬，求其到達緯度，與直行針路及航程.

(6) 一船自南緯 36°35′ 之地起程，向 $N84°W$ 行 18 浬，$N89°W$ 行 30.4 浬，$N67°W$ 行 29.9 浬，$N39°W$ 行 33.9 浬，$N8°W$ 行 25.9 浬，$N73°W$ 行 34.9 浬，$N86°W$ 行 44.7 浬，$S65°E$ 行 56 浬，求其到達緯度及直行針路與航程.

(7) 某船自北緯 47°12′ 之地起程，以下列之針路及航程駛行，試求其直行針路及航程.

$S31°W$, 16′; $N72°E$, 13.′1; $S52°W$, 15′; $S44°E$, 15′.1; $N44°W$, 19′.7; $N77′E$, 11.′4; $S40°W$, 16′; $S14°E$ 6′.

(8) 一船自北緯 1° 之地，向 E 行 8 浬，$E\frac{1}{4}N$ 行 20 浬，SE/E 行 33 浬，$S\frac{3}{4}W$ 行 30 浬，$NE\frac{1}{2}N$ 行 43 浬，S 行 28 浬，$S\frac{3}{4}E$ 行 21 浬，$S/W\ \frac{1}{4}W$ 行 12 浬，則其到達緯度與直行針路及航程各如何？

(9) 某船自南緯 19° 之地，以下列之針路及航程駛行，試求其直行針路及航程，並到達緯度各如何？

$SE\frac{1}{2}S$, 13′; S/E, 19′; SE/E, 22′; $E/S\frac{1}{4}S$, 32′; NNE, 20′; $N/W\frac{1}{4}W$, 27′; $NE/E\frac{1}{2}E$,24′; $SW\frac{1}{4}S$,10′.

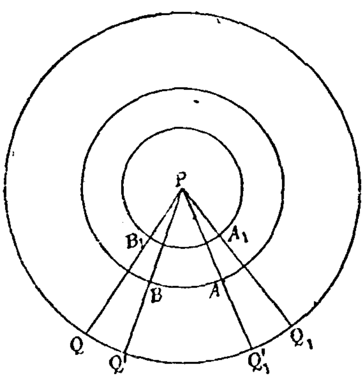
(10)一船自北緯3°50′之地出發以下列之針路及航程駛至某處,求該處之到達緯度,及該船之直行針路與航程.

SSW,120′; S/E,86′; SSE,120′; S/W,86′.

第七章　等距圈航法

船向正東或正西航駛時,所用之法曰等距圈航法(Parallel sailing),亦曰東西針路航法.以其常在同一等距圈上,故緯度不變,惟東西不同而經度有變也.故在本航法中所討論者,大抵據航駛之等距圈之緯度,以求東西距與經度之關係;或據經度與東西距之變化關係,以求航駛之等距圈之緯度.

本航法之東西距及航程,必爲同一,即同爲起程與到達兩地子午線之東西距離也.凡子午線皆會於兩極,故兩子午線之東西距離,必依與兩極相離之遠近而生增減.然變經乃以赤道之弧而計算者,故縱令航程同一,其變經必因緯度之高低而生差異.如第二十圖 P 示極點,$QQ'Q'_1Q_1$ 示赤道,航程 A_1B_1 與航程 AB 雖云等長,但因兩者之緯度各異,其低緯度之航程 AB 所對之變經 $Q'Q'_1$ 當比高緯度之航程 A_1B_1 所對之變經 QQ_1 小也.

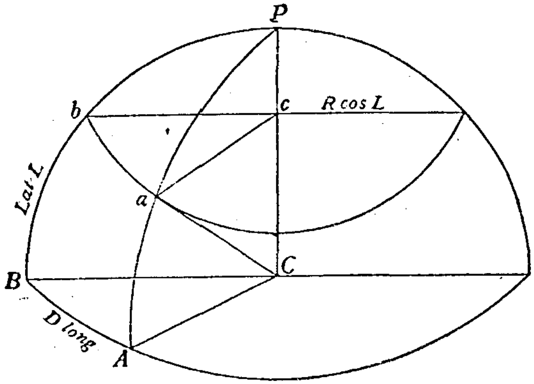


第二十圖

哈瑞(Harrison)氏未發明經線儀(Chronometer)以前,以六分儀(Sextant)測天象之高度,雖可知船所在地之緯度,然尚未能求出其經度.故航海者,祇能駕駛其船舶向北或南航行,迨船舶之位置與其目的地在同一等距圈上時,再用本航法東西航之,故此航法在當時爲有用也.顧至今日,經緯度皆得正確簡單之算法,則此航法,幾無必要,特因其爲中分緯度航法(見後)之起原,故仍不可不知.

第一節　解說

1. 公式之說明　於第二十一圖 C 爲地心, PaA、PbB 爲二



第二十一圖

子午線, AB 爲該二子午線截赤道間之弧, ab 爲截某緯度 aA 之等距圈間之弧.由幾何定理知

$$\angle ACa = \angle caC = \text{緯度 } aA,$$

及
$$AC = aC$$

因圓周之長與半徑成正比例,故

$$\frac{\overset{\frown}{ab}}{AB} = \frac{ac}{AC} = \frac{ac}{aC} = \cos \angle caC = \cos \angle ACa$$

故
$$\overset{\frown}{ab} = \overset{\frown}{AB} \cos \angle ACa.$$

然吾人若以 a 點及 b 點認爲起程及到達地,則 $\overset{\frown}{ab}$ 必示航程或東西距, $\overset{\frown}{AB}$ 必示變經, $\angle ACa$ 必示所航行之等距圈之緯度,亦即起程及到達兩地之緯度也.由是得

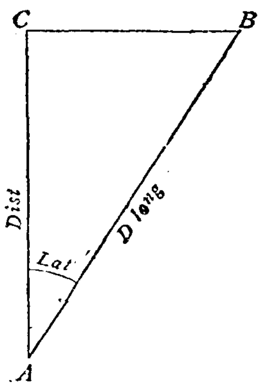
$$Dist = D.\,Long.\,\cos Lat \cdots\cdots\cdots \text{公式 } X、$$

由此式得
$$D.\,Long = Dist\ \sec Lat \cdots\cdots\cdots \text{公式 } XI、$$

$$\frac{Dist}{D.Long}=\cos\ Lat \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式}XII.$$

2. 等距圈航法與方位表

由公式 XII



第二十二圖

$$\frac{Dist}{D.Long}=\cos\ Lat.$$

今於第二十二圖所示之 ABC 直角三角形中,以其斜邊 AB 當變經,底邊 AC 當航程,A 角當緯度,則其相互之關係,恰與此公式相當.故若將本航法之緯度、變經及航程,作爲方位表中之針路、航程及變緯,則本航法之一切計算,亦未嘗不可用方位表求之.

第二節 算例

3. 知緯度及航程求變經

由公式 XI.

$$D.\,Long=Dist\ \sec Lat.$$

故若知緯度及航程,當可求得其變經也.若用方位表求之,當緯度有分秒時,應利用比例法以決定其相當之變經,所得之變經爲東或西,當依針路爲東或西以定之.

【例題一】 某船自南緯40°22′,西經 152°12′ 之地出發,以正西之眞針路,航行 252 浬,則其到達經度如何?

$$D.\,Long\quad=252\ \sec 40°22',$$

$$\log D.\,Long=\log 252+\log \sec 40°22'.$$

$log\ 252$	2.401400	*Long from*	$152°12'\ 0''W-$
$log\ sec\ 40°22'$	$+)\underline{10.118093-10}$	*D. Long*	$+)\ \underline{5°30'42''W-}$
$log\ D.\ Long$	2.519493	*Long in*	$\underline{\underline{157°42'42''W-}}$

$\therefore\quad D.\ Long=330'.71=5°30'42''W$

或依方位表求之如下:

p.629, Lat40°(相當Co40°), Dist252(相當D. Lat 252), 得D.Long 329(相當dist 329).

p.631, Lat41°(相當Co41°), Dist252(相當D.Lat252.1)得D.Long 334(相當dist 334).

$\therefore$ Lat 40°22′及Dist 252之相當D.Long$=330'.7$,或$5°30'42''W$.

與前同樣可得Long in.

【例題二】自北緯50°東經138°40′之地,向正東航行240浬,則其到達經度如何?

$$D.\ Long\quad =240\ sec\ 50°,$$

$$log\ \ D.\ Long=log\ 240+log\ sec\ 50°$$

$log\ \ 240$	2.380211	*Long from*	$138°40'\ 0''E+$
$log\ \ sec50°$	$+)\underline{10.191933-10}$	*D. long*	$+)\ \underline{6°13'24''E+}$
$log\ D.\ long$	2.572144	*Long in*	$144°53'24''E+$

$\therefore\quad D.Long.=373'.4=6°13'24''E$

用方位表求之:

p.629, Lat 50°(相當Co.50°), Dist240.4(相當D.Lat240.4), 得D.Long 374(相當dist 374).

Lat 50°(相當Co.50°)Dist239.7(相當D.Lat239.7)得D.Long 373(相當dist 373).

$\therefore$ Lat 50°及Dist 240之相當D. Long$=373'.4=6°13'24''$.

則其Long. in,與前同樣,自可求得.

【例題三】 自北緯 $52°15'$, 東經 $170°5'$之地,向正東航行 658 浬,其到達之經度如何?

茲用方位表求之.

因 658 超過表中 *D.Lat* 所列之數,故先以 2 除之得 329.

*p.*625, *Lat* 52°(相當*Co.*52°),*Dist* 329(相當 *D.Lat* 328.8),得*D.Long* 爲 $534\times 2=1068$.

*p.*625, *Lat* 53°(相當*Co.*53°),*Dist* 329(相當*D.Lat* 329.1),得*D.Long* 爲 $547\times 2=1094$.

$$(1094-1068):x=60':15'$$

$$\therefore\quad x=6.5$$

$\therefore$ *Lat* $52°15'$及*Dist* 658 之相當 *D. Long*, $=1068+6.5=1074'.5$ $=17°54'30''E$

$$\begin{array}{lr} \textit{Long from} & 170°\ 5'\ 0''E+ \\ \textit{D. Long} & +)\ \underline{17°54'30''E+} \\ & 187°59'30''E+ \\ & -)\underline{360°\ 0'\ 0''\quad} \\ \therefore\quad \textit{Long in} & \underline{\underline{172°\ 0'30''W}} \end{array}$$

4. 知變經及緯度求航程

由公式 X

$$Dist=D.Long\ \cos\ Lat.$$

故由此公式,或用對數實際計算,或用方位表,皆可求得其所要之航程.

【例題一】 一船在北緯55°之等距圈上航行,所生之變經爲 300, 求其航程若干?

$$Dist=300\ \cos\ 55°,$$

$$\log\ Dist=\log\ 300+\log\ \cos\ 55°.$$

$log\ 300$	2.477121
$log\ cos\ 55°$	+)9.758591−10
	2.235712

$\therefore$ $Dist = 172'.1$

用方位表求之:

p.618, *Lat* 55°(相當*Co*.55°), *D. Long* 300(相當 *Dist* 300),得 *Dist* 172′.1(相當 *D.Lat* 172′.1).

【例題二】 某船自南緯35°12′東經 18°5′ 之地,至同緯度東經 28°18′之地,則其航程及羅針路各當如何?但偏差爲$2\frac{1}{2}$點西,自差 11°東.

Long in	28°18′*E*+	*log*613	2.787460
Long from	−)18° 5′*E*+	*log*cos35°12′	+)9.912299−10
D.Long	10°13′*E*+	*logDist*	2.699759
或	613′*E*	$\therefore$	*Dist* = 500.92 浬

T.Co	*S*90° 0′ 0″ *E*−
Var	−) 28° 7′30″*W*−
M.Co	*S*61°52′30″ *E*−
Dev	−) 11° 0′ 0″ *E*+
C.Co	*S*72°52′30″ *E*−

用方位表求之.

因 *D. Long* 613 超過表中 *Dist* 所載之數,故分爲 600 及 13 兩部作之:

p 619, *Lat* 35°(相當 *Co*.35°),*D. Long* 600(相當 *Dist* 600),得 *Dist* 491.5(相當 *D. Lat* 491.5).

p.618, *Lat* 35°(相當 *Co*35°), *D. Long* 13(相當 *Dist* 13),得 *Dist* 10.6 (相當 *D. Lat*. 10.6).

$\therefore$ *Lat* 35° 及 *D. Long* 613 之相當 *Dist* 爲 502.1

p. 621, *Lat* 36°(相當 *Co*36°), *D. Long* 600(相當 *Dist* 600),得 *Dist* 485.4(相當 *D. Lat* 485.4).

p. 620, *Lat* 36°(相當 *Co* 36°), *D. Long* 13(相當 *Dist* 13),得 *Dist* 10.5

$\therefore$ *Lat* 36° 及 *D. Long* 613 之相當 *Dist* 爲 495.9

$$(502.1-495.9):x=60':12'$$

$$\therefore \qquad x=1.2$$

故所求之 $\quad Dist=502.1-1.2=500.9$ 浬.

5. 知變經及航程求緯度法

本法當應用公式 *XII*, 卽

$$\frac{Dist}{D.Long.}=\cos\ Lat.$$

以求之,亦可由方位表直接查出,茲舉列以說明之:

【例題一】 某船在赤道北某等距圈上航走 150 浬,生 300′ 之變經,試求該等距圈之度數.

$$\frac{150}{300}=\cos\ Lat,$$

卽
$$\cos\ Lat=\frac{1}{2}.$$

$$\therefore \qquad Lat=60^\circ\ N.$$

【例題二】 某船由西經 3°12′ 之地出發,向正東航行 246 浬,依天測知船在東經4°8′之地,試求其船在若干度之等距圈上航行.

Long in	4° 8′ *E*+	*log* 246	12.390935−10
Long from	−) 3°12′ *W*−	*log* 440	−) 2.643453
D. Long	7°20′ *E*+	*log cos Lat*.	9.747482−10
或	440′ *E*	$\therefore$	$Lat=\underline{\underline{56^\circ}}$

用方位表求之:

本題之要件　$Dist\ 246$　$D.Long\ 440$　$Lat\ 56°$

相當於方位表者　$D.Lat$　$Dist$　$Co.$

【例題三】某船由北緯東經 148°42′ 之地,以正東之真針路航出 145 浬,至東經 152°36′ 之地,求其在如何之等距圈上航行.

$$\begin{array}{llll} Long\ in & 152°36'E+ & \log 145 & 12.161368-10 \\ Long\ from & -)\underline{148°42'E+} & \log 234 & -)\underline{\ 2.369216\ } \\ D.Long & 3°54'E+ & \log\cos Lat. & 9.792152-10 \\ \text{或} & 234'E & \therefore & Lat=\underline{\underline{51°42'32''N}} \end{array}$$

用方位表求之.

$$\begin{array}{lllll} D.Long. & 234\cdots\cdots(Dist) & & Lat\,(Co.) \\ Dist & 145\cdots\cdots(D.Lat) & 147.3 & 51° \\ & \underline{147.3}\cdots\cdots(D.Lat) & \underline{144.1} & 52° \\ & 2.3 & 3.2 & \end{array}$$

$$3.2 : 2.3 = 60' : x$$

$$\therefore\quad x = 43'.1$$

$$\therefore\quad Lat = 51° + 43'.1 = 51°43'6''N.$$

問題八

(1) 在南緯 60°之等距圈上之某二船,相距 200 浬,則此二船之經差如何?

(2) 在南緯 55°59′之等距圈上,向正西每時 10 浬之速度航行一晝夜,其變經當如何?

(3) 求經度相差一度,緯度 70°之等距圈之長為若干浬?

(4) 同緯度上之二地,其經度差為其東西距離之二倍,則該二地所在之緯度如何?

(5) 在北緯 30°14′之人,與在北緯 40°45′之人,每時同轉之速度之比如

何?

(6)有甲乙兩船,在北緯33°33′30″之等距圈上相距425浬,今兩船同時向正北出發,若兩船之速度皆爲每時12浬,則22小時後,兩船之距離如何?

(7)甲乙二船,同時自北緯11°20′,東經168°53′之地,向南緯13°47′,西經177°52′之地航行.甲船先取正東之眞針路航至目的地之經度時,再以正南之眞針路航之.乙船先取正南之眞針路航至目的地之緯度時,再以正東之眞針路航之.試計甲乙兩船之航程,且比其大小.

(8)某船自北半球東經177°45′之地,以正東之眞針路航行425浬,依天測知在西經172°32′之地,求該船在如何之等距圈上航行.

(9)二船在北緯32°20′之等距圈上相距120浬,今皆以正北之眞針路航行,某時間後,同至某一等距圈錨泊,其相距爲50浬,則其錨泊之等距圈爲北緯若干度?

(10)求自A地航至B地之眞針路及航程.

A:南緯54°25′,東經15°30′;

B:南緯54°25′,西經9°15′.

第八章　中分緯度航法

在子午線上航行,僅緯度有變;在赤道或等距圈上航行,僅經度有變,除此之外,無論以如何之方向航行,緯度與經度,必皆行變動.在此情形,雖可用平面航法解決之,但其變經,尙不能求出,故不得不依等距圈航法之公式以求東西距與變經之關係,斯曰中分緯度航法(Middle latitude sailing).

第一節　中分緯度之解說及算則

1. 中分緯度(Middle latitude)　中分緯度有二:一曰平均中分緯度(Mean middle latitude),一曰眞中分緯度(True middle latitude).前者乃起程地與到達地兩等距圈正中之等距圈之緯度數也,常以 *M. mid lat* 代之;後者乃依平均中分緯度改正表,改正而得之正確中分緯度也(見後),常以 *T. mid lat* 代之.

2. 求平均中分緯度法　平均中分緯度之意義,旣如上述,則其度數,當能由起程與到達兩地之緯度求得之.當兩緯度同名時,則其和之半卽爲所求,故

$$M.\,mid\,lat=\frac{1}{2}(lat\ from+lat\ in)\cdots\cdots\cdots\text{公式}XIII.$$

若當兩緯度異名時,因不能用中分緯度航法,故在此時,平均中分緯度之意義,將不存在矣.

【例題一】　起程地北緯 47°15′, 到達地北緯 34°15′, 求其平均中分緯度.

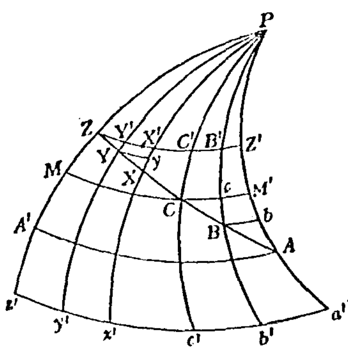
$$\begin{array}{lr} Lat\ from & 47°15'N \\ +)\underline{Lat\ in} & \underline{34°15'N} \\ & 2)\ \underline{81°30'N} \\ M.\,mid\,lat. & \underline{\underline{40°45'N}} \end{array}$$

【例題二】 起程地南緯11°20′,到達地南緯 2°8′, 求其平均中分緯度.

Lat from	11°20′ S
+)Lat in	2° 8′ S
	2)13°28′ S
M. mid lat	6°44′ S

第二節 中分緯度航法之解說

3.公式之說明 第二十三圖:AZ 為過 A 及 Z 兩地之同角航線,$a'z'$ 示赤道.茲將 AZ 分為 AB、BC、…………XY、YZ 無數之等分,再過各分點作無數之等距圈,則得無數之小三角形 ABb、BCc、……·XYy、YZY' 等.由公式 XII 得



第二十三圖

$$Bb = a'b' \cos a'b,$$

$$B'Z' = a'b' \cos a'Z'.$$

由此知 $B'Z' < Bb$,

同樣 $C'B' < Cc$,…… $Y'X' < Yy$.

故 $(B'Z' + C'B' + \cdots\cdots + X'Y' + Y'Z) < (Bb + Cc + \cdots\cdots + Yy + ZY')$,

即 ZZ' 小於實際之東西距也.

又同樣得 AA' 大於實際之東西距.

由是其實際之東西距,必存在於 AA' 與 ZZ' 之間,如 MM' 所示者.當航程較小,且在赤道同旁航行時,MM'之緯度,即認為 A 與 Z 之平均中分緯度,亦無大差.故由公式 XI 得

$$D.\,long = Dep.\ sec\ M.\,mid\,lat.$$

但由公式 VII 知 $Dep = Dist\ sin\ Co.$

故 $$D.long. = Dep.\ sec\ M.mid\ lat,$$
$$= Dist\ sin\ Co\ sec\ \ M.\ midlat. \cdots \text{公式}\ XIV$$

又由公式 $VIII$ $$\frac{Dep}{D.lat} = tan\ Co.$$

由上式知 $$tan\ Co = \frac{D.long\ \ cos\ \ M.mid\ \ lat}{D.\ lat} \cdots\cdots \text{公式}\ XV$$

4.中分緯度航法之精度 據前節之公式,以求變經,因 $M.mid\ lat$ 爲東西距之近似值,其不能得正確之結果,較然甚明嚴格言之,A 與 Z 之變經之極限值,當爲

$$Bb\ sec\ ba' + Cc\ sec\ cb' + \cdots\cdots\cdots\cdots + ZY'\ sec\ Y'y'.$$
$$= bAtanCosec(Aa' + bA) + cBtanCosec(Bb' + cB) + \cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$+ Y'YtanCosce(Yy' + Y'Y).$$

茲以 Δx_1、Δx_2、$\cdots\cdots\Delta x_n$ 等代 bA、cB、$\cdots\cdots Y'Y$ 等,又設 A 與 Z 兩地之緯度各爲 l 與 l' 則

$$\text{上式} = tanCosec(l + \Delta x_1)\Delta x_1 + tanCosec\ (l + \Delta x_1 + \Delta x_2)\ \Delta x_2 + \cdots$$
$$+ tanCosec(l + \Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots\cdots + \Delta x_n)\Delta x_n$$
$$= tanCo[sec(l + \Delta x_1)\Delta x_1 + sec(l + \Delta x_1 + \Delta x_2)\Delta x_2 + \cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$+ sec(l + \Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots\cdots \Delta x_n)\Delta x_n].$$

若引用定積分之基本公式,則得

$$\int_0^{l'-l} tanCosec(l+x)dx = \lim_{n\to\infty} tanCo[sec(l + \Delta x_1)\Delta x_1 + sec(l +$$
$$\Delta x_1 + \Delta x_2)\Delta x_2 + \cdots\cdots + sec(l + \Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots\cdots \Delta x_n)\Delta x_n]$$

故 $$D.long = \int_0^{l'-l} tanCosec(l+x)dx$$
$$= tanCo\int_0^{l'-l} sec(l+x)dx$$
$$= tanColog_e\left[tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{l}{2} + \frac{x}{2}\right)\right]_0^{l'-l}$$
$$= tanCo\left[log_e tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{l'}{2}\right) - log_e tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{l}{2}\right)\right]$$

$$= \tan Co \log_e \frac{\tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{l'}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{l}{2}\right)}$$

$$= \tan Co \log_e \frac{\cos\frac{l'+l}{2}+\sin\frac{l'-l}{2}}{\cos\frac{l'+l}{2}-\sin\frac{l'-l}{2}}$$

$$= 2\tan Co\left(\frac{\sin\frac{l'-l}{2}}{\cos\frac{l'+l}{2}}+\frac{\sin^3\frac{l'-l}{2}}{\cos^3\frac{l'+l}{2}}+\frac{\sin^5\frac{l'-l}{2}}{\cos^5\frac{l'+l}{2}}+\cdots\right).$$

此惟$\frac{l'-l}{2}$與$\frac{l'+l}{2}$皆甚小時,始得如前節之公式,謂

$$D.long = \tan Co \frac{l'-l}{\cos\frac{l'+l}{2}} = \frac{\tan Co \times D.lat}{\cos M.\ midlat.}$$

$$= Dist \sin Cosec\ M.midlat.$$

否則,用彼公式所得之變經,與眞變經必有出入,而由變經變緯以求針路,亦無正確之可能.故此航法用之可致誤之情形,大抵有三:

(1)緯度過高時　此時中分緯度亦必因之而甚大,其餘弦過小,故$\dfrac{\sin\frac{l'-l}{2}}{\cos\frac{l'+l}{2}}$往往頗大,在前級數中第二項以下,未便簡略故也.

(2)緯度異名時　因此時A,Z兩地之等距圈相距往往過大,即$\frac{l'-l}{2}$過大,則前級數中之第二項以下,亦不能簡略也.

(3)變經過小時　此時針路必近於南北,則變緯必大,即$\frac{l'-l}{2}$過大,其不能適用,與緯度異名時同.

由上所論,必針路在四十五度以上,航程較小(600 浬以下),

平均中分緯度不大(60°以下),且在赤道同側航行時,始可應用,除此而外,非用其他航法,則罕能得正確之結果.

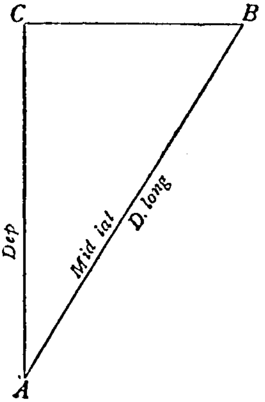
5. 中分緯度航法與方位表

由 §3 $$D.\,Long = Dist\ sin\ Co.\ sec\ M.\ mid\ lat.$$

$$= Dep.\ sec\ \ M.\ midlat,$$

$$tan\ \ Co. = \frac{D.\,long\ \ cos\ M.mid\ lat}{D.\,lat} = \frac{Dep}{D.\,lat}.$$

茲於第二十四圖之 ABC 直角三角形中,以平均中分緯度爲 A 角,以變經爲斜邊,東西距爲鄰邊,則其間之關係,恰與前式相同.故若以平均中分緯度,當方位表中之針路,變經當航程,東西距當變緯,則變經卽可由該表查出.此處之東西距若非直接所與,由航程與針路求之之時,當可用方位表直接查得.



第二十四圖

在後式可先按上述之相互關係,由方位表將東西距求出,再由東西距與變緯,直接將其針路查出可矣.

第三節　算例

6. 知針路航程及起程地之經緯度,求到達地之經緯度

欲求到達地之經緯度,自宜先決定其變經與變緯,故必由公式 VII 及公式 XIV 以求之,卽

$$D.\,lat = Dist\ cos\ Co,$$

$$D.\,long = Dist\ sin\ Co\ sec\ M\ mid\ lat = Dep\ sec\ M.\ mid\ lat.$$

【例題一】 某船由北緯 52°6′,西經 35°6′ 之地出發,以 $S\ W/W$ 之眞針路航行 256 浬,達某目的地,試求該地之經緯度.

$D.lat=256\cos 56^\circ15'$,		$D.long.=256\sin56^\circ15'\sec50^\circ54'54''$.	
$\log 256$	2.408240	$\log 256$	2.408240
$\log\cos 56^\circ15'$ +)	$\underline{9.744739-10}$	$\log\sin56^\circ15'$	$9.919846-10$
$\log D.lat$	2.152979	$\log\sec 50^\circ54'54''$ +)	$\underline{0.200333}$
$\therefore D.lat=142'.2S=2^\circ22'.2S$		$\log D.long$	2.528419
Lat from	$52^\circ\ 6'\ 0''N+$	$\therefore D.long=337.61W=5^\circ37'36''W$	
D. lat	+) $\underline{2^\circ22'12''S-}$	Long from	$35^\circ\ 6'\ 0''W-$
Lat in	$49^\circ43'48''N+$	D. long.	+) $\underline{5^\circ37'36''W-}$
Lat from	+) $\underline{52^\circ\ 6'\ 0''N}$	Long in	$40^\circ43'36''W-$
	2) $\underline{101^\circ49'48''}$		
M. mid lat	$50^\circ54'54''$		

故到達地爲北緯 $49^\circ43'48''$, 西經 $40^\circ43'36''$

用方位表求之如下:

針路$S5^{p''}W$,航程 256′,則由方位表得

$D.lat=142.2S$, $Dep=212.9W$.

Lat from	$52^\circ\ 6'\ 0''N+$
D. lat	+) $\underline{2^\circ22'12''S-}$
Lat in	$\underline{\underline{49^\circ43'48''N+}}$

M.midlat 用四捨五入得爲51°,以之當方位表之 Co,Dep 212.9 當方位表之 D. lat, 其中之 212.7 與之甚相近,則其所對之 Dist 338 卽爲所求之 D.long 也.

Long from	$35^\circ\ 6'W-$
D. long.	+) $\underline{5^\circ38'W-}$
Long in	$\underline{\underline{40^\circ44'W-}}$

【例題二】 由北緯 $23^\circ37'40''$, 東經 $154^\circ48'15''$ 之地出發,眞針路 $N53^\circ W$, 共行 475 浬,求到達之經緯度.

$D.lat=475\cos53^\circ$,		$D.long=475\sin53^\circ\sec26^\circ0'37''$	
$\log475$	2.676694	$\log475$	2.676694

$\log\cos 53°$	$+)\underline{9.779463-10}$	$\log\sin 53°$	$9.902349-10$
$\log D.lat$	2.456137	$\log\sec 26°0'37''$	$+)\underline{0.046378}$
$\therefore$ $D.lat=285.9N=4°45'54''N$		$\log D.long$	2.625421
$Lat\ from$	$23°37'40''N+$	$\therefore$ $D.long=422.1W=7°2'6''W$	
$D.lat$	$+)\underline{4°45'54''N+}$	$Long\ from$	$154°48'15''E+$
$Lat\ in$	$28°23'34''N+$	$D.long$	$+)\underline{7°\ 2'\ 6''W-}$
$Lat\ from$	$+)\underline{23°37'40''N}$	$Long\ in$	$147°46'\ 9''E+$
	$2)\underline{52°\ 1'14''N}$		
$M.mid\ lat$	$26°\ 0'37''N$		

故到達經緯度爲北緯 28°23'34'', 東經 147°46'9''

依方位表求之:

$Co\ N53°W, Dist\ 475'$ 所對之

$D.lat=285.9N$, 或 $4°45'54''N$. $Dep=379.3W$

與上同樣得 $Lat\ in=28°23'34''N$. $M.mid\ lat=26°0'37''$.

$M.mid\ lat\ 26°$ 當方位表之 Co, $Dep\ 379.3$ 當方位表之 $D.lat$, 則其所對之 $Dist\ 422.0$, 卽爲所求之 $D.long$. 也,故得

$Long\ in=147°46'15''E$.

【例題三】 某船以 $N56°E$ 之眞針路,由北緯52°10',東經176°20'之地航行 252 浬後,其所在地之經緯度如何?

$D.lat=252\times\cos 56°$, $D.long=252\sin 56°\sec 53°20'27''$.

$\log 252$	2.401400	$\log 252$	2.401400
$\log\cos 56°$	$+)\underline{9.747562-10}$	$\log\sin 56°$	$9.918574-10$
$\log D.lat$	2.148962	$\log\sec 53°20'27''$	$+)\underline{0.223987}$
$\therefore$ $D.lat=140.9N=2°20'54''N$		$\log D.long$	2.543961
$Lat\ from$	$52°10'00''N+$	$\therefore$ $D.long=349.9E=5°49'54''E$	
$D.lat$	$+)\underline{2°20'54''N+}$	$Long\ from$	$176°20'00''E+$
$Lat\ in$	$54°30'54''N+$	$D.long$	$+)\underline{5°49'54''E+}$
$Lat\ from$	$+)\underline{52°10'00''N}$		$182°\ 9'54''E+$

	2)$\underline{106°40'54''N}$		−)$\underline{360°\ 0'\ 0''}$
M. mid lat	53°20′27″	*Long in*	177°50′ 6″W

故其所在地爲北緯 54°30′54″, 西經 177°50′6″

依方位表求之:

由 *Co* 56° 及 *Dist* 252′ 得

D. lat = 140.9*N* 或 2°20′54″*N*, *Dep* = 208.9*E*.

與上同樣得 *Lat in* = 54°30′54″*N* *M. mid lat* = 53°20′27″

以 *M. mid lat* 53°20′27″ 及 *Dep* 208.9 各當方位表之 *Co* 及 *D. lat*, 其所對 *Dist* 349.7 卽爲所求之 *D.long* 故得 *D.long* = 5°49′42″*E*, 同上得

Long in = 177°50′18″.

7. 知起程與到達兩地之經緯度,求針路與航程 本算法自當依公式 *XV* 及公式 *VII* 以求之,卽

$$\tan Co = \frac{D.long.\cos\ M.mid\,lat}{D.lat.},$$

$$Dist\ = D.lat\ \sec Co.$$

【例題一】 某船由北緯 55°1′, 西經 1°25′ 之地,航至北緯 57°58′, 東經 7°2′ 之地,試求其眞針路及航程各如何?

Lat in	57°58′*N*+	*Lat in*	57°58′*N*	*Long in*	7° 2′ *E*+
Lat from	−)$\underline{55°\ 1'N+}$	*Lat from*	+)$\underline{55°\ 1'N}$	*Long from*	−)$\underline{1°25'W-}$
D.lat	2°57′*N*+		2)$\underline{112°59'}$	*D. long.*	8°27′ *E*+
或	177′*N*	*M.mid lat*	56°29′30″	或	507′*E*

$$\tan\ Co = \frac{507 \times \cos 56°29'30''}{177}, \qquad Dist = 177 \times \sec 57°41'29''$$

*log*507	2.705008	*log*177	2.247972
*log cos*56°29′30″	+)$\underline{9.741985-10}$	*log sec*57°41′29″	+)$\underline{10.272069-10}$
	12.446993 − 10	*logDist*	2.520041
log 177	−)$\underline{2.247972}$	∴ *Dist*	= 331′.2
log tan Co,	10.199021 − 10		

$\therefore \qquad T.Co.=\underline{\underline{N57°41'29''E}}$

故所求之針路爲$N57°41'29''E$,航程爲331.2浬.

依方位表求之:

$M.mid\,lat\ 56°\frac{1}{2}$當方位表之$Co, D.long\ 507'$當方位表之$Dist$,則其相當之$D.lat$卽爲所求之$Dep$,卽

$M.mid\,lat\ 56°$	$D.long\ 507'$	$Dep.\ 283'.5$
$M.mid\,lat\ 57°$	$D.long\ 507'$	$Dep.\ 276'.1$

故所求之 $Dep=279'.8.$

依$Dep\ 279.'8$及$D.lat\ 177'$求其針路及航程,得

Dep	$D.lat$
280.1	181.9
279.9	174.9

二組値皆與所知之二值相近,故所求之針路及航程當取此二組値所相當之針路及航程之中數卽

$Co=\underline{\underline{N57°30'E}}, \qquad Dist=\underline{\underline{332'}}.$

【例題二】欲由南緯1°45',西徑173°53'之地,向南緯5°28',東經178°25'之地航行,當用如何之眞針路及其航程爲若干?

$Lat\ in$	$5°28'n-$	$Lat\ in$	$5°28'S$	$Long\ in$	$178°25'E+$
$Lat\ from-)$	$\underline{1°45'S-}$	$Lat\ from+)$	$\underline{1°45'S}$	$Long\ from-)$	$\underline{173°53'W-}$
$D.lat.$	$3°43'S-$		$2)\underline{7°13'}$		$352°18'E+$
或	$223'S$	$M.mid\,lat$	$3°36'30''$		$\therefore D.long=7°42'W=462'W$

$$\tan Co.=\frac{462\times\cos 3°36'30''}{223}, \qquad Dist=223\times\sec 64°11'22''.$$

$\log 462$	2.664642	$\log 223$	2.348305
$\log\cos 3°36'30''$	$+)\underline{9.999138-10}$	$\log\sec 64°11'22''$	$+)\underline{10.361114-10}$
	$12.663780-10$	$\log Dist$	2.709419
$\log 223$	$-)\underline{2.348305}$	$\therefore$	$Dist=\underline{\underline{512'2}}$

$\log \tan Co \qquad 10.315475-10$

$\therefore \quad T.Co=\underline{\underline{S64^\circ11'22''W}}$

依方位表求之:

$M.\ mid.\ lat\ 3^\circ\frac{1}{2}$ 當方位表之 Co; $D.long\ 462$ 當方位表之 $Dist$,則其相當之 $D.lat$ 即為所求之 $Dep.$ 即

$M.\ mid\ lat$	3°	$D.long$	$462'$	Dep	$461'.3$
$M.\ mid\ lat$	4°	$D.long$	$462'$	Dep	$460'.9$

故所求之 $\qquad Dep=461'.1.$

依 $Dep\ 461'.1$ 及 $D.\ lat\ 223'$ 求其針路及航程,因 $461'.1$ 及 $224'.9$ 與之最相近,故得

$$T.\ Co=S64^\circ W \qquad Dist=513'.$$

【例題三】自北緯 $34^\circ50'$,東經 $24^\circ3'$ 之地,航至北緯 $37^\circ55'$,東經 $16^\circ4'$ 之地,其羅針路及航程各如何?但偏差為 13° 東,自差為 8° 西.

$Lat\ in$	$37^\circ55'N+$	$Lat\ in$	$37^\circ55'N$	$Long\ in$	$16^\circ\ 4'\ E+$
$Lat\ from$	$-)\underline{34^\circ50'N+}$	$Lat\ from$	$+)\underline{34^\circ50'N}$	$Long\ from$	$-)\underline{24^\circ\ 3'\ E+}$
$D.\ lat$	$3^\circ\ 5'N+$		$2)\underline{72^\circ45'}$	$D.\ long$	$7^\circ59'W-$
		$M.\ mid\ lat$	$36^\circ22'30''$		
或	$185'N$			或	$479'W$

$$\tan Co.=\frac{479\times Cos36^\circ22'30''}{185'}, \qquad Dist=185'\times sec60^\circ22'25''.$$

$\log 479$	2.680338	$\log 185$	2.267172
$\log \cos36^\circ22'33''$	$+)\underline{9.905875-10}$	$\log sec64^\circ22'25''$	$+)\underline{10.364013-10}$
	$12.586213-10$	$\log Dist$	2.631185
$\log185$	$-)\underline{\ 2.267172}$	$\therefore$	$Dist=\underline{\underline{427'.7}}$
$\log \tan Co$	$10.319041-10$		

$\therefore$	$T.\ Co$	$N\ 64^\circ22'25''W-$	
	Var	$-)\underline{13^\circ\qquad E+}$	
	$M.\ Co$	$N\ 77^\circ22'25''W-$	

$$
\begin{array}{ll}
Dev & -)\ \underline{8^\circ \qquad W-} \\
C.Co & \underline{\underline{N\ 69^\circ 22' 25'' W-}}
\end{array}
$$

依方位表求之:

M.mid lat $36^\circ\frac{1}{2}$當方位表之 *Co.*, *D.long.* 479′ 當方位表之 *Dist*,則其相當之 *D.lat*, 卽爲所求之 *Dep*, 卽

M.mid lat	36°	*D.long*	479′	*Dep*	387′.5
M.mid lat	37°	*D.long*	479′	*Dep*	382′.5

故所求之　　*Dep*=385′

依 *Dep* 385′ 及 *D.lat* 185′求其眞針路及航程,得

T.Co.=*N*64°*W*,　　*Dist*=428′.

與前同樣得　　*C.Co*=*N*69°*W*

問題九

(1) 求自北緯50°19′,西經 4°13′ 之地,至北緯48°28′30″,西經5°3′12″之地,之眞針路及航程.

(2) 自南緯 26°0′,西經 190°17′ 之地,航至緯度零度,西經 92°之地,其羅針路及航程各如何?但偏差爲 1Pt 東,自差爲 3° 西.

(3) 某船自南緯22°20′,西經 90°40′之地出發,眞針路 *N* 32°51′ *E*, 航程256浬,求其到達經緯度如何?

(4) 某船以 *N* 48°25′ *W* 之眞針路,由南緯 34°29′, 東經 18°23′之地航行480浬後,其所在地之經緯度如何?

(5) 由北緯50°19′,西經 4°13′ 之甲地出發,眞針路爲 *S*16°28′17″*W*, 航至北緯 48°28′30″之乙地,試求乙地之經度.

(6) 一船由北緯51°30′30″,西經 8°18′12″ 之甲地出發,到達其南方西經1°30′ 之乙地,其所生之東西距爲256浬,則其眞針路航程,及乙地之緯度各如何?

(7) 一船自北緯51°18′,西經 22°6′之某地,向東南方航行數日,所生之東西距爲561浬,變緯爲786浬,試求其到達地之經緯度,及該船之眞針路與航程.

(8) 某船自在北緯之某地,以 S33°16′E 之眞針路出航,所生之東西距61浬,變經786浬,則其起程及到達地之緯度應如何;

(9) 由北緯27°30′,西經17°20′之甲地出發,生東西距66浬東後到達北緯29°45′之乙地,則該地之經度如何?

(10) 一船自北緯38°44′,東經18°33′之某地,以 ENE 之羅針路航行70浬後,其到達地之經緯度如何?但風向 ESE,風壓差 1 點,偏差 $\frac{3}{4}$ 點西,自差8度東.

第四節 眞中分緯度及其改正

8. 眞中分緯度 於第二節已述,第二十三圖等距圈 MM' 之緯度,當航程甚小,且在赤道同旁航行時,可認爲 A 與 Z 之平均中分緯度.然以此立算,當航程在二百浬以下時,所得之平均中分緯度,始與 MM' 之緯度相一致.若緯度在十五度,航程在二百浬以上時,其差隨因之而漸次增加;航程若在六百浬以上時,其差則更形增大.在此時欲用中分緯度航法,求其正確之結果,自屬難能.然依後章所述之漸長緯度航法所得之針路與依中分緯度航法所得之針路比較之,其差卽可求得.

今依中分緯度航法,所得之針路爲

$$\tan Co = \frac{D.\,long\ \cos Mid\,lat}{D.\,lat};$$

依漸長緯度航法(見後)所得之針路爲

$$\tan Co = \frac{D.\,long}{M.\,D.\,lat}$$

故
$$\frac{D.\,long\cos.\ Mid\,lat}{D.\,lat}=\frac{D.\,long}{M.D.\,lat}$$

卽
$$\cos\ mid\,lat=\frac{D.\,lat}{M.D.\,lat}.$$

由此觀之,則MM'之緯度必滿足上式,由此所得之緯度,稱曰眞中分緯度.卽

$$\cos\ T.\,mid\,lat.=\frac{D.\,lat}{M.D.\,lat}$$

眞中分緯度與平均中分緯度之差,稱曰改正量(Correction).卽

$$cor=arc\ Cos\frac{D.\,lat}{M.D.\,lat}-M.\,mid\,lat\cdots\cdots\cdots\cdots\text{公式}XVI$$

9. 日本松本氏航海表平均中分緯度改正表(Table for correcting M.mid lat)之構成及使用　松本氏航海表 $p.$ 2, 卽據公式 XVI 以編成者.其 $Mid\ lat$ 縱行內所標者,乃平均中分緯度也,由十五度起,每隔二度至七十二度止. $D.\,lat$ 由二度起,至二十度止.中間所記者,卽其相當之改正量也.

表之構成,旣如上述,則應用此表以改正平均中分緯度爲眞中分緯度,祇須加其改正量於平均中分緯度中可矣.茲舉例以說明之.

【例題一】 起程地北緯 47°15′, 到達地北緯 34°15′, 試求其眞中分緯度.

Lat in	34°15′N+	*Lat in*	34°15′N
Lat from	−)47°15′N+	*Lat from*	+)47°15′N
D. lat	13° 0′S−		2)81°30′
		M. mid lat	40°45′
		Cor	+) 22′
		T. mid lat	41° 7′

(*D. lat* 13° *M. mid lat* 41° 由表得 *Cor* 爲 22′)

【例題二】 起程地北緯29°10′,到達地北緯32°10′,試求其眞中

分緯度.

Lat in	32°10′N+
Lat from −)	29°10′N+
D. lat	3° 0′N+

Lat in	32°10′N
Lat from +)	29°10′N
2)	61°20′
M. mid lat	30°40′
Cor +)	2′
T. mid lat	30°42′

第九章 漸長緯度航法

漸長緯度航法 (Mercator's sailing) 者,乃基漸長圖構成之原理而立定之一種航法也.仍如中分緯度航法之目的,在求船舶航行於同角航線時,其所生之變經.除緯度特高,針路近於九十度之情形外,依本航法,常能決定船舶之正確位置,比較中分緯度航法,又進步多矣.

第一節 漸長緯度之解說

於平面圖中,不論其任何部分,經緯度每度之長皆相等,此固不能言其精確,但往時未發明漸長圖以前,航海者捨此種圖而外,實無他法.漸長圖之發明,當推瑪 (Gerard mercator) 氏爲第一功:該氏於西曆 1566 年特較合地球儀之尺寸,將各子午線作爲互相平行,而伸長各等距圈上所對赤道一度之東西距與經度一度等長;同時再將各等距圈間子午線之弧,依緯度之高低,按等距圈上東西距伸長之同一比例,亦伸長之.當時雖無正確之數理根據,而其被用,亦較平面圖良善多矣.惜乎瑪氏旋卽沒世,以致漸長圖之數理,直至 1599 年始由瑞 (Edward Wright) 氏在其所著之"Errors of Navigation Corrected"一書中而發明.其原理之概念,卽據等距圈航法之公式.

$$L=M.\sec l.$$

L 表赤道上兩子午線之距,卽變經;l 表緯度;M 表 l 緯度處,同一兩子午線之東西距.

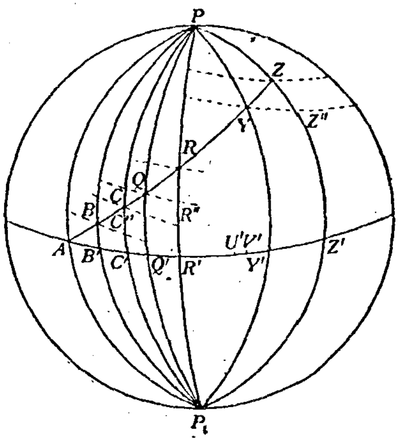
故在海圖上,若將任何緯度二子午線之東西距,作爲與該二子午線之變經相等,不得不以該緯度之正割 (Secant) 乘此東西距.然圖上爲保持與地球面相似之關係,則子午線之弧長,

亦必以該緯度之正割乘之,而藉以伸長。

例如緯度60°處,經度相差 1°二子午線之東西距為三十浬,若將此東西距作與赤道上子午線距(卽 1°)相等,則當以 $\sec 60° = 2$ 乘之,則子午線上一度之弧長,亦當以 2 乘而漸長之

1.漸長緯度之原理　於第二十五圖: AZ 表由赤道上 A 地,至緯度 L 之 Z 地之同角航線.今將緯度 L, 卽 ZZ' 弧,每隔一分而分之.過此等分點,作諸等距圈交 AZ 於 B、C、……Q、R、……Y,則

$$B'B = C''C = \cdots\cdots = R''R$$
$$= \cdots\cdots = Z''Z = 1';$$



第二十五圖

又過 B、C、……Q、R、……Y、Z 作諸子午線,與赤道相交於 B'、C'……Q'、R'、……Y'、Z'、則三角形 $AB'B$、$BC''C$、……$QR''R$、……$YZ''Z$,吾人可假定皆為平面直角者;因 AZ 為同角航線,故此諸三角形必皆相等,故

$$AB' = BC'' = \cdots\cdots = QR'' = \cdots\cdots = YZ''.$$

今以 L_B、L_C、……等代 B、C、……等之緯度,則

$$\left.\begin{array}{l} B'C' = BC'' \sec L_B \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ Q'R' = QR'' \sec L_Q \\ Y'Z' = YZ'' \sec L_Y \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

為說明簡單起見,於該圖內,用一公厘 (Millimetre) 表一浬,則

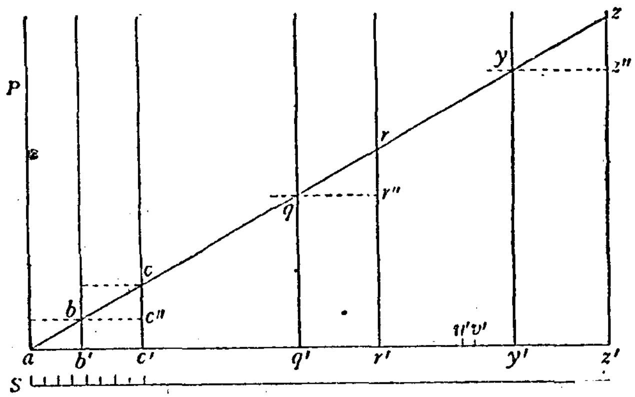
$$B'B = C''C' = \cdots\cdots = Z''Z = 1 \text{ 公厘}.$$

又角 ABB'、BCC'' ………YZZ''等(由 A 至 Z 之針路)以 θ 代之,則

$$\left.\begin{aligned} AB' &= B'B\tan\theta = \tan\theta \text{ 公厘} \\ BC'' &= C''C\tan\theta = \tan\theta \text{ 公厘} \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ YZ'' &= Z''Z\tan\theta = \tan\theta \text{ 公厘} \end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

由 (1),(2) 得

$$\left.\begin{aligned} AB' &= \tan\theta \text{ 公厘} \\ B'C' &= \tan\theta\ \sec L_B \text{ 公厘} \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ Q'R' &= \tan\theta\ \sec L_Q \text{ 公厘} \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ Y'Z' &= \tan\theta\ \sec L_Y \text{ 公厘} \end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$



第二十六圖

今以同一尺度作由 A 至 Z 之漸長圖,如第二十六圖所示:az'為赤道,$ab'=AB$,$b'c'=B'C'$,………$q'r'=Q'R'$,………$y'z'=Y'Z'$,於各點作az'之垂線,ap、$b'b$、………$q'q$、……$z'z$等,以示子午線.同角航線 AZ,在圖上必可以直線az表示之,設其與子午線之交點

為b、c、…… ……q、r、…… ……y、z等.

又地球上之等距圈 BC''、…………QR''、…… ……YZ'' 等,皆以與赤道 az' 平行之直線表示之,故

$$b'c' = bc'', \cdots\cdots, \quad q'r' = qr'', \quad \cdots\cdots, \quad y'z' = yz''.$$

然因
$$AB' = ab', \quad B'C' = b'c', \quad \cdots\cdots,$$
$$Q'R' = q'r', \quad \cdots\cdots, \quad Y'Z' = y'z'.$$

則由(3)式得

$$\left.\begin{array}{ll} ab' = \tan\theta & \text{公厘} \\ bc'' = \tan\theta \sec L_B & \text{公厘} \\ \cdots\cdots & \cdots \\ qr'' = \tan\theta \sec L_Q & \text{公厘} \\ \cdots\cdots & \cdots \\ yz'' = \tan\theta \sec L_y & \text{公厘} \end{array}\right\} \cdots\cdots (4)$$

於三角形 $bc''c$ 有 $bc'' = c''c \tan\theta$ 公厘

$$\therefore \quad c''c \tan\theta = \tan\theta \sec L_B$$

即
$$\left.\begin{array}{ll} c''c = \sec L_B & \text{公厘} \\ \cdots\cdots & \cdots \\ r''r' = \sec L_Q & \text{公厘} \\ \cdots\cdots & \cdots \\ z''z = \sec L_y & \text{公厘} \end{array}\right\} \cdots\cdots (5)$$
同樣

$c''c$ 乃表圖上過兩點 b、c 之等距圈間之距離之公厘數,即示地球面上之弧 $C''C$. 由(5)知若用 1 公厘表 $C''C$ 弧,則在圖上,$c''c$ 必用 $Sec\, L_B$ 公厘以表之.然 $Sec\, L_B$ 之值大於 1,故 $c''c$ 當比一公厘大,即在地球面 B 地圖上緯度一分之尺度也.同樣 $Sec\, L_Q$ 公厘為在地球面 Q 地圖上緯度一分之尺度,以下類推.

今在地球面赤道上,取二點 U'、V', 其距離為一浬,即此二點

之變經爲一分,其在圖上之位置,設爲 u',v'. 因地球面上一分之弧以一公厘代之,則 $u'v'$ 之長當爲一公厘明甚,其相當各部之緯度,在第二十六圖上自可測得.

2. 漸長緯度(Meridional parts)及其漸近公式　於第二十六圖,知由赤道至 z 之距爲

$$z'z=b'b+c''c+\cdots\cdots\cdots\cdots+r''r+\cdots\cdots\cdots\cdots+z''z.$$

今仍以如前款同樣之尺度,因

$$b'b=\text{眞變緯一分(一公厘)}\times sec\,L_A$$

$$c''c=\text{眞變緯一分(一公厘)}\times sec\,L_B$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$r''r=\text{眞變緯一分(一公厘)}\times sec\,L_Q$$

$$z''z=\text{眞變緯一分(一公厘)}\times sec\,L_Y$$

故　$z'z=[secL_A+secL_B+\cdots\cdots+secL_Q+\cdots\cdots+secL_Y]$ 分(公厘).

今因緯度 ZZ' 每隔一分而分之,若 Z 地之緯度爲 $n\times1'$ 卽 n 分,則

$$L_A=0',L_B=1',\cdots\cdots\cdots,L_Q=q',\cdots\cdots\cdots,L_Y=(n-1)'.$$

如是上式可書爲

$$z'z=[sec\,0'+sec\,1'+\cdots\cdots+sec\,q'+\cdots\cdots+sec(n-1)']\cdots\cdots\text{公式}XVII$$

由是從赤道至既知之緯度處之子午線之弧長,可由上式伸長,以迴表示之,是曰該眞緯度之漸長緯度.

然公式$XVII$乃依眞緯度每隔一分而求之者,其所得之漸長緯度,嚴格言之,多少尙不能無差;故該公式祇得稱爲漸長緯度之漸近公式,其正確之公式,當於次款論之.

3. 漸長緯度之正確公式　於第二十五圖,欲求 ZZ' 之正確漸長緯度,必須將 ZZ' 無窮等分,再按上法以求之始可.茲設等分爲 n 等分,但 $n\to\infty$, 其每份之長爲 Δx 弧度,則 $\Delta x\to0$, 此 Δx

若化作分,必

$$\pi : \Delta x = 180\times 60 : x \qquad \therefore\ x=\frac{180\times 60}{\pi}\Delta x, = 3437.8\,\Delta x,\text{分},$$

即 Δx 弧度,當 $3437.8\,\Delta x$ 分.由前款知, $Z'Z$ 之漸長緯度 $z'z$ 必為

$$(\sec 0)\times 3437.8\,\Delta x+(\sec\Delta x)\times 3437.8\,\Delta x+(\sec 2\Delta x)\times 3437.8\,\Delta x+\cdots\cdots+[\sec(n-1)\Delta x]\times 3437.8\,\Delta x=3437.8\{(\sec 0)\times\Delta x+(\sec\Delta x)\times\Delta x+(\sec 2\Delta x)\times\Delta x+\cdots\cdots+[\sec(n-1)\Delta x]\times\Delta x\}.$$

Z 地之眞緯度為 l, 則由定積分之基本公式,上式可化為

$$\int_0^l 3437.8\sec x\,dx = 3437.8\left[\log_e\ \tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{x}{2}\right)\right]_0^l$$

$$=3437.8\log_e\tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{l}{2}\right)$$

$$=3437.8\times 2.3026\log_{10}\tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{l}{2}\right)$$

$$=7915.7\log_{10}\tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{l}{2}\right)$$

$$\therefore\quad M.p.\ of\ lat\ l=7915.7\log_{10}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{l}{2}\right)\cdots\cdots\text{公式}\ XVIII$$

本式,始為漸長緯度之正確公式,以下舉數例以示其運算:

【例題一】 試求緯度四十度之漸長緯度.

$$M.p=7915.7\log_{10}\tan(45^\circ+20^\circ)$$
$$=7915.7\times 0.33133$$
$$=2622.7\text{浬}.$$

【例題二】 試求緯六十五度十分之漸長緯度.

$$M.p.=7915.7\log_{10}\tan(45^\circ+32^\circ 35')$$
$$=7915.7\times 0.65724$$
$$=5202.5\text{ 浬}.$$

4. 日本松本氏航海表漸長緯度表之構成 該表(由 p 65 至 p 87)即據公式 $XVIII$ 以編成者.由零度至二十度之緯度,每

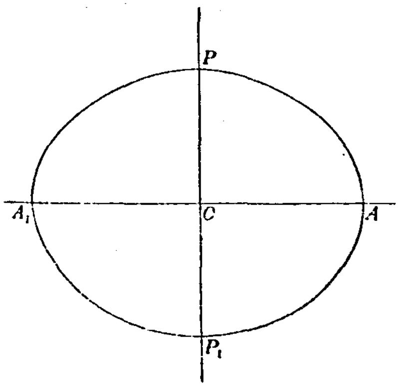
隔半分,由二十一度至八十度之緯度,每隔二十秒,由八十一度至九十度之緯度,每隔一分皆依次羅列;其最上橫行中示度,左右兩縱行示分秒.縱橫行相交處所指示之數,即該度分秒之緯度之漸長緯度之浬數也,查閱時至為簡捷.

如求緯度59°10′20″之漸長緯度,由 p78 查得為 4429.25 浬.再如求緯度 32°15′10″ 之漸長緯度,由 p.72 得 32°15′0″之漸長緯度為 2046.10 又 32°15′20″ 之漸長緯度為 2046.49,故得 32°15′10″ 之漸長緯度為 (2046.10+2046.49)÷2=2046.3 浬.

第二節　以地球實體立論關於漸長緯度之改正

因地球實體,本非球狀,對航海上,以球立論,些許之誤差,自不能不因之而生;雖於實用上,無甚多影響,但習斯術者,亦不能不知其概略.

5. 橢率(Compression)　地球形如橢圓體,如第二十七圖所示;PP_1 為地軸, AA_1 為赤道, O 為地心, OP 稱為極半徑(Polar radius), OA 稱為赤道半徑(Equatorial radius).依最近之學說(Helmert. 1907),



第二十七圖

OA=6378.2 公里(3963.2 哩),

OP=6356.8 公里 (3949.9 哩).

茲以 a 與 b 代 OA 與 OP, 因 a 大於 b, 故可書成下式

$$b=a-ac.$$

c 為某分數.欲求 c 之值,當為

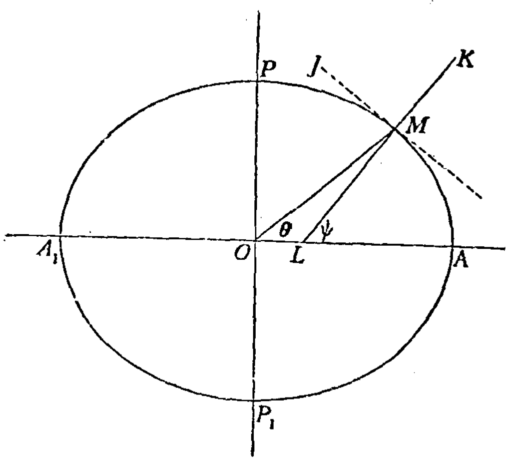
$$c=\frac{a-b}{a}=\frac{21.4}{6378.2}=\frac{1}{298.3}.$$

該值名之曰橢率,一般皆用$\frac{1}{300}$,卽

$$c=\frac{1}{300}.$$

6. 地理學緯度(Geographical latitude.)**及地心緯度**(Geocentric latitude.)**之解說** 以上旣述地球實體爲一橢圓體,則等距圈與赤道間弧之度數(卽緯度),常不能以其所對地心之角度表之.

如第二十八圖:M 爲 PAP_1 子午線上一點,作 MJ 與 PAP_1 相切於 M,再過 M 作 LK 與 MJ 垂直,卽爲 PAP_1 於 M 點之法線(Normal)也. $\angle ALK$ 之度數,稱爲 M 點之地理學緯度,亦卽以前各航法中所用之緯度也. $\angle AOM$ 之數度,稱爲地心緯度.前者常以 φ 表之,後者以 θ 表之,此二角之差,稱爲緯度改正量(Reduction of the latitude.),常以 γ 表之,卽

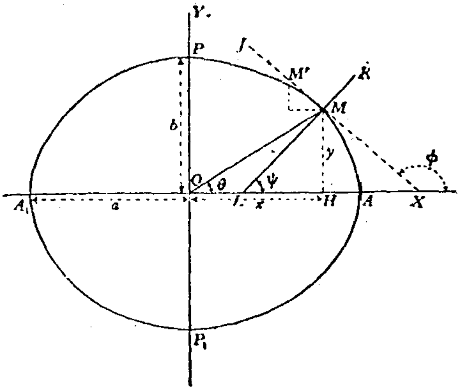


第二十八圖

$$\gamma=\varphi-\theta.$$

前公式 $XVIII$ 之導來,其所謂之緯度,指地心緯度而言者甚明.故在實用上,若以地理學緯度代之,其不能求得正確之結果,較然甚明,依此所求得之漸長緯度,自亦隨之而不能正確.故航海者,苟欲推測其確實之船位,此改正量亦不可忽略視之.

7. 緯度改正量　如第二十九圖所示(所標之字,與前圖同共意義)茲以赤道半徑OA作橫軸,極半徑OP作縱軸,則PAP_1A_1之方程式,由解析幾何學,吾人可書爲



第二十九圖

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1.$$

更設M點之坐標爲(x_1,y_1),則MJ之方程式爲

$$\frac{x_1x}{a^2}+\frac{y_1y}{b^2}=1.$$

其斜度(Slope) $\tan\phi$ 當爲

$$\tan\phi=-\frac{b^2x_1}{a^2y_1}.$$

因ML與MJ相垂直,則$\phi=\psi+90°$,故$\tan\phi=-\cot\psi$,由是

$$\cot\psi=\frac{b^2x_1}{a^2y_1}=\left(1-\frac{a-b}{a}\right)^2\cdot\frac{x_1}{y_1}.$$

$$\therefore\qquad \frac{y_1}{x_1}=(1-c)^2\tan\psi$$

又
$$\frac{y_1}{x_1}=\tan\theta=\tan(\psi-\gamma),$$

$$\therefore\qquad \tan(\psi-\gamma)=(1-c)^2\tan\psi,$$

即
$$\frac{\tan\psi-\tan\gamma}{1+\tan\psi\tan\gamma}=(1-c)^2\tan\psi.$$

c之值約爲$\frac{1}{300}$,前已述及,則γ'之值必甚微小,故$\tan\gamma$之值可以γ代之,即

$$\tan\gamma\longrightarrow\gamma.$$

由是上式可書爲　$\tan\psi-\gamma=(1-c)^2[1+\gamma\tan\psi]\tan\psi.$

因c及γ皆甚小,故c^2,$c\gamma$,及$c^2\gamma$等皆可略去不計,則由前式得

$$\tan\phi-\gamma=[1-2c+\gamma\tan\phi]\tan\phi,$$

$$\therefore \qquad \gamma=c\sin 2\phi.$$

因 γ 乃以弧度法所計者,若化為秒計之,則當以 $\frac{180\times60\times60}{\pi}=206265$ 乘之始可,卽若 γ 以秒計,則

$$\gamma=206265\,c\sin 2\phi.$$

將 $c=\frac{1}{298.3}$ 代入,得

$$\gamma=690''6\sin 2\phi \cdots\cdots\cdots\cdots \cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式} IXX$$

由上式若知某地之地理學緯度,則其改為地心緯度之改正量,自不難求得;將此改正量由地理學緯度中減去,卽得該地之地心緯度矣.

【例題一】 試求緯度 $30°21'$ 之緯度改正量.

$$\gamma=690''.6\sin 62°42'$$

$$\log\gamma=\log 690.6+\log\sin 62°42'$$

$$=2.839227+9.948715-10$$

$$=2.787942$$

$$\therefore \qquad \gamma=614''=10'14''.$$

【例題二】 試改緯度 $28°17'$ 為地心緯度.

$$\gamma=690''.6\sin 56°34'$$

$$\log\gamma=\log 690''.6+\log\sin 56°34'$$

$$=2.839227+9.922520-10$$

$$=2.761747$$

$$\therefore \qquad \gamma=578''=9'38''$$

故 地心緯度 $=28°17'-9'38''=28°7'22''$.

8. 對於實體地球之漸長緯度 欲求十分正確之漸長緯度,卽用公式 *XVIII* 尙不可能,必將所知之緯度,改為地心緯度後,再由漸長緯度表查之始可.

【例題一】 試就實體地球論,求緯度 $50°22'$ 之漸長緯度.

$$\gamma=690''.6\ sin\ 100°44'$$

$$log\ \gamma=log\ 690.6+log\ sin\ 100°44'$$

$$=2.839227+9.992335-10$$

$$=2.831562$$

$$\therefore\qquad \gamma=679''=11''19''.$$

$\therefore$　地心緯度 $=50°22'-11'19''=50°10'41''$,

故所求之漸長緯度爲 3491.1 浬.

【例題二】 試就實體地球論,求緯度 $10°5'$ 之漸長緯度.

$$\gamma=690''.6\ sin\ 20°10'$$

$$log\ \gamma=log\ 690''.6+log\ sin\ 20°10'$$

$$=2.839227+9.537507-10$$

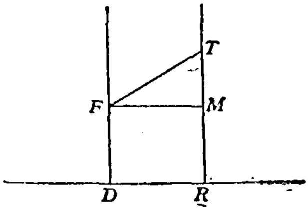
$$=2.376734$$

$$\therefore\qquad \gamma=238''=3'58''.$$

$\therefore$　地心緯度 $=10°5'-3'58''=10°1'2''$.

故所求之漸長緯度爲 608.2 浬.

第三節　漸長緯度航法解說



第三十圖

9. 漸長緯度航法公式之說明

第三十圖爲漸長圖之一部分; DR 爲赤道, DF 及 RT, 爲過起程地 F 及到達地 T 之子午線, FM 爲過 F 地之等距圈.則

$$RT=T\ 之漸長緯度,$$

$$RM=F\ 之漸長緯度.$$

TM 乃 RT 與 RM 之差(T、M 若在赤道之兩側時,則 TM

等於 RT 與 RM 之和),名之曰漸長變緯(通常用 $M.D.lat$ 表之),其求之之法,與求普通變緯法完全相同,茲不多贅.

由三角形 FTM, 得其針路 $\angle FTM$ 為

$$\tan Co. = \frac{D.long}{M.D.lat.} \cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式 } XX$$

或

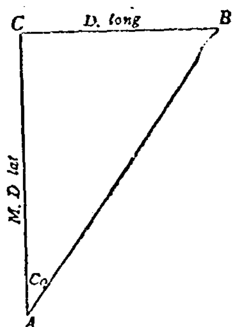
$$D.long = M.D.lat \tan Co \cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式 } XXI$$

此卽本航法之基本公式也.

10.漸長緯度航法之精度 本航法除針路近於九十度,及緯度殊高之兩種情況外,普通差誤甚小,實一優良之航法也.

蓋若針路在四十五度以下時,其正切 (tangent) 之值小於 1,若在四十五度以上時,其正切大於 1,且隨其度數之加增而亦加增之,當針路趨近於九十度時,其值卽趨近於無窮大;旨斯之故,所求之漸長變緯之誤差,必因針路正切之值大,而影響於變經之誤差亦大也.

如針路為八十度時,其正切之值為 5.6713, 則漸長變經之誤差必約含變緯誤差之六倍.又針路為八十五度時,其正切之值為 11.4301, 則變經之誤差,將含漸長變緯誤差之十一倍.同樣當針路為八十九度時,其差將有五十七倍.似此巨大之差,實用上自不能得正確之結果.



第三十一圖

若緯度殊高時,其漸長緯度之變化必甚急,亦易生誤差,欲求正確之變經,亦不可能.故在此時,當亦不能得正確之結果也.

11.漸長緯度航法與方位表 於第三十一圖,直角三角形 ABC 中以 A 角為針路,對邊 BC 為變經,隣邊 AC 為漸長變緯,則其間之關係,恰與公式 XX 相同.故在漸長

緯度航法中,若用方位表解之,至爲易易.即以

針路仍當方位表中之針路,

漸長變緯當方位表中之變緯,

變經當方位表中之東西距.

由是若已知其二,則其餘一,即可由方位表直接求出.

第四節 算例

12.知起程地之經緯度及針路航程,求到達之經緯度

由公式 VII 及公式 XXI,

$$D.lat \quad = Dist\cos Co,$$

$$D.long = M.D.lat\tan Co.$$

故由此二式,自可將變經變緯求出,再由起程經緯度,以求到達經緯度可矣.

【例題一】 由北緯 55°1′,西經 1°35′ 之地出發,向 $SE/S\frac{1}{2}S$ 航行 246 浬,試求到達地之經緯度.

$$D\,lat = 246 \times \cos 28°7'30''$$

$\log 246$ 　　　　2.390935

$\log\cos 28°7'30''$ +) 9.945430−10

$\log D.lat$ 　　　　2.336365

$\therefore$ 　$D.lat = 216'.9 = 3°36'54''S$

Lat from 55° 1′ 0″N+

D.lat +) 3°36′54″S−

Lat in 51°24′ 6″N− ⋯M.p. 3607.27N+

Lat from 55° 1′ 0″N ⋯M.p. −) 3969.71N+

M.D.lat 362.44S−

$D.long = 362.44 \times \tan 28°7'30''$ 　　Long from 1°35′ 0″W−

$$
\begin{array}{llll}
log\ 362.44 & 2.559236 & D.\ long. & +)\underline{3°13'42''\ E+} \\
log\ tan\ 28°7'30'' & +)\underline{9.727957-10} & Long\ in & \underline{\underline{1°38'42''\ E+}} \\
log\ D.\ long & 2.28793 & &
\end{array}
$$

$\therefore \quad D.\ long = 193'.7 = 3°13'42''E$

故到達地爲北緯51°24′6″，東經1°38′42″.

依方位表求之:

$Co.\ S\ 2\frac{1}{2}^{pts}E, Dist\ 246'$ 所對之 $D.\ lat = 217'$ 或 $3°37'\ S$

$$
\begin{array}{llll}
Lat\ from & 55°\ \ 1'N+ & M.\ p.\ of\ lat\ in & 3607.11N+ \\
D.\ lat & +)\underline{\ 3°37'S-} & M.\ p.\ of\ lat\ from & -)\underline{3969.71N+} \\
Lat\ in & \underline{\underline{51°24'N+}} & M.\ D.\ lat. & 362.60\ S-
\end{array}
$$

據 $Co.\ 2\frac{1}{2}^{pts}$ 查閱方位表，因漸長變緯362.6過大，茲以2除之得181.3，以之相當於表中 $D.\ lat.$ 則其所對之 Dep 96.8 以2乘之得193.6，即所求之變經也，或 $3°13'36''\ E$.

$$
\begin{array}{ll}
Long\ from & 1°35'\ \ 0''W- \\
D.\ long & +)\underline{3°13'36''\ E+} \\
Long\ in & \underline{\underline{1°38'36''\ E+}}
\end{array}
$$

【例題二】 由南緯 38°23′，東經 150°50′ 之地，以 $S36°17'W$ 之眞針路航行160浬後，其所在地之經緯度如何?

$$D.lat = 160 \times cos 36°17'$$

$$
\begin{array}{ll}
log 160 & 2.204120 \\
log\ cos\ 36°17' & +)\underline{9.906389-10} \\
log\ D.\ lat & 2.110509
\end{array}
$$

$$\therefore \quad D\ lat = 128'97 = 2°9'S$$

$$
\begin{array}{llll}
Lat\ from & 38°23'S- & & \\
D.lat & +)\underline{\ 2°\ \ 9'S-} & & \\
Lat\ in & \underline{\underline{40°32'S-}} \cdots & M.p. & 2664.63S-
\end{array}
$$

$$\begin{array}{llll}
 & Lat\ from\ 38°23'S & \cdots M.p.-) & \underline{2497.52S-} \\
 & & M.D.lat & 167.11S- \\
D.long = 167.11 \times \tan 36°17' & & Long\ from & 150°50'\ 0''\ E+ \\
\log 167.11 & 2.223002 & D.long. & +)\ \underline{2°\ 2'42''W-} \\
\log \tan 36°17' & -)\underline{9.865770-10} & Long\ in & \underline{\underline{148°47'18''\ E+}} \\
\log D.long. & 2.088772 & & \\
\therefore\ D.long = 122.68 = 2°2'42''W & & &
\end{array}$$

故其所在地爲南緯 40°32′,東經 148°47′18″.

依方位表求之:

由 *Dist* 160. *Co* $S\ 36°17'W$,得 $D.lat = 128.6\ S$,或 $2°8'36''S$,卽 $2°9'S$.

$$\begin{array}{llll}
Lat\ from & 38°23'S- & M.\ p\ of\ lat\ in & 2664.63S- \\
D.lat & +)\ \underline{2°\ 9'S-} & M.\ p\ of\ lat\ from & -)\underline{2497.52S-} \\
Lat\ in & \underline{\underline{40°32'S-}} & M.D.lat & 167.11S-
\end{array}$$

據 *Co.* $S\ 36°17'W$ 及 *M.D. lat* 167′ (相當於 *D. lat*),其相當之 *Dep* 爲 122′5,卽所求之變經也,或 $2°2'30''W$.

$$\begin{array}{ll}
Long\ from & 150°50'\ 0''\ E+ \\
D.lat & +)\ \underline{2°\ 2'30''W-} \\
Long\ in & 148°47'30''\ E+
\end{array}$$

【例題三】 某船現在之位置爲北緯 30°0′20″,東經 122°46′30″,以眞針路 $N\ 68°\ E$ 出航,經某時間後,該船至東經 125° 之子午線處,試求其到達地之緯度.

$$\begin{array}{llll}
Long\ in & 125°\ 0'\ 0''E+ & M.D.lat = 133.5 \cot 68° & \\
Long\ from & -)\underline{122°46'30''E+} & \log 133.5 & 2.125481 \\
D.long & 2°13'30''E & \log \cot 68° & +)\underline{9.606410-10} \\
或 & 133.'5 & \log M.D.lat & 1.731891 \\
 & & \therefore\ M.D.lat = 53.93N &
\end{array}$$

Lat from 30°0′20″N	*M. p*		1888.76N+
	M. D. lat	+)	53.93N+
Lat in 30°46′50″N	*M. p.*		1942.69N+

13.知起程與到達兩地之經緯度求針路及航程

由公式 *VIII* 及公式 *XX*

$$Dist = D.lat\ sec\ Co,$$

$$tan\ Co = \frac{D.long}{M.D.lat.}$$

【例題一】 由北緯 50°15′, 西經 27°19′之地,至北緯 47°30′, 西經 31°14′之地,其針路及航程應如何?

Lat in	47°30′N+	*M. p.*	3246.91+	*Long in*	31°14′W−
Lat from	−)50°15′N+	*M. p.*	−)3497.87+	*Longfrom*	−)27°19′W−
D. lat,	2°45′S−	*M. D.lat*	250′.96S	*D. long.*	3°55′W−
或	165′S			或	235′W

$tan\ Co = \frac{235}{250.96}$, $Dist = 165 \times sec\ 43°7′15″.$

log 235	12.371068−10	*log* 165	2.217484
log 250.96	−)2.399605	*log sec* 43°7′15″	+)10.136728−10
log tan Co	9.971463−10	*log Dist*	2.354212

∴ *Co* = S43°7′15″W ∴ *Dist* = 226.5 浬

【例題二】 某船欲由北緯4°15,′東經 6°11′所在地,航向南緯 15°55′, 西經 5°45′ 之目的地,試求其當以何針路行之?且所行之航程當爲若干?

Lat in	15°55′S−	*M. p.*	967.53−	*Long in*	5°45′W−
Lat from	−) 4°15′N+	*M. p.*	−)255.23+	*Long from*	−)6°11′ E+
D. lat	20°10′S−	*M. D. lat*	1222.76S	*D. long*	11°56′W−
或	1210 S			或	716′W

$$\tan Co=\frac{716}{1222.76},\qquad Dist=1210\times\sec 30^\circ 21' 6''.$$

$\log 716$	$12.854913-10$	$\log 1210$	3.082785
$\log 1222.76$	$-)\ 3.087340$	$\log\sec 30^\circ 21' 6''$	$+)\ 0.064019$
$\log\tan Co$	$9.767573-10$	$\log Dist$	3.146804
$\therefore$	$Co.=\underline{\underline{S30^\circ 21' 6'' W}}$	$\therefore$	$Dist=\underline{\underline{1402.2}}$ 浬

問題十

(1) 自北緯$51^\circ 18'$,西經$9^\circ 50'$之地,以$S33^\circ 19' W$之眞針路航行465浬,試求到達經緯度.

(2) 自南緯$49^\circ 52'$西經$17^\circ 22'$之地,至南緯$42^\circ 13'$西經$11^\circ 16'$之地,其針路及航程各當如何;

(3) 某船擬由北緯$54^\circ 13'$,西經$120^\circ 9'$之所在地,航向北緯$57^\circ 19'$,西經$122^\circ 38'$之目的地,其當以何針路行之?並其航程當爲若干浬?

(4) 一船由北緯$42^\circ 54'$,東經$145^\circ 11'$之某地,向$SW\frac{3}{4}S$航行165浬後拋錨,試求該錨地之經緯度.

(5) 某船以$S40^\circ 30' W$之眞針路,由北緯$25^\circ 19'$,東經$121^\circ 32'$之地航行236浬而達目的地,則該地之經緯度當如何?

(6) 試求由南緯$72^\circ 22'$,西經$55^\circ 35'$之地,至南緯$58^\circ 58'$,西經$49^\circ 47'$之地之眞針路及航程.

(7) 試求由南緯$48^\circ 52'$,西經$17^\circ 25'$之地,至南緯$42^\circ 18'$西經$12^\circ 16'$之地之眞針路及航程.

(8) 某船由北緯$33^\circ 33'$西經$20^\circ 19'$之地出發,向東南方航行一晝夜,生248.21浬之漸長緯度後,至西經$17^\circ 12' 2''$之地,則該地緯度當如何?並求該船所採取之針路及其每時之速度.

(9) 一船以每時$7\frac{1}{2}$浬之速度,眞針路$S53^\circ 30' E$,由北緯$41^\circ 58'$東經

129°57′之地出航，試求其若干時間可達東經134°6′15″之子午線處，又該到達地之緯度如何?

(10)某船由北緯50°10′54″西經4°16′之某地，向$SW\frac{1}{4}W$出發，經某時間後至目的地，知其所生之變經為620浬，則該目的地緯度如何?並其航程為若干?

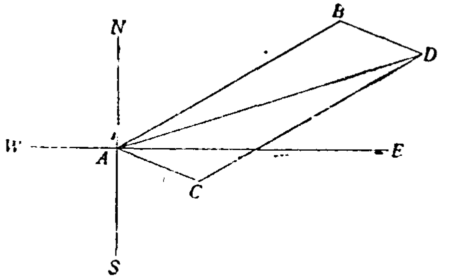
第十章 潮流航法

海流及潮流者,乃海水水平運動之總稱也.其流向及速度,時生變化.於其進行之途中,若遇陸岸灘礁,或其他海流以阻障之,常曲折而生支流.然無論本流與支流,皆能壓流船舶於海流或潮流奔馳之方向,於第三章中已略示其梗概.航海時,實測位置與推測位置多不能一致者,其主要原因,蓋在是也.

當船舶之針路與流向相一致時,航力最大,針路與流向相反時,航力最小,針路與流向斜交時,航力之增減,恆因其交角之大小而異.緣斯之故,因潮流之存在,以求船舶之實際速度及針路;或求航向已知之到達地所應採之針路及每時之速度,實爲航海者之一重要要求也.又由實測位置及推測位置之不同,而求潮流之方向及速度,以校正海流圖之差誤,亦爲必要.潮流航法 (Current sailing) 者,即推算此項問題之一種航法也.

第一節 潮流航法應用之公式及與方位表之關係

1. 應用之公式 於第三章§6已述,當船舶以 $\angle NAB$ 之視針路,及每時 AB 之速度航行(第三十二圖),若受向 $\angle SAC$ 流出,每時 AC 速度之潮流影響,則該船一小時後,由力學知,必至以 AB 及 AC 爲二隣邊之平行四邊形之餘一頂點 D 處,即 AB 與 AC 之合力 AD 之端點.故該船之眞針路必爲



第三十二圖

$\angle NAD$, 每時之實際速度必爲 AD, $\angle BAD$ 即所謂之流壓差也.

故關於此數者之關係,自不難用三角及第三章§8及§10以解之.其所應用之三角公式,大抵不外正弦及正切二定律,即

$$\frac{a}{\sin A}=\frac{b}{\sin B}=\frac{c}{\sin C},$$

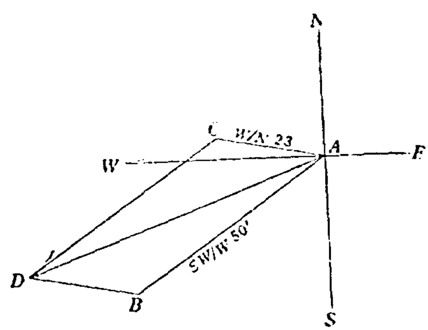
$$\tan\frac{1}{2}(B-C)=\frac{b-c}{b+c}\cot\frac{1}{2}A.$$

2. 與方位表之關係 由前所論,該船所以至 D 者,吾人可認爲其先以 AB 之針路航至 B,再以 BD 之針路航至 D 所得之結果.如是則該航法即認爲 ABD 之聯針路航法,亦無不可.故關於該航法之一切計算,可應用方位表做照聯針路之同樣算法,以解決之.

第二節 算例

3. 受既知之潮流航行時求眞針路及實際航程

【例題一】 一船以某時間,向 $S\,W/W$ 航行50浬,但此處有向 W/N 流去之海流,在此同時間之速度爲23浬,試求此船之眞針路及實際航程.



第三十三圖

如第三十三圖,$\triangle ABD$ 中,AD 之長,即爲所求之實際航程,$\angle BAD$ 爲流壓差.今

$$BD=AC=23', \qquad AB=50',$$
$$\angle NAC=7^{pts}, \qquad \angle SAB=5^{pts},$$

又 $$\angle ABD=180^\circ-\angle BAC=16^{pts}-(16^{pts}-7^{pts}-5^{pts})$$
$$=12^{pts}=135^\circ.$$

由正切定律得

$$\tan\frac{1}{2}(ADB-BAD)=\frac{AB-BD}{AB+BD}\cot\frac{1}{2}ABD;$$

即
$$\tan\frac{1}{2}(ADB-BAD)=\frac{27}{73}\cot 67°30'.$$

$\log 27$		1.431364
$\log\cot 67°30'$	+)	9.617224−10
		11.048588−10
$\log 73$	−)	1.863323
$\log\tan\frac{1}{2}(ADB-BAD)$		9.185265−10

$$\therefore\quad \frac{1}{2}(ADB-BAD)=8°43'$$

$$\frac{1}{2}(ADB+BAD)=90°-\frac{1}{2}ABD=22°30$$

故
$$BAD=22°30'-8°43'=13°47'$$

App. Co		S 56°15′W +
T. W.	+)	13°47′ +
∴ T. Co =		S 70° 2′W

又由正弦定律得

$$AD=\frac{BD\sin ABD}{\sin BAD}$$

即
$$Dist=\frac{23\sin 135°}{\sin 13°47'}=23\sin 135°\csc 13°47'.$$

$\log 23$		1.361728
$\log\sin 135°$		9.849485−10
$\log\csc 13°47'$	+)	10.622965−10
$\log Dist$		1.834178

$$\therefore\quad Dist=68.26\ 浬$$

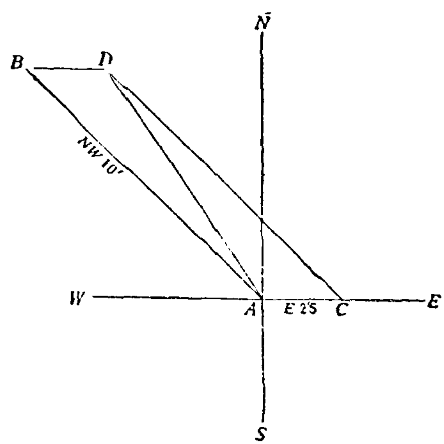
用方位表求之.

計 算 表

T.Co	Dist	D. lat		Dep	
		N	S	E	W
S5Pts W	50		27.8		41.6
N7Pts W	23	4.5			22.6
Co made good S70° W	Dist made good 68浬		27.8 −4.5 23.3		63.2

【例題二】一船以每時10浬之速度,向 NW 航行中,遇每時2.5浬向正東之海流,則其眞針路及一小時之航程當如何?

如第三十四圖所示,$\triangle ABD$ 中 AD 即爲所求之航程,$\angle BAD$ 爲流壓差.今



第三十四圖

$$BD = AC = 2.5', AB = 10', \angle NAC = \angle NAW = 90°, \angle NAB = 45°.$$

又 $\angle ABD = \angle WAB = \angle NAW - \angle NAB = 90° - 45° = 45°.$

由正切定律得:

$$\tan\frac{1}{2}(ADB - BAD) = \frac{AB - BD}{AB + BD}\cot\frac{1}{2}ABD$$

即 $$\tan\frac{1}{2}(ADB-BAD)=\frac{7.5}{12.5}\cot 22°30'$$

$\log 7.5$	0.875061
$\log \cot 22°30'$	+) 10.382776 − 10
	11.257837 − 10
$\log 12.5$	−) 1.096910
$\log \tan \frac{1}{2}(ADB-BAD)$	10.160927 − 10

$$\frac{1}{2}(ADB+BAD)=90°-\frac{1}{2}ABD=67°30'$$

故 $$\angle BAD=67°30'-55°22'50''=12°7'10''$$

$A\ pp\ Co$	$N\,45°\ 0'\ 0''W$ −
$T.\ W.$	+) $12°\ 7'10''$ +
∴ $T.\ Co.=$	$N\,32°52'50''W$

∴ $$\frac{1}{2}(ADB-BAD)=55°22'50''$$

又由正弦定律得:

$$AD=\frac{BD\sin ABD}{\sin BAD}$$

即 $$Dist=\frac{2.5\sin 45°}{\sin 12°7'10''}=2.5\sin 45°\csc 12°7'10''.$$

$\log 2.5$	0.397940
$\log \sin 45°$	9.849485 − 10
$\log \csc 12°7'10''$	+) 10.677883 − 10
$\log Dist\ Dist$	0.925308

∴ $Dist=8.5$ 浬

用方位表求之:

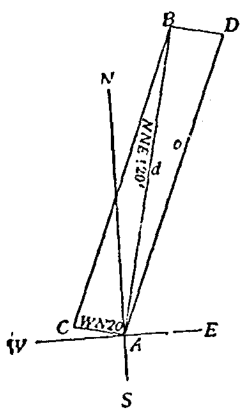
計　算　表

T.Co	Dist	D.lat		Dep	
		N	S	E	W
N45°W	10′	7.1			7.1
E	2′.5			2.5	
Co made good N33°W	Dist made good 8′.5	7.1		2.5	7.1 −2.5 4.6

4. 對既知之潮流求航向已知地所當採之針路

【例題一】 某船每時之速度爲12浬,擬由 A 地航至在 A 地 NNE 距離120浬之 B 地,該船航行中,預定總共能被 W/N 向之流水壓下20浬,試求其當採之針路及所要之時間.

如第三十五圖:於三角形 ABD 中,



第三十五圖

$$BD=AC=20', \qquad AB=120',$$

$$\angle ABD=\angle BAC=\angle NAC+\angle NAB$$

$$=7^{pts}+2^{pts}=9^{pts}=101°15'.$$

由正切定律得

$$\tan\frac{1}{2}(D-BAD)=\frac{AB-BD}{AB+BD}\cot\frac{1}{2}ABD$$

即 $$\tan\frac{1}{2}(D-BAD)=\frac{100}{140}\cot 50°37'30''$$

$\log 100$	2.000000
$\log\cot 50°37'30''$	+)9.914173−10
	11.914173−10

$$\begin{array}{ll} \log 140 & +)\ \underline{2.146128} \\ \log \tan\frac{1}{2}(D-BAD) & 9.768045-10 \end{array}$$

$$\therefore \qquad \frac{1}{2}(D-BAD)=30°22'44'',$$

$$\frac{1}{2}(D+BAD)=90°-\frac{1}{2}B=39°22'30''$$

故 $$\angle BAD=39°22'30''-30°22'44''=8°59'46''$$

$$\begin{array}{ll} T.Co & N22°30'\ 0''E+ \\ T.W & -)\ \underline{8°59'46''\ -} \\ App.Co. & N\,\underline{\underline{31°29'46''E}} \end{array}$$

又由正弦定律得:

$$AD=\frac{BD\sin ABD}{\sin\ BAD};$$

即 $$AD=\frac{20\sin 101°15'}{\sin 8°59'46''}=20\sin 101°15'\csc 8°59'46''.$$

$$\begin{array}{ll} \log 20 & 1.301030 \\ \log\sin 101°15' & 9.991574-10 \\ \log\csc 8°59'46'' & +)\underline{10.805854-10} \\ \log AD & 2.098458 \end{array}$$

$$\therefore \qquad AD=125'.45$$

故所要之時間 $=\frac{125'.45}{12'}=10^h.45$

用方位表求之:

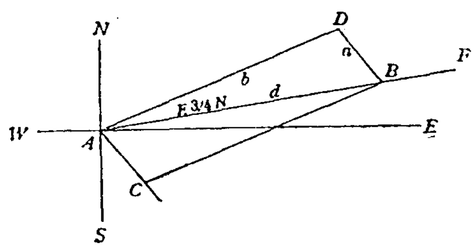
用方位表計算時,吾人可認爲該船先由 A 至 B,即以 NNE 之針路航 $120'$,次由 B 至 D,即以 E/S(W/N 之反轉)之針路航 $20'$以作之:

計算表

T. Co	Dist	D. lat.		Dep	
		N	S	E	W
NNE	120	110.9		45.9	
E/S	20		3.9	19.6	
Co made good N31½E	Dist made good 125½	110.9 − 3.9 = 107.0	3.9	65.5	

故所要之時間 $=\frac{125.5}{12}=10^h.45$.

【例題二】 每時速度$8\frac{1}{2}$浬之某船,横切$SE\frac{3}{4}S$流去,每時$2\frac{1}{4}$浬之海流,向在$E\frac{3}{4}N$之某港航行,求其當採之針路.



第三十六圖

如第三十六圖: A為起程地, F為到達地, AC示海流之方向,其每時之速度為 $CA=DB=2'\frac{1}{4}$,該船每時之速度為$AD=8'\frac{1}{2}$,則於$\triangle ADB$中,$\angle DAB$為流壓差明矣.

$$\angle ABD=\angle BAC=4\frac{3}{4}+\frac{3}{4}=5\frac{1}{2}^{pts}=61°52'30''$$

由正弦定律得

$$\sin DAB=\frac{DB\sin ABD}{AD};$$

即

$$\sin DAB=\frac{2.25\ \sin 61°52'30''}{8.5}$$

$\log 2.25$ 0.352183

$\log\sin 61°52'30''$ +) 9.945430 − 10

10.297613 − 10

$$
\begin{array}{ll}
\log 8.5 & -)\underline{0.929419} \\
\log \sin DAB & 9.368194-10
\end{array}
$$

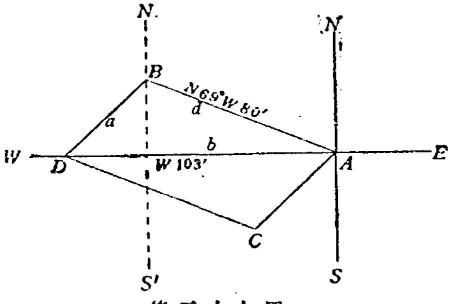
$$\therefore\quad DAB=13°30'1''$$

$$
\begin{array}{lr}
T.\,Co. & N81°33'45''N+ \\
T.\,W. & -)\ \underline{13°30'\ 1''\quad +} \\
App\,Co & \underline{\underline{N68°\ 3'44''E+}}
\end{array}
$$

該題因 AB 之長未知,故不能似前例,用方位表作之.

5.依推測位置及實測位置求流向及流程　船舶推測及實測所得之位置,所以常不能一致者,主要原因,乃潮流使焉,前已述及.故依推測及實測所得之二位置,不難求得該地之流向及流程.此項算法,大別可分二類:一、知由起程地所推測之方位及距離時,二、知推測及實測之經緯度時.其推算之法,前者與§3、§4同,後者當以推測經緯度作爲起程經緯度,實測經緯度作爲到達經緯度,再用中分緯度或漸起緯度航法,以求其航程及針路.此所得之航程及針路,卽爲所求之流程及流向.茲舉例以說明之.

【例題一】 某商船以 $N\,69°\,W$ 之針路,航行80浬,但由實測得該船之眞針路爲正西,航程爲103浬,則其間之流向及流程如何?



第三十七図

如第三十七圖所示,該船之推測位置爲 B,但實測位置在 D,其所以在 D 者,實因被 BD 之海流所壓下之故也.故 BD 之方向及大小,卽爲吾人所要之流向及流程也.

於三角形 ABD 中, $AB=80'$, $AD=103'$, $\angle A=21°$.

由正切定律得:

$$\tan\frac{1}{2}(B-D)=\frac{AD-AB}{AD+AB}\cot\frac{1}{2}A;$$

即
$$\tan\frac{1}{2}(B-D)=\frac{23}{183}\cot 10°30'.$$

$$\begin{array}{lr}
\log 23 & 1.361728 \\
\log \cot 10°30' & +)\underline{10.732033-10} \\
 & 12.093761-10 \\
\log 183 & -)\underline{\ 2.262451\qquad} \\
\log \tan\frac{1}{2}(B-D) & 9.831310-10
\end{array}$$

$$\therefore\quad \frac{1}{2}(B-D)=34°8'32''$$

$$\frac{1}{2}(B+D)=90°-\frac{1}{2}\angle BAD=79°30'$$

$$D=\frac{1}{2}(B+D)-\frac{1}{2}(B-D)$$

$$=79°30'-34°8'32''=45°21'28''$$

又
$$\angle DBS'=90°-45°21'28''$$

$$=S44°38'32''W$$

故該海流流去之方向爲$44°38'32''W$.

又由正弦定律得

$$BD=\frac{AB\ \sin A}{\sin\ D}$$

$$BD=\frac{80\ \sin 21°}{\sin\ 45°21'28''}=80\sin 21°\csc 45°21'28''.$$

$$\begin{array}{lr}
\log 80 & 1.903090 \\
\log \sin 21° & 9.554329-10 \\
\log \csc 45°21'28'' & +)\underline{10.147820-10} \\
\log BD & 1.605239
\end{array}$$

$$\therefore\qquad BD=40'.3$$

故流程爲40.3浬.

用方位表求之:

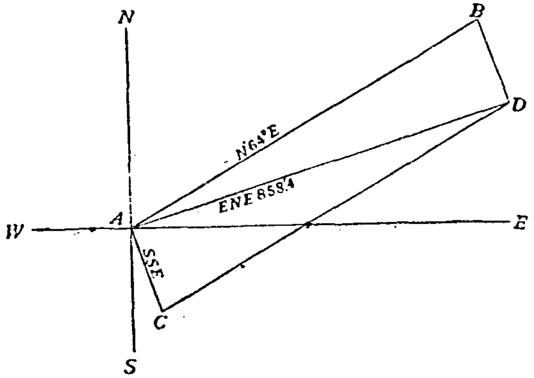
今吾人可認爲先由 B 航至 A,再由 A 航至 D,則該題當可依聯針路航法,用方位表解之。

計　算　表

T. Co	Dist	D. lat		Dep	
		N	S	E	W
S69°E	80′		28.7	74.7	
W	103′				103.0
Set	Drift		28.7	74.7	103.0 −74.7
S45°W	40′				28.3

【例題二】 某船在向 SSE 流去之海流中,以 $N64°E$ 之針路航行43小時,至在起程地之 ENE 眞方位之某地,該地與起程地相距爲858.4浬,則本船及海流每時之速度各若干?

如第三十八圖, AB 及 BD 各爲43小時該船及海流之進程.在三角形 ABD 內:



第三十八圖

$$AD=858'.4,$$

$$\angle D=\angle DAC=2^{pts}+6^{pts}=8^{pts}=90°,$$

故該三角形爲直角三角形.又

$$\angle A=67°30'-64°=3°30',$$

故 $BD=858.4\ \tan 3°30'$ 　　　$AB=858.4\ \sec 3°30'$

$\log 858.4$	2.933690	$\log 858.4$	2.933690
$\log \tan 3°30'$	+)8.786486−10	$\log \sec 3°30'$	+)10.000811−10
$\log BD$	1.720176	$\log AB$	2.934501

$\therefore$ $BD=52.502,$ 　　　$\therefore$ $AB=860.0$

$$\frac{52.502}{43}=1'.22 \qquad \frac{860.0}{34}=20'$$

故船之速度爲20浬,海流之速度爲1.22浬.

【例題三】某船由前日正午之實測位置,測推至本日正午,知應在北緯49°47′,西經19°59′之地,但依天測知本船在北緯50°10′,西經19°28′之地,則此一日航行中,所受之海流之方向及流程應如何?

茲用中分緯度航法,依方位表求之如下:

(obs)Lat in	50°10′N+	(obs)Long in	−)19°28′W−
(DR)Lat from	−)49°47′N+	(DR)Long from	19°59′W−
D. lat	23′N+	D. long	31′E+
	2)99°57′		
M. mid. lat	49°58′30″		

M. mid. lat	50°(Co)	Dep	19.9(D.lat)
D. long	31′(Dist)	D.lat 23.0	Set N41′E drift 30′5

問題十一

(1)每時有 9 浬速度之某船,橫切每時$2\frac{1}{2}$浬,向 E/N 流去之海流,向

SE/S航行22時,該船之眞針路及航程各如何?

(2)每時有9浬速度之某船,由某地出發,向在眞方位$N\,75°\,E$之某港航駛,但該處有每時2浬速度,向$N\,40°\,W$流去之海流,試求該船應採之針路,及其每時之實際航速

(3)某船每時之速度爲16浬,由某處出發,橫切向WSW流去之海流,向S/E航走30分鐘後,觀測起程處之眞方位爲N/E,則該海流每時之速度若干?

(4)某船每時之速力爲12浬,橫切向WNW每時3浬速度之海流,以NNE之針路航行5小時後,到達某港,試求該船駛回起程地,應要幾何時?且其當採如何之針路?

(5)某船欲由北緯30°15',東經137°38'之地,航向北緯20°15',東經140°50'之地,因其未將海流算入,故航行應至目的地之時間時,遙望與在該船之首尾線上,位於北緯20°40'東經141°10'之某島相距10浬,試求該處海流之方向及流程.

(6)某船每時有10浬之速度,以N/E之眞針路航行中,測得在北緯39°30',東經139°50'之某地,與船左舷正橫距離10浬,由該處擬向北緯45 30',東經143°50'之地航行,但該處有每時二浬之速度,向SSW流去之海流,則該船當採如何之針路?及每時實際之航程若干?

(7)某船依推測所得,爲向NW/N航行155浬,而依實測所得,爲向W/N½N航行150浬,此差乃因一晝夜間受海流之影響而生,試求流向及流程.

(8)在有向S/E每時4浬流去之海流之海洋中,以同一針路航行六晝夜六小時,其實際航程爲1965浬,實際針路爲E/N,試求本船應採之針路及每時之速度.

(9)每時有8浬速度之某船,由其所在地向在磁針方位$N\,20°\,W$,距離40浬之某處航駛,但該處有向磁針方位$N\,30°\,E$流去,每時3浬速度

之海流，試求該船當採之磁針路，及到達目的地所要之時間.

(10)一船由其所在地，測得在北緯35°47′，東經135°13′之某燈臺之磁針方位爲 *SSW*，距離爲20浬.今該船以 *WNW* 之磁針路，由其所在地航駛160浬時，見在北緯37°14′東經131°52′之某島，與正船首相距20浬.若偏差爲6° *W*，試求潮流之方向及航程各當如何.

第十一章 日誌算法

日誌算法(Day's work)乃在航海中,據航路日誌所記載之要項而立算者.以之推測每日正午,或必要時船舶所在之位置;實包括前述各種航法之一種總算法也.

第一節 日誌之記載及算則

1. 日記之記載 航路日誌上所記載之各要項,率為前日正午或拔錨港灣之經緯度及爾後所航行之各羅針路與其間之航程風壓差,偏差,自差,海流之方向及流程等.

前日正午或拔錨港灣之經緯度,皆由天測求之.但拔錨港灣之位置,亦可由當時之便利,依附近之岬角或燈臺等以決定之;即認本船由該物標處起程,其方位之反轉,作為第一次針路,名曰起程針路 (Departure course), 其距離作為該針路之相當航程.

潮流概自可足信賴之海圖取之.流潮不明之海區,可由正午天測與推測之位置以求之.

2. 算則 將各羅針路順次改為眞針路,且求每一針路之相當航程.

潮流之方向及流程既知時,其流向及流程各作為針路及航程,記於各針路及航程之後(潮流之方向,多為磁針者,故祇須改正偏差,以求其眞方向).

依上記之諸針路及航程,用聯針路航法,求變緯及東西距,及直行針路與航程,再用中分緯度,或漸長緯度兩航法之一,以求變經,更由起程經緯度,以推算到達經緯度.

於必要時,或求算潮流之情形,以供參考.

第二節　算例

【例題一】九月一日測得在北緯四十六度四十分,西經五十三度七分之某岬羅針方位爲W/N,距離爲十一浬(船首北東,自差十七度東).由此以下列所記者航駛,試求翌日正午之位置,並直行眞針路及航程.

時	羅針路	航程（浬）	航程（分）	風向	風壓差	自差	記事
1	ESE	8	3	S	7°	13°E	偏差三〇度西 潮流最後八小時之速度，每時爲2¼浬，流向爲WSW
2		8	0				
3		8	0				
4		7	9				
5	SE	6	0	SSW	8°	5°E	
6		6	4				
7		6	3				
8		6	9				
9	SE/S	8	7	SW/W	6°	2°¾E	
10		8	4				
11		8	0				
MN		8	7				
1	S/W	6	0	SE/E	8°	8°½W	
2		6	3				
3		6	5				
4		6	9				
5	NE/E	8	0	SE/E	6°	18°E	
6		9	0				
7		7	0				

8		7	8			
9	SW	8	7	S E/E	nil	9°¼W
10		8	9			
11		8	8			
N		8	4			

Dep. Co.

(W/N之反轉)

E/S		78°45′ −
Dev	+)	17° 0′ +
		61°45′ −
Var	+)	30 −
		S 91°45E −
	)	180°
		N88°15′E
		N88° 0′E
Dist.		11′

1st Co

ESE		67°30′ −
Dev	+)	13° 0′ +
		54°30′ −
Var.	+)	30° 0′ −
		84°30′ −
L.W.	+)	7° 0′ −
		S 91°30′E −
		180°
		N 88°30′E
		N 89° 0′E
Dist.		32′.2

2nd Co

SE		45°0′ −
Dev	+)	5°0′ +
		40°0′ −
Var	+)	30°0′ −
		70°0 −
L.W	+)	8°0′ −
		S 78°0′E −
		S 78°0′E
Dist		25.6

3rd Co.

SE/S		33°45′ −
Dev	+)	2°45′ +
		31° 0′ −
Var	+)	30° 0′ −
		61° 0′ −
L.W.	+)	6° 0′ −
		67° 0′E −

4th Co.

S/W		11°15′ +
Dev	+)	8°30′ −
		2°45′ +
Var	+)	30° 0 −
		27°15′ −
L.W.	+)	8° 0′ +
		S 19°15′E −

5th Co.

NE/E		56°15′ +
Dev	+)	18° 0′ +
		74°15′ +
Var	+)	30° 0′ −
		44°15′ +
L.W.	+)	6° 0′ −
		N 38°15′E +

	S 67° E		S 19° E		N 38° E
Dist.	33.8	Dist	25.′7	Dist.	31′.8

6^{th} Co.

SW	45° 0′	+
Dev	+) 9°15′	−
	35°45′	+
Var	+)30°	−
	S 5°45′W	+
	S 6° W	
Dist	34′.8	

Cur. Co.

WSW	67°30′	+
Var	+)30° 0′	−
	S 37°30′W	+
	S 38° W	
Dist	22.0	

No.	眞針路	航程		變	緯	東	西 距
		浬	分	N	S	E	W
D	N88°E	11	0	0.4		11.0	
1	N89°E	32	2	0.6		32.2	
2	S78°E	25	6		5.3	25.0	
3	S67°E	33	8		13.2	31.1	
4	S19°E	25	7		24.3	8.4	
5	N38°E	31	8	25.0		19.6	
6	S 6°W	34	8		34.6		3.7
C	S38°W	22	0		17.3		13.5
Co. made good. S 58° E Dist made good 130				26.0	94.7 26.0 68.7	127.3 17.2 110.1	17.2

Lat f.	46°40′ N+		Long f.	53° 7′ W−
D. Lat.	+) 1° 8′.7S−		D. Long.	+) 2°38′.5 E+
Lat in.	45°31′.3N+		Long in	50°28′.5 W−

$2)\underline{92°11'.3}$

mid. Lat. $46°6'$

【例題二】七月二十八日正午,由在南緯一度一分,西經零度十分某岬角之南(磁針方位)十五浬之某地,如下記之日誌航走,試求翌二十九日正午之位置,及直行針路與航程.

時	羅針路	航程 浬	航程 分	風向	風壓差	自差	記事
1	*S S E*	7	7	*S W*	1*p*	11°*W*	偏差　十五度東 海流　流速每二十四小時十五浬，流向爲 *E/N*.
2		7	7				
3		7	7				
4		7	9				
5	*NE½E*	8	9	*N/W*	1½*p*	14°*W*	
6		8	9				
7		8	9				
8		8	3				
9	*SE½S*	8	8	*S S W*	1½*p*	22°*W*	
10		8	2				
11	*S/W*	8	6	*S S W*	½*p*	10°*E*	
M.N		8	4				
1	*NW/W*	9	6	*WSW*	1*p*	7°*E*	
2		9	6				
3		9	6				
4		9	2				
5	*S S W*	9	3	*W*	½*p*	23°*E*	
6		9	7				
7	*W/N*	9	5	*W*	*nil*	12°*E*	
8		9	5				

9	NE	9	9	ESE	$\frac{1}{2}p$	13°W	
10		8	9				
11		7	2				
N		8	0				

Dep. Co.		*1st Co.*		*2nd Co*	
S	0°0′	SSE	2^p −	$NE\frac{1}{2}E$	$4^p\ 2^q$ +
Var.	+)15°0′ +	L.W.	+) 1^p −	L.W.	+) $1^p\ 2^q$ +
	S 15°0′W +		3^p −		$6^p\ 0^q$ +
	S 15° W				
Dist	15°	或	33°45′ −	或	67°30′ +
		Dev.	+)11° 0′ −	Dev.	+)14° 0′ −
			44°45′ −		53°30′ +
		Var.	+)15° 0′ +	Var	+)15° 0′ +
			S 29°45′E −		N 68°30′E +
			S 30° E		N 69° E
		Dist	31′	Dist	35′

3rd Co.		*4th Co.*		*5th Co.*	
$SE\frac{1}{2}S$	$3^p\ 2^q$ −	S/W	$1^p\ 0^q$ +	NW/W	5^p0^q −
L.W.	+)$1^p\ 2^q$ −	L.W.	+) 2^q −	L.W.	+)1^p0^q +
	$5^q\ 0^q$ −		$0^p\ 2^q$		4^p0^q −
或	56°15 −	或	5°38′ +	或	45°0 −
Dev.	+)22° 0′ −	Dev	+)10° 0′ +	Dev.	+)7°0′ +
	78°15′ −		15°38′ +		38′0′ −
Var.	+)15° 0′ +	Var	+)15° 0′ +	Var.	+)15°0′ +
	S 63°15′ E −		S 30°38′W +		N 23°0′ W −
	S 63° E 17′.0		S 31° W 17′.0		N 23°W 38′.0

6^{th} Co.

SSW	$2^p\ 0^q$	+
L. W.	+) 2^q	−
	$1^p\ 2^q$	+
或	16° 53′	+
Dev.	+) 23° 0′	+
	39° 53′	+
Var	+) 15° 0′	+
	S 54° 53′ W	+
	S 55° W	19.0

7^{th} Co.

W/N	$7^p\ 0^q$	−
或	78° 45′	−
Dev	+) 12° 0′	+
	66° 45′	−
Var.	+) 15° 0′	+
	N 51° 45′ W	−
	N 52° W	19′0

8^{th} Co.

N.E.	$4^p\ 0^q$	+
	+) 2^q	−
	$3^p\ 2^q$	+
或	39° 23′	+
Dev.	+) 13° 0′	−
	26° 23′	+
Var.	+) 15° 0′	+
	N 41° 23′ E	+
	N 41° E	34′.0

Cur Co

E/N	78°45′	+
	+) 15° 0′	+
	N 93°45′ E	+
	180°	
	S 86°15′ E	
	S 86° E	15′

No.	眞針路	航程 浬	航程 分	變緯 N	變緯 S	東西距 E	東西距 W
D	S15°W	15	0		14.5		3.9
1	S30°E	31	0		26.8	15.5	
2	N69°E	36	0	12.5		32.7	
3	S63°E	17	0		7.7	15.1	
4	S31°W	17	0		14.6		8.8
5	N23°W	38	0	35.0			14.8
6	S55°W	19	0		10.9		15.6
7	N52°W	19	0	11.7			15.0
8	N41°E	34	0	25.7		22.3	

C	S86°E	15	0		1.0	15.0	
Co. made good, N 77° E. Dist. made good. 43′				84.9 75.5 9.4	75.5	100.6 58.1 42.5	58.1

$$\begin{array}{llll} Lat\ f. & 1°\ 1'\ 0''S- & Long\ f. & 0°10'\ 0''W- \\ D.Lat & +)\ \underline{9'24''N+} & D.Long & +)\ \underline{42'30''E+} \\ Lat\ in & \underline{0°51'36''S-} & Long\ in & \underline{0°32'30''E+} \end{array}$$

(因 *Lat* 甚低,吾人可認爲 *D. Long* = *Dep.*)

【例題三】 六月一日正午,在北緯六十度五十一分,西經零度五十三分之某點,以船內羅針測定,爲 $SW/S\frac{3}{4}S$(當時之船首爲北東二分之一東),距離爲十二浬.如下記之日誌航行,翌日正午之推測位置,並直行眞針路及航程如何?又正午時依天測知船在北緯六十一度三十五分,東經三度十三分三十秒,潮流之方向及流程如何?

時	羅針路	航程 浬	航程 分	風向	風壓差	自差	記事
1	NE½E	9	8	NNW	1P	14°E	偏差二十六度西
2		7	6				
3		7	8				
4		7	8				
5	NNE	8	8	NW	½P	6°E	
6		9	2				
7		9	0				
8		9	0				
9	ESE	8	6	S	1¼P	17°E	
10		7	8				

11		7	2				
MN		7	0				
1	$SE\frac{1}{2}E$	8	6	SSW	$\frac{3}{4}^p$	13°E	
2		9	8				
3		9	8				
4		9	8				
5	E/N	8	6	N/E	$1\frac{3}{4}^p$	21°E	
6		7	0				
7		6	2				
8		6	8				
9	$N\frac{1}{2}W$	6	6	W	$2\frac{1}{2}^p$	2°W	
10		6	6				
11		6	6				
N		6	2				

Dep.Co.

$SW/S\frac{3}{4}S$ 之反轉

$$
\begin{array}{lrl}
 & 25°19' & + \\
Dev. & +)\underline{14°\ 0'} & \underline{+} \\
 & 39°19' & + \\
Var. & +)\underline{26°\ 0'} & \underline{-} \\
 & N\ 13°19'E & + \\
 & \underline{N\ 13°\ E} & \underline{12'}
\end{array}
$$

1^{st} Co.

$$
\begin{array}{lrl}
NE\frac{1}{2}E & 4^p\ 2^q & + \\
L.W. & +)\underline{1^p\ 0^q} & \underline{+} \\
 & 5^p\ 2^q & + \\
或 & 61°53' & + \\
Dev. & +)\underline{14°\ 0} & \underline{+} \\
 & 75°53' & + \\
Var & +)\underline{26°\ 0} & \underline{-} \\
 & N\ 49°53'E & + \\
 & \underline{N\ 50°\ E} & \underline{33'}
\end{array}
$$

2^{nd} Co.

$$
\begin{array}{lrl}
NNE & 2^p\ 0^q & + \\
L.W. & +)\underline{\ 2^q} & \underline{+} \\
 & 2^p\ 2^q & + \\
或 & 28°\ 8' & + \\
Dev. & +)\underline{\ 6°\ 0'} & \underline{+} \\
 & 34°\ 8' & + \\
Var. & +)\underline{26°\ 0} & \underline{-} \\
 & N\ \ 8°\ 8'\ E & + \\
 & \underline{N\ \ 8°\ E} & \underline{36'}
\end{array}
$$

3^{rd} Co.

ESE　$6^p\ 0^q$　−

4^{th} Co.

$SE\frac{1}{2}E$　$4^p 2^q$　−

5^{th} Co.

E/N　$7^p\ 0^q$　+

L.W.	$+)1^p\ 1^q$	$-$
	$7^p\ 1^q$	$-$
	$81°34'$	$-$
Dev.	$+)17°\ 0$	$+$
	$64°34'$	$-$
Var.	$+)26°\ 0'$	$-$
	$S\ 90°34'E$	$-$
	$180°\ 0'$	
	$N\ 89°26'E$	
	$N\ 89°E$	$30'.6$

L.W.	$+)\ 3^q$	$-$
	$5^p 1^q$	$-$
或	$59°4'$	$-$
Dev.	$+)13°0'$	$+$
	$46°4'$	$-$
Var.	$+)26°0'$	$-$
	$S\ 72°4'E$	$-$
	$S\ 72°E$	38.0

L. W.	$+)1^p\ 3^q$	$+$
	$N\ 8^p\ 3^p E$	$+$
	$16^p\ 0^q$	
	$S\ 7^p\ 1^q E$	$-$
或	$81°34'$	$-$
Dev	$+)21°\ 0'$	$+$
	$60°34'$	$-$
Var.	$+)26°\ 0'$	$-$
	$S\ 86°34'E$	$-$
	$S\ 87°E$	28.6

6^{th} Co.

$N\frac{1}{2}W$	$0^p\ 2^q$	$-$
L. W.	$+)2^p\ 2^q$	$+$
	$2^p\ 0^q$	$+$
或	$22°30'$	$+$
Dev.	$+)\ 2°\ 0'$	$-$
	$20°30'$	$+$
Var.	$+)26°\ 0'$	$-$
	$N\ 5°30'W$	$-$
	$N\ 6°W$	26.0

No.	眞針路	航程		變緯		東西距	
		浬	分	N	S	E	W
D	N13°E	12	0	11.7		2.7	
1	N50°E	33	0	21.2		25.3	
2	N 8°E	36	0	35.6		5.0	
3	N89°E	30	6	0.5		30.6	
4	S72°E	38	0		11.7	36.1	
5	S87°E	28	6		1.5	28.6	

6	N 6°W	26	0	25.9			2.7
Co. made good N 57° E Dist made good 150				94.9 13.2 81.7	13.2	128.3 2.7 125.6	2.7

Lat f.	60°51′ 0″ N+	Obs. Lat	61°35′ 0″ N+
D. Lat	+) 1°21′42″ N+	D. R. Lat	62°12′42″ N+
Lat in	62°12′42″ N+	D. Lat	37′42″ S−
		或	37′.7 S
	2)123°03′42″		2)123°47′42″
mid Lat	61°31′51″	mid Lat	61°53′51″
Long f.	0°53′ 0″ W−	D. R. Long	3°30′ 0″ E
D. Long	+) 4°23′ 0″ E+	Obs. Long	3°13′30″ E
Long in	3°30′ 0″ E+	D. Long	16′30″ W
			16.5 W

mid. Lat.	62°	Dep	7.75 W
D. Long.	16.5	D. Lat	37.7 S
Dep		Set	S 12° W
7′.75 W		Drift	38′

問題十二

(1) 十二月二十九日正午，測得在北緯 62°18′，東經 85°17′之某地之羅針方位為 N/E¾E，距離為 16 浬(船首方位 S/W)，爾後如下列之日誌航行，試求三十日正午之位置，並直行眞針路及航程.

時	羅針路	航程 浬	航程 分	風向	風壓差	自差	記事
1	S/W	4	1	WS	2¾P	0°	流　偏 潮　差
2		3	9				
3		4	0				

4		4	0				四十二度東 WSW(磁針方位)向二十三浬
5	$SW\frac{3}{4}W$	3	6	S/E	$3\frac{1}{2}^p$	$8°W$	
6		3	4				
7		8	1				
8		3	0				
9	$E\frac{3}{4}S$	5	4	SE	$1\frac{3}{4}^p$	$15°E$	
10		5	6				
11		5	4				
MN		5	6				
1	WNW	4	4	N	3^p	$18°\frac{1}{2}W$	
2		4	4				
3		4	2				
4		5	0				
5	$NW\frac{1}{2}N$	9	6	S/W	0^p	$16°\frac{1}{2}E$	
6		10	2				
7		11	4				
8		11	8				
9	$E\frac{3}{4}N$	3	4	N/E	$3\frac{1}{4}^p$	$19°\frac{3}{4}E$	
10		3	2				
11		3	0				
N		2	4				

(2)三月三日正午,測得在北緯$54°7'$,東經$0°5'$之某岬角之羅針方位爲NW/W,距離爲17浬(船首$E\frac{1}{4}S$),以下列日誌所載者航至翌日正午,試求該時船所在之位置,並直行眞針路及航程.

時	羅針路	航程		風向	風壓差	自差	記事
		浬	分				

1		9	0	*SSE*	16°	16°*E*	偏差至午後六時十七度西，由是至午前五時十八度西，由是至正午二十度西，7$\frac{20}{PM}$變針*E*½*S*
2		9	0				
3		9	2				
4		9	2				
5		9	4				
6		9	0				
7		9	0				
20/8	*E*½*S*	9	4	*S/E*	14°	15°*E*	
9		10	4				
10		10	6				
11		10	8				
MN		10	8				
1	*E*½*S*	11	4	*S/E*	26°	15°*E*	
2		11	3				
3		11	2				
4		11	2				
5		10	9				
40/6	*ENE*	7	7	*SE*	36°	18°*E*	5$\frac{40}{AM}$變針*ENE*潮流眞方位北流程六浬
7		7	6				
8		7	5				
9		6	2				
10		6	0				
11		6	0				
N		6	0				

(3) 某日正午測得在北緯五十五度一分,西經一度二十五分之岬角之羅針方位爲*W/N*½*N*,距離爲十五浬(船首方位*E*),如下記之日誌航行,翌日正午之推測位置並直行眞針路及航程如何?又同時依天測知

在北緯五十四度十四分，東經三度七分之地，則流向及二十四小時中之流程如何？

時	羅針路	航程 浬	航程 分	風向	風壓差	自差	記事
1	E/N	12	4	SES	$\frac{1}{4}p$	$17\frac{3}{4}E$	偏差二十一度四分之一西
2		12	2				
3		12	2				
4		12	2				
5	ESE	10	6	S	$\frac{1}{2}p$	$13°\frac{1}{2}E$	
6		10	5				
7		10	4				
8		10	5				
9	NE/E	8	2	SE/E	$1p$	$17°\frac{1}{4}E$	
10		8	3				
11		8	3				
MN		8	2				
1	SSE	7	4	E	$1\frac{1}{4}p$	$5°\frac{1}{2}E$	
2		7	2				
3		7	2				
4		7	2				
5	SE/S	5	8	E/N	$2p$	$8°\frac{1}{2}E$	
6		5	6				
7		5	4				
8		5	2				
9	ESE	5	4	NE	$2\frac{1}{4}p$	$13°\frac{1}{2}E$	
10		4	6				
11		4	6				
N		4	5				

(4)十二月十四日正午，在南緯四十七度四十四分，東經百七十九度七分之某燈台，以羅針儀測得其方位爲$N/W\frac{1}{2}W$(船首方位E/N)，距離爲十一浬，如下記之日誌航走，翌日正午之推測經緯度，並直行眞針路及航程如何?

時	羅針路	航程		風向	風壓差	自差	記事
		浬	分				
1	E/S	10	6	S/E	$\frac{3}{4}P$	19°E	偏差十四度東 流潮向磁針方位NW/N流去一晝夜十三浬
2		11	4				
3		11	6				
4		11	4				
5		12	0				
6	$E\frac{3}{4}S$	12	0	$SE\frac{1}{2}E$	$\frac{1}{8}P$	20°E	
7		12	3				
8		12	4				
9		12	0				
10		12	3				
11	ESE	13	4	S	$\frac{3}{8}P$	18°E	
MN		13	4				
1		13	6				
2		14	3				
3		14	3				
4	NE/E	13	8	N/W	$\frac{1}{2}P$	19°E	
5		13	8				
6		13	5				
7		13	5				
8		13	4				
9	$SE\frac{3}{4}S$	12	5	$SW/S\frac{1}{2}S$	$\frac{3}{4}P$	15°E	

10		12	5				
11	S/E	2	4	ENE	5¾P	2°E	
N		2	6				

(5)四月二十三日正午在南緯六十四度二分,東經百七十八度二十一分之某地點之羅針方位為$E/N\frac{3}{4}N$,距離為二十三浬(自差十九度西),如下記之日誌航走,則翌二十四日正午之位置,及直行真針路與航程各如何?

時	羅針路	航程		風向	風壓差	自差	記事
		浬	分				
1	$S68°W$	10	0	SW	0	19°W	偏差
2		10	0				
3		10	0				此後三十九度東至午前二時三十七度東
4		10	0				
5	$S52°W$	10	0	SW	7°	12°W	
6		10	0				
7		10	2				
8		10	3				
9		10	4				
10		10	1				
11		10	0				
MN		10	0				
1	$N45°W$	11	0	SW	12°	4°E	
2		11	0				
3		11	0				
4	$N78°W$	11	2	N/E	20°	8°E	
5		11	3				

6		11	5				
7		11	6				
8	$N60°W$	11	4	NE	8°	$9°E$	
9		12	0				
10		12	0				
11		11	0				
N		11	0				

(6)某日正午,在北緯三十五度五十八分,東經三度一分之某岬之羅針方位爲北八十四度西(自差二度東),距離爲九浬,爾後如下記之日誌航行,翌日正午之位置如何?同時依天測所得之位置,爲北緯三十七度二十分,東經十度五十分,其間之流向及航程如何?

時	羅針路	航程		風向	風壓差	自差	記事
		浬	分				
1	$N88°E$	16	5	N/E	$\frac{1}{2}P$	$2°E$	偏差十三度二十分西
2		16	5				
3		16	5				
4		17	4				
5	$N88°E$	17	1	N/E	$\frac{1}{2}P$	$2°E$	
6		15	6				
7		12	4				
8		11	0				
9	E	10	0	N/E	$\frac{1}{2}P$	$1°30'E$	
10		10	3				
11		13	5				
MN		14	2				
1	$S87°E$	16	4	NE	$\frac{3}{4}P$	0°	
2		18	5				

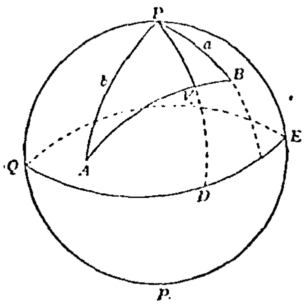
3		18	5			
4		15	6			
5	*S*85°*E*	16	3	*ESE*	0	1°*W*
6		17	7			
7		17	5			\
8		15	5			
9	*S*83°*E*	13	4	*E*	0	2°30′*W*
10		11	4			
11		10	6			
N		12	6			

第十二章　大圈航法

大圈航法(Great circle sailing)乃推求船舶在地球大圈上航行時其針路及航程等之一種算法也.地球上二點間之距離,以過此二點之大圈之弧為最短,故在大圈上航行時,航海之日數,必因之而縮短,在經濟立場上言之,實較其他各航法優良多矣.然大圈非為等角航線,故當時易針路,算法複雜,此又劣於其他航法者.

第一節　關於大圈航法術語之解說

1.起程針路(Initial course)**及到達針路**(Final course)



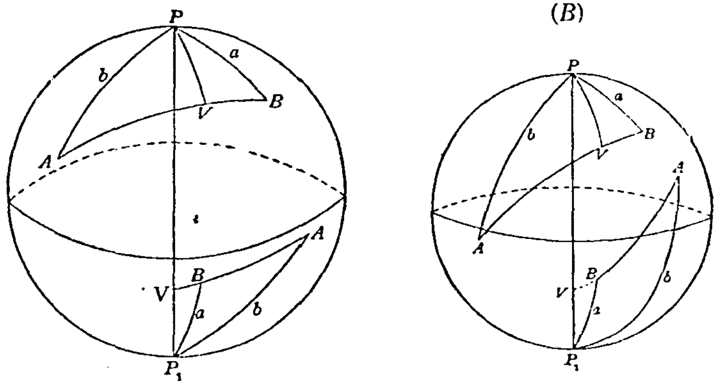
第三十九圖

第三十九圖:P及P_1示兩極,QE示赤道,A為起程地,B為到達地,AVB為過A及B大圈之弧.在該航法中,船卽航行於此大弧之上也.

起程針路者,卽起程地之子午線與此大圈之交角PAB也.到達針路者,卽到達地之子午線與此大圈之交角PBA也.

2.大圈頂點(Vertex of the great circle)**及頂點子午線**(Meridian of vertex)　由極P向過兩地之大弧AB所引之垂直子午線PVP_1與AB之交點V,由幾何理知其與赤道QE之距離,較AB上其他各點與赤道之距離皆大,此點卽稱為大圈頂點.子午線PVP_1,稱為頂點子午線.

依起程地與到達地之位置,其與極點所形成之球面三角形,與頂點及赤道之關係,必有四種:卽



第 四 十 圖

頂點在兩地大圈之間,且兩地大圈不與赤道相截,如第四十圖(A) PAB 所示者.

頂點在兩地大圈之外,且兩地大圈不與赤道相截,如第四十圖(A) P_1AB 所示者.

頂點在兩地大圈之間,且兩地大圈與赤道相截,如第四十圖(B) PAB 所示者.

頂點在兩地大圈之外,且兩地大圈與赤道相截,如第四十圖(B) P_1AB 所示者.

3. 頂點緯度 (Latitude of vertex) **及頂點經度** (Longitude of vertex) 大圈頂點 V 之緯度及經度,各名曰頂點緯度及頂點經度.

4. 由頂點之經度 (Longitude from vertex) 大圈 AB 上任一點之子午線,與頂點子午線所夾赤道上弧,曰由頂點之經度.

5. 變易針路點 在大圈之弧上航行時,除在子午線及赤道之外,餘者當隨時隨地變易其針路,但於實際航行時,欲變易其針路,而使航跡絕對在此大圈上,又爲不可能,故不得不在此

大圈之弧上,採其等距離之若干點,求其經緯度,依漸長航法或中分緯度航法,順次求由各點至其鄰點之航程與針路,當船達到此等點時,卽變易其針路;若各點之距離甚小時,航跡可期其近似於大圈之弧.如斯之各點,名曰變易針路之各點,通常經度每隔五度以求之.

第二節 求起程針路及到達針路法

6. 公式之說明 於第四十圖(A),(B)之球面三角形 PAB 中,AP 及 BP 各爲九十度加減起程地 A 及到達地 B 之緯度,當爲已知.其加或減,可依兩緯度之情形而定之;若當兩緯度同名時皆當減,若兩緯度異名時,恆以高者爲基準用減,他一用加.又角 APB 爲兩地之變經,故亦爲已知.今爲簡捷起見,以 a 及 b,代 PB 及 PA,A 及 B 代起程針路 PAB 及到達針路 PBA,P 代變經.則

$$b=90^\circ\pm Lat\ from,\qquad a=90^\circ\pm Lat\ in$$

又由納氏比例式得

$$\left.\begin{aligned} \tan\frac{1}{2}(A+B)&=\cos\frac{1}{2}(a-b)\sec\frac{1}{2}(a+b)\cot\frac{1}{2}P \\ \tan\frac{1}{2}(A-B)&=\sin\frac{1}{2}(a-b)\csc\frac{1}{2}(a+b)\cot\frac{1}{2}P \end{aligned}\right\}$$

……………………………………公式 $XXII$

故 $\frac{1}{2}(A+B)$ 及 $\frac{1}{2}(A-B)$ 可由此二式求之,則 A 及 B 自不難求得矣.

由前所得之起程針路 A,其前之符號,必與三角形 PAB 之頂 P 極之名相同;到達針路 B,應計其等値之對頂角,其前之符號,自與 P 極之名相異.然因當兩地同名時求 a、b 用減,則 P 極之名,必與此等緯度之名同,故 A 前之符號,當與此等緯度之名同;B 前之符號,當與此等緯度之名異.又因當兩緯度異名時,高

減低加,則 P 極之名必與此高者相同,故 A 前之符號當與高緯度之名同;B 前之符號,當與高緯度之名異.但若 A 或 B 之值超過九十度時,當由百八十度減之,反轉其前之符號. A、B 後之符號,與變經之名同,至為簡單.

7. 算例

【例題一】 由在南緯45°47′東經 170°45′ 之 Port Otago New Zealand 至在南緯 12°4′ 西經 77°14′之 Callao Peru, 試求其航行之大圈上之起程及到達針路.

	90° 0′		90° 0′	*Long in*	77°14′ −
Lat from	−) 45°47′	*Lat in*	−) 12° 4′	*Long fron*	−) 170°45′ +
b	44°13′	a	77°56′		247°59′ −
a	77°56′0″	a	77°56′0″		360°
b	+) 44°13′0″	b	−) 44°13′0″		2) 112°1′ + E
	2) 122° 9′0″		2) 33°43′0″	$\frac{1}{2}P$	56°0′30″ E
$\frac{1}{2}(a+b)$	61° 4′30″	$\frac{1}{2}(a-b)$	16°51′30″		

$\frac{1}{2}P$	56° 0′ 3″	*logcot*	9.828851 − 10	*logcot*	9.828851 − 10
$\frac{1}{2}(a-b)$	16°51′30″	*logcos*	10.315456 − 10	*logsin*	10.057866 − 10
$\frac{1}{2}(a+b)$	61° 4′30″	*logsec*	+) 9.980923 − 10	*logcsc*	+) 9.462407 − 10
		logtan $\frac{1}{2}(A+B)$	10.125230 − 10	*logtan* $\frac{1}{2}(A-B)$	9.349124 − 10

$$\therefore\quad \frac{1}{2}(A+B)=53°8'55'',\qquad \frac{1}{2}(A-B)=12°35'39''.$$

$A=65°44'34''$ 起程針路為 $S\,65°44'34''E$,

$B=40°33'16''$ 到達針路為 $N40°33'16''E$.

【例題二】 由在南緯 20°9′ 東經 57°29′之 Mauritius, 至在北緯 16°東經 94°13′之 Cape Negrais, 求其起程與到達針路各如何?

	90° 0′		90° 0′	*Long in*	94°13′ +
Lat from	−) 20° 9′	*Lat in*	+) 16° 0′	*Long from*	−) 57°29′ +
b	69°51′	a	106° 0′		2) 36°44′ + E
a	106° 0′ 0″	a	106° 0′ 0″	$\frac{1}{2}P$	18°22′

$$
\begin{array}{llll}
b & +)\underline{69°51'\ 0''} & b & -)\underline{69°51'\ 0''} \\
 & 2)\underline{175°51'\ 0''} & & 2)\underline{36°\ 9'\ 0''} \\
\frac{1}{2}(a+b) & 87°55'30'' & \frac{1}{2}(a-b) & 18°\ 4'30''
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{lllllll}
\frac{1}{2}P & 18°22'\ 0'' & log\ cot & 10.478849-10 & log\ cot & 10.478849-10 \\
\frac{1}{2}(a+b) & 87°55'30'' & log\ sec & 11.441199-10 & log\ csc & 10.000285-10 \\
\frac{1}{2}(a-b) & 18°\ 4'30'' & log\ cos & +)\underline{9.978021-10} & log\ sin & +)\underline{9.491728-10} \\
 & & log\ tan & 11.898069-10 & log\ tan & 9.970862-10 \\
 & & & \frac{1}{2}(A+B) & & \frac{1}{2}(A-B)
\end{array}
$$

$$\therefore \quad \frac{1}{2}(A+B)=89°16'32'' \qquad \frac{1}{2}(A-B)=43°4'46''$$

$$
\begin{array}{r}
180°\ 0'\ 0'' \\
-)\underline{S132°21'18''}
\end{array}
$$

$A=132°21'18''$　起程針路為 $N\,47°38'42''\,E$,

$B=\ 46°11'46''$　到達針路為 $N\,46°11'46''\,E$.

第三節　求航程法

8. 公式之說明　於第四十圖 (A),(B), 球面三角形 PAB 兩邊 a 及 b 及其夾角既為已知,由前節 A 及 B 亦可求得.茲以 p 代 AB 大弧之長,卽航程,則由高斯 (Gauss) 公式得,

$$\left.\begin{array}{l} cos\frac{1}{2}p=cos\frac{1}{2}(a+b)\,sec\frac{1}{2}(A+B)\,sin\frac{1}{2}P \\ \text{或由正弦定律}\ Sin\,p=Sin\,a\,Sin\,P\,csc\,A=sin\,b\,sin\,P\,csc\,B \end{array}\right\}\ \text{公式}XXIII$$

以上二式,在實際上,以用高斯公式為簡,所得之度數,當化為浬始可.

9. 算例

【例題一】 求由在南緯 32°55′ 東經 151°49′ 之 New Castle, 至在北緯 8°57′ 西經 79°31′ 之 Panama 之大圈上之航程.

$$
\begin{array}{llllllll}
 & 90°\ 0' & & 90°\ 0' & Long\ in & 79°31'- \\
Lat\ from & -)\underline{32°55'} & Lat\ in & +)\underline{8°57'} & Long\ from & -)\underline{151°49'+} \\
b & 57°\ 5' & a & 98°57' & & 231°20'-
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{llllll}
a & 98^\circ57' & a & 98^\circ57' & & 360 \\
b & +)\ 57^\circ\ 5' & b & -)\ 57^\circ\ 5' & \frac{1}{2}P & 2)\overline{128^\circ40'+E} \\
 & 2)\overline{156^\circ\ 2'} & & 2)\overline{41^\circ52'} & & 64^\circ20' \\
\frac{1}{2}(a+b) & 78^\circ\ 1' & \frac{1}{2}(a-b) & 20^\circ56' & &
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{lllrlr}
\frac{1}{2}(a-b) & 20^\circ56' & \log\cos & 9.970345-10 & & \\
\frac{1}{2}(a+b) & 78^\circ\ 1' & \log\sec & 10.682716-10 & \log\cos & 9.317284-10 \\
\frac{1}{2}P & 64^\circ20' & \log\cot & +)\ 9.681740-10 & \log\sin & 9.954883-10 \\
\frac{1}{2}(A+B) & & \log\tan & 10.334801-10 & \log\ sce & +)10.376908-10 \\
 & & & & \log\cos\frac{1}{2}p & 9.649075-10
\end{array}
$$

$\therefore \frac{1}{2}p=63^\circ31'47''$ 航程=7623.6 浬.

【例題二】 由在北緯 50°13′ 西經 3°39′ 之 Start Point, 至在北緯 13°3′ 西經 57°37′ 之 Barbadoes, 其間大圈上之航程,當爲若干浬?

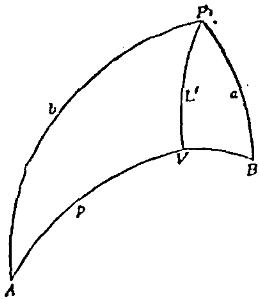
$$
\begin{array}{llllll}
 & 90^\circ\ 0' & & 90^\circ\ 0' & \text{Long in} & 57^\circ37'- \\
\text{Lat from} & -)\ 50^\circ13' & \text{Lat in} & -)\ 13^\circ\ 3' & \text{Long from} & -)\ 3^\circ39'- \\
b & 39^\circ47' & a & 76^\circ57' & & 2)\overline{53^\circ58'-}\ + \\
 & & & & \frac{1}{2}P & 26^\circ59'
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{llll}
a & 76^\circ57' & a & 76^\circ57' \\
b & +)\ 39^\circ47' & b & -)\ 39^\circ47' \\
 & 2)\overline{116^\circ44'} & & 2)\overline{37^\circ10'} \\
\frac{1}{2}(a+b) & 58^\circ22' & \frac{1}{2}(a-b) & 18^\circ35'
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{lllrlr}
\frac{1}{2}(a-b) & 18^\circ35' & \log\cos & 9.976745-10 & & \\
\frac{1}{2}(a+b) & 58^\circ22' & \log\sec & 10.280270-10 & \log\cos & 9.719730-10 \\
\frac{1}{2}P & 26^\circ59' & \log\cot & +)10.293146-10 & \log\sin & 9.656799-10 \\
\frac{1}{2}(A+B) & 74^\circ15'56'' & \log\tan & 10.550161-10 & & \\
 & & & & \log\sec & +)10.566744-10 \\
 & & & & \log\cos\frac{1}{2}p & 9.943273-10
\end{array}
$$

$\therefore \frac{1}{2}p=28^\circ39'5''$ 航程=3438.2 浬.

第四節 求頂點位置法



第四十一圖

10.公式之說明　第四十一圖:V示起程地A及到達地B之大圈頂點,P示地極,由定義PV垂直於AB.於球面三角形PAV中,V點之緯度,必等於$90°-PV$,角VPA為由A至V之變經.茲以L'及P_1各代PV及角VPA,又以L代V點之緯度,其他各字之代法,仍如前二節.則由納氏旋轉法(Napier's circular parts)得:

$$\sin L' = \cos(90° - b)\cos(90° - A)$$

$$\sin(90° - b) = \tan(90° - P_1)\tan(90° - A)$$

由是得

$$\left.\begin{aligned} \cos L &= \sin b \sin A \\ \cot P_1 &= \cos b \tan A \\ \cos L &= \sin a \sin B \\ \cot P_2 &= \cos a \tan B \end{aligned}\right\} \text{公式 } XXIV$$

若以PBV三角形為主同樣得後二式.

P_2表由B至V之變經,即角VPB也,

由§6所述三角形PAB之立定法,知不論兩緯度有如何情形,頂點V常近於高緯度之方,且與高緯度在赤道之同側.故吾人若使所求得之L、P_1或P_2配號法簡潔,當於上四式中,選其低緯度之二者為主以求算之;則所得之L之符號,永與高者同;P_1或P_2之符號若此低緯度之方為起程地時,則當與起程針路後之符號相同,若此低緯度之方為到達地,則當與到達針路後之符號相反,學者不可不留意焉.

變經既知,則頂點之經度,自易求得,於是頂點之位置定矣.

11.算例

【例題一】試求§7例題一之頂點經緯度.

參照該例:

$$
\begin{array}{llll}
a=77^\circ56'\ 0''\ \log\sin & 9.990297-10 & \log\cos & 9.320249-10 \\
B=40^\circ33'16''\ \log\sin & +)\underline{9.813027-10} & \log\tan & +)\underline{9.932334-10} \\
\qquad\qquad \log\cos L & 9.803324-10 & \log\cot P' & 9.252583-10
\end{array}
$$

$$
\therefore Lat\ V=\underline{\underline{50^\circ31'13''S,}}\qquad
\begin{array}{ll}
D.long & 79^\circ51'28''\ W- \\
Long\ B\ +) & \underline{77^\circ14'\ 0''\ W-} \\
Long\ V & \underline{\underline{157^\circ\ 5'28''\ W-}}
\end{array}
$$

【例題二】 試求§7例題二之頂點經緯度.

參照該例:

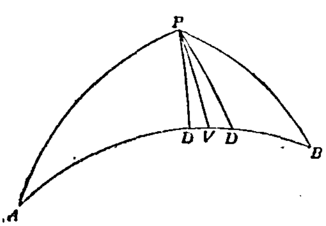
$$
\begin{array}{llll}
a=106^\circ\ 0'\ 0''\ \log\sin & 9.982842-10 & \log\cos & 9.440338-10 \\
B=\ 46^\circ11'46''\ \log\sin & +)\underline{9.858365-10} & \log\tan & +)\underline{10.018138-10} \\
\qquad\qquad \log\cos L & 9.841207-10 & \log\cot P & 9.458476-10
\end{array}
$$

$$
\therefore Lat\ V=\underline{\underline{46^\circ4'19''S}}\qquad \therefore P\ 73^\circ57'\ 6''
$$

$$
\begin{array}{ll}
 & \underline{180^\circ\qquad\qquad} \\
D.long & 106^\circ\ 2'\ 4''\ W- \\
Long\ B\ +) & \underline{94^\circ13'\ 0''\ E+} \\
Long\ V & \underline{\underline{11^\circ49'\ 4''\ W-}}
\end{array}
$$

第五節　求變易針路之各點法

12.公式之說明　前節已示求頂點位置之法.於第四十二圖,頂點子午線 PV 必與航程線相垂直.茲設 D 爲欲變易針路之點,則三角形 PVD 爲球面直角三角形,頂角 VPD 必等於兩地之變經,當爲已知;又 PV 爲頂點之餘緯度,已爲已知,由納氏旋轉法得:



第四十二圖

$$\sin(90-DPV)=\tan(90^\circ-PD)\tan PV$$

$$\therefore \cos DPV=\cot PD\tan PV$$

即　$$\cot PD=\cos DPV\cot PV$$

$$\therefore\ \tan lat\,D = \cos D.long\ \tan lat\,V \cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式}\ XXV$$

因頂點距赤道爲最遠之點,故由頂點至變易針路之各點之變緯必與頂點之緯度異名,則所得之緯度之符號,當可據此,且與 V 點緯度比較其增減之情形以配之.

通常經度,皆每隔五度而等分之,分之之法,依前節所得之頂點經度,以判定其在 AB 弧內或在 AB 弧外,若在 AB 弧內時,則由頂點向兩側而等分之,若在 AB 弧外時,則由起程地 A 向到達地 B 而等分之.

13.算例

【例題一】 經度每隔五度,試求§7例題一變易針路各點之位置,及其各針路.

由 §11 例題一知 V 在 AB 弧內,則當先由頂點向到達地採取各點,因到達針路爲 E,故各變經當爲 E:

Long at V	157°5′W−	D. long.	5° 0′	log cos	9.998344−10
D. long.	+) 5°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	+)10.084153−10
Long at 8th	152°5′W−	Lat	50°25′S	log tan	10.082497−10
Long at V	157°5′W−	D. long.	10° 0′	log cos	9.993351−10
D. long.	+) 10°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	+)10.084153−10
Long at 9th	147°5′W−	Lat	50° 5′S	log tan	10.077504−10
Long at V	157°5′W−	D. long.	15° 0′	log cos	9.984944−10
D. long.	+) 15°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	+)10.084153−10
Long at 10th	142°5′W−	Lat.	49°32′S	log tan	10.069097−10
Long at V	157°5′W−	D. long.	20° 0′	log cos	9.972986−10
D. long.	+) 20°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	10.084153−10
Long at 11th	137°5′W−	Lat	48°45′S	log tan	10.057139−10
Long at V	157°5′W−	D. long.	25° 0′	log cos	9.957276−10
D. long.	+) 25°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	+)10.084153−10
Long at 12th	132°5′W−	Lat	47°44′S	log tan	10.041429−10

Long at V	157°5′W −	D. long.	30° 0′	log cos	9.937531 − 10
D. long.	+) 30°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	+) 10.084153 − 10
Long at 13^{th}	127°5′W −	Lat	46°26′S	log tan	10.021684 − 10
Long at V	157°5′W −	D. long.	35° 0′	log cos	9.913364 − 10
D. long.	+) 35°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	+) 10.084153 − 10
Long at 14^{th}	122°5′W −	Lat	44°50′S	log tan	9.997517 − 10
Long at V	157°5′W −	D. long.	40° 0′	log cos	9.884254 − 10
D. long.	+) 40°0′E −	Lat V	50°31′S	log tan	+) 10.084153 − 10
Long at 15^{th}	117°5′W −	Lat	42°55′S	log tan	9.968407 − 10
Long at V	157°5′W −	D. long.	45° 0′	log cos	9.849485 − 10
D. long.	+) 45°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	+) 10.084153 − 10
Long at 16^{th}	112°5′W −	Lat	40°38′S	log tan	9.933638 − 10
Long at V	157°5′W −	D. long.	50° 0′	log cos	9.808067 − 10
D. long.	+) 50°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	+) 10.084153 − 10
Long at 17^{th}	107°5′W −	Lat	37°58′S	log tan	9.892220 − 10
Long at V	157°5′W −	D. long.	55° 0′	log cos	9.758591 − 10
D. long.	+) 55°0′E −	Lat V	50°31′S	log tan	+) 10.084153 − 10
Long at 18^{th}	102°5′W −	Lat	34°51′S	log tan	9.842744 − 10
Long at V	157°5′W −	D. long.	60° 0′	log cos	9.698970 − 10
D. long.	+) 60°0′E +	Lat W	50°31′S	log tan	+) 10.084153 − 10
Long at 19^{th}	97°5′W −	Lat	31°15′S	log tan	9.783123 − 10
Long at V	157°5′W −	D. long.	65° 0′	log cos	9.625948 − 10
D. long.	+) 65°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	+) 10.084153 − 10
Long at 20^{th}	92°5′W −	Lat	27° 9′S	log tan	9.710101 − 10
Long at V	107°5′W −	D. long.	75° 5′	log cos	9.534052 − 10
D. long.	+) 70°0′E +	Lat V	50°31′S	log tan	+) 10.084153 − 10
Long at 21^{th}	87°5′W −	Lat	22°33′S	log tan	9.618205 − 10

Long at V	$157°5'W-$	*D. long.*	$75°\ 0'$	*log cos*	$9.412996-10$
D. long.	$+)\ 75°0'E+$	*Lat V*	$50°31'S$	*log tan*	$+)10.084153-10$
Long at 22^{th}	$82°5'W-$	*Lat*	$17°26'S$	*log tan*	$9.497149-10$

次由頂點至起程地採取各點,因起程針路爲E,故各變經當爲W,與上同樣得:

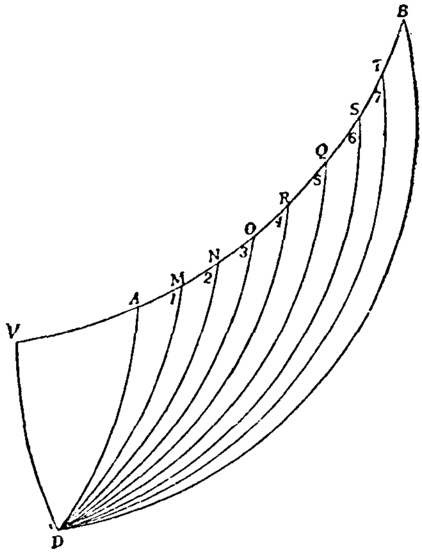
Long at V	$157°\ 5'W-$		
D. long.	$+)\ 5°\ 0'W-$		
Long at 6^{th}	$162°\ 5'W-$	*Lat at* 6^{th}	$50°25'S$
Long at V	$157°\ 5'W-$		
D. long.	$+)\ 10°\ 0'W-$		
Long at 5^{th}	$167°\ 5'W-$	*Lat at* 5^{th}	$50°\ 5'S$
Long at V	$157°\ 5'W-$		
D. long.	$+)\ 15°\ 0'W-$		
Long at 4^{th}	$172°\ 5'W-$	*Lat at* 4^{th}	$49°32'S$
Long at V	$157°\ 5'W-$		
D. long.	$+)\ 20°\ 0'W-$		
Long 3^{rd}	$177°\ 5'W-$	*Lat at* 3^{rd}	$48°45'S$
Long at V	$157°\ 5'W-$		
D. long.	$+)\ 25°\ 0'W-$		
	$182°\ 5'W-$		
	360		
Long at 2^{nd}	$177°55'E+$	*Lat at* 2^{nd}	$47°44'S$
Long at V	$157°\ 5'W-$		
	$+)\ 30°\ 0'W-$		
	$187°\ 5'W-$		
	$360°$		
Long at 1^{st}	$172°55'E+$	*Lat at* 1^{st}	$46°26'S$

針　路　表

變易路之各針點	由頂點之經度		各點經度		各點緯度		依漸長緯度航法求之		
							針	路	航程
A	32°	10′	170°	45′*E*	45°	47′*S*	°	′	
1	30	0	172	55	46	26	*S* 67	4 *E*	100.1
2	25	0	177	55 *E*	47	44	*S* 69	2 *E*	218.0
3	20	0	177	5 *W*	48	45	*S* 73	8 *E*	210.2
4	15	0	172	5	49	32	*S* 76	30 *E*	201.3
5	10	0	167	5	50	5	*S* 80	21 *E*	196.9
6	5	0	162	5	50	25	*S* 84	6 *E*	194.6
V	0	0	157	5	50	31	*S* 88	17 *E*	200.3
8	5	0	152	5	50	25	*N* 88	17 *E*	200.3
9	10	0	147	5	50	5	*N* 84	6 *E*	194.6
10	15	0	142	5	49	32	*N* 80	21 *E*	196.9
11	20	0	137	5	48	45	*N* 76	30 *E*	201.3
12	25	0	132	5	47	44	*N* 73	8 *E*	210.2
13	30	0	127	5	46	26	*N* 69	2 *E*	218.0
14	35	0	122	5	44	50	*N* 65	37 *E*	232.5
15	40	0	117	5	42	55	*N* 62	5 *E*	245.0
16	45	0	112	5	40	38	*N* 58	37 *E*	263.0
17	50	0	107	5	37	58	*N* 55	31 *E*	282.6
18	55	0	102	5	34	51	*N* 52	17 *E*	305.7
19	60	0	97	5	31	15	*N* 49	25 *E*	332.0
20	65	0	92	5	27	9	*N* 46	58 *E*	360.5
21	70	0	87	5	22	33	*N* 44	43 *E*	388.4
22	75	0	82	5	17	26	*N* 42	43 *E*	417.8
B	79	51	77	14 *W*	12	4 *S*	*N* 41	19 *E*	428.7
									5799.0

【例題二】 經度每隔五度,試求§7例題二變易針路之各點位置,及其各針路.

由§11例題二,知V在AB弧外,且近於A,故由起程地向到達地採取各點.因起程針路為E,故各變經為E,如第四十三圖所示(M,N,……T各示變易針路之各點).



第四十三圖

Long A	$57°29'0''E$ +	D.long.f.V	$74°18'4''$	log cos	$9.432299-10$
D.long. +)	$5°\ 0'0''E$ +	Lat V	$46°4'19''S$	log tan +)	$10.016254-10$
Long M	$62°29'0''E$ +	Lat M	$15°41'24''S$	log tan	$9.448553-10$

Long V −)$11°49'4''W$ −
D.long.f.V $74°18'4''$

Long A	$57°29'0''E$ +	D.long.f.V	$79°18'4''$	log cos	$9.268689-10$
D.long. +)	$10°\ 0'0''E$ +	Lat V	$46°4'19''S$	log tan +)	$10.016254-10$

Long N 67°29′0″E + *Lat N* 10°54′31″S *log tan* 9.284943 − 10

Long V −)11°49′4″W −
D.long.f.V 79°18′4″

Long A 57°29′0″E + *D.long.f.V* 84°18′ 4″ *log cos* 8.996952 − 10

D.long. +)15° 0′0″E + *Lat V* 46° 4′19″S *log tan* +)10.016254 − 10
Long O 72°29′0″E + *Lat O* 5°53′ 8″S *log tan* 9.013206 − 10

Long V −)11°49′4″W −
D.long.f.V 84°18′4″

Long A 57°29′0″E + *D.long.f.V* 89°18′ 4″ *log cos* 8.086275 − 10

D.long. +)20° 0′0″E + *Lat V* 46° 4′19″S *log tan* +)10.016254 − 10
Long R 77°29′0″E + *Lat R* 0°43′32″S *log tan* 8.102529 − 10

Long V −)11°49′4″W −
D.long.f.V 89°18′4″

Long A 57°29′0″E + *D.long.f.V* 94°18′ 4″ *log cos* 8.875050 − 10

D.long. +)25° 0′0″E + *Lat V* 46° 4′19″S *log tan* +)10.016254 − 10
Long Q 82°29′0″E + *Lat Q* 4°27′ 7″N *log tan* 8.891304 − 10

Long V −)11°49′4″W −
D.long.f.V 94°18′4″

Long A 57°29′0″E + *D.long.f.V* 99°18′ 4″ *log cos* 9.208503 − 10

D.long. +)30° 0′0″E + *Lat V* 46° 4′19″S *log tan* +)10.016254 − 10
Long S 87°29′0″E + *Lat S* 9°31′29″N *log tan* 9.224757 − 10

Long V −)11°49′4″W −
D.long.f.V 99°18′4″

Long A 57°29′0″E + *D.long.f.V* 104°18′4″ *log cos* 9.392728 − 10

D.long. +)35° 0′0″E + *Lat V* 46° 4′19″S *log tan* +)10.016254 − 10
Long T 92°29′0″E + *Lat T* 14°22′58″N *log tan* 9.408982 − 10

Long V −)11°49′4″W −
D.long.f.V 104°18′4″

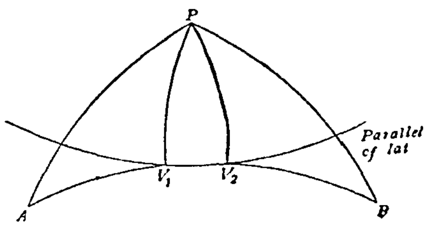
針路表

變易各針路之點	由頂點之經度	各點經度	各點緯度	依漸長緯度航法求之 針路	航程
V	0° 0′	11° 49′W	46° 4′S	° ′	
A	69 18	57 29E	20 9S	N46 48E	391.5
1	74 18	62 29E	15 41S	N45 29E	409.3
2	79 18	67 29E	10 54S	N44 35E	422.6
3	84 18	72 29E	5 53S		
4	89 18	77 29E	0 43S	N44 0E	431.0
5	94 18	82 29E	4 27N	N44 2E	431.2
6	99 18	87 29E	9 31N	N44 24E	425.4
7	104 18	92 29E	14 23N	N45 8E	413.9
B	109 18	94 13E	16 0N	N45 59E	139.6
				大圈上之航程	3064.5
				漸長緯度航法之航程	3065.1
					0.6

第六節　混合大圈航法

大圈航法,雖爲航行於高緯度之海域所常用者,然高緯度之海域,恆有冰山、浮冰、風雪等,致使航行極其困難,且極危險;故欲安全航行,當選一最高之安全緯度,作爲航行之限制,若大圈航路超過此最高安全緯度時,則當雜用等距圈航法以航駛之卽先航行於過起程地且與預定之最高緯度等距圈相切之大圈上,至切點時,則用等距圈航法向東或西航至過到達地且與該等距圈相切之大圈之切點處,再在此最後之大圈上航至到達地,此法卽名曰混合大圈航法(Composite great circle sailing).

14.公式之說明 第四十四圖:A 及 B,各示起程及到達地,AV_1 及 BV_2 示切於預定之等距圈之大圈之弧.角 PV_1A 及 PV_2B 皆爲直角,則兩三角形 PAV_1 及 PBV_2 成球面直角三角形.因 A、B 兩點之經緯度及 V_1 或 V_2 之緯度皆爲已知,故據此關於該航法之一切問題,自可解決.



第四十四圖

茲仍以 A 及 B 代起程及到達二針路,則

$$\frac{\sin A}{\sin PV_1}=\frac{\sin 90^\circ}{\sin PA} \quad \text{即} \quad \sin A=\frac{\sin PV_1}{\sin PA}=\frac{\cos \, lat V_1}{\cos \, lat A}$$

$$\left.\begin{array}{ll} \therefore & \sin A=\cos \; lat \; V_1 \sec \; lat \; A \\ \text{同樣} & \sin B=\cos \; lat \; V_2 \sec \; lat \; B \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\text{公式} XXVI$$

所得之針路,其配號法與§6同,茲不贅.

又 $$\sin(90^\circ-APV_1)=\tan PV_1 \tan(90^\circ-AP)$$

$$\left.\begin{array}{ll} \therefore & \cos(D.\,long\ from\ V_1\ to\ A)=\cot \; lat \; V_1 \tan lat \; A \\ \text{同樣} & \cos(D.\,long\ from\ V_2\ to\ B)=\cot \; lat \; V_2 \tan lat \; B \end{array}\right\} \text{公式} XXVII$$

用此所求得之變經,仍按 §10 以配其符號.

至其航程當爲

$$Dist=AV_1+V_1V_2+BV_2$$

而由球三角公式得 $\cos AP=\cos AV_1 \cos PV_1$

即 $\cos AV_1=\cos AP \; \sec \; PV_1$

$$\left.\begin{array}{ll} \therefore & \cos AV_1=\sin lat \; A \csc lat \; V_1 \\ \text{同樣} & \cos BV_2=\sin lat \; B \csc lat \; V_2 \\ \text{由公式} XI \text{得} & V_1V_2=D.long(V_1 \; to \, V_2)\cos lat \; V \end{array}\right\} \cdots\text{公式} XXVIII$$

15.算例

【例題一】自在 *lat* 35°42′N *long.* 140°52′ E 之犬吠岬,至在 *lat* 48°32′ N, *long* 124°59′ W 之 Juan de Fuca Strait, 最高緯度限於北緯 50°, 試依混合大圏航法,求起程及到達針路,並航程,且求經度每隔五度,變易針路之各點及各針路.

$$
\begin{array}{llll}
Lat\ V_1 & 50°\ 0' & \log\cos & 9.808067-10 \\
Lat\ A & 35°42' & \log\sec & +)\ \underline{10.090399-10} \\
 & & \log\sin & 9.898466-10
\end{array}
$$

起程針路為 $\underline{\underline{N52°19'42''E}}$

$$
\begin{array}{lll}
Lat\ V_1\ 50°0'\ \log\cot & & 9.923813-10 \\
Lat\ A\ 35°42'\ \log\tan & +) & \underline{9.856471-10} \\
\log\cos & & 9.780284-10
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{lll}
D.\ long\ f.\ V_1\ \text{to}\ A & & 52°55'6''E+ \\
Long\ A & +) & \underline{140°52'0''E+} \\
 & & 193°47'6''E+ \\
 & & \underline{360°\qquad\quad} \\
Long\ V_1 & & \underline{166°12'54''W}
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{lll}
Lat\ V_1\ 50°0'\ \log\csc & & 10.115746-10 \\
Lat\ A\ 35°42'\ \log\sin & +) & \underline{9.766071-10} \\
\log\cos & & 9.881817-10
\end{array}
$$

$$AV_1 = 40°22'50''$$

$$\underline{=2422'.8}$$

$$
\begin{array}{llll}
Lat\ V_2 & 50°\ 0' & \log\cos & 9.808067-10 \\
Lat\ B & 48°32' & \log\sec & +)\ \underline{10.179021-10} \\
 & & \log\sin & 9.987088-10
\end{array}
$$

∴ 到達針路為 $\underline{\underline{S76°\ 5'50''E}}$

$$Lat\ V_2\ 50°0'\ \log\cot \qquad 9.923813-10$$

$$\begin{array}{lr} Lat\ B\ 48°32\ \log\tan & +)\underline{10.053701-10} \\ \log\cos & 9.977514-10 \end{array}$$

$$\begin{array}{lr} D.long\ f.\ V_2\ \text{to}\ B & 18°16'43''W- \\ Long\ B & +)\underline{124°59'\ 0''W-} \\ Long\ V_2 & \underline{\underline{143°15'43''W-}} \end{array}$$

$$\begin{array}{lr} Lat\ V_2 50°0'\ \log\csc & 10.115746-10 \\ Lat\ B\ 48°32'\ \log\sin & +)\underline{\ 9.874679-10} \\ \log\cos & 9.990425-10 \end{array}$$

$$BV_2 = 11°59'13''$$
$$\underline{\underline{=719'.2}}$$

$$\begin{array}{llllll} Long\ V_2 & 143°15'43''W- & D.long. & 1377'2 & \log & 3.138997 \\ Long\ V_1 & -)\underline{166°12'54''W-} & Lat\ V & 50° & \log\cos & +)\underline{9.808067-10} \\ D.long & 22°57'11''E+ & V_1V_2 & \underline{885'.2} & \log & 2.947064 \end{array}$$

$$\therefore\ Dist = 2422'.8 + 719'.2 + 885'.2 = \underline{\underline{4027'2}}$$

$$\begin{array}{llllll} Long\ V_1 & 166°13'W- & D.long & 5°\ 0' & \log\cos & 9.998344-10 \\ D.long & +)\underline{\ 5°\ 0'W-} & Lat\ V_1 & 50°\ 0'N & \log\tan & +)\underline{10.076187-10} \\ Long\ 10^{th} & \underline{\underline{171°13'W-}} & Lat & \underline{\underline{49°53'N}} & \log\tan & 10.074531-10 \end{array}$$

$$\begin{array}{llllll} Long\ V_1 & 166°13'W- & D.long & 10°\ 0' & \log\cos & 9.993351-10 \\ D.long & +)\underline{\ 10°\ 0'W-} & Lat\ V_1 & 50°\ 0'N & \log\tan & +)\underline{10.076187-10} \\ Long\ 9^{th} & \underline{\underline{176°13'W-}} & Lat & \underline{\underline{49°34'N}} & \log\tan & 10.069538-10 \end{array}$$

$$\begin{array}{llllll} Long\ V_1 & 166°13'W- & D.long & 15°\ 0' & \log\cos & 9.984944-10 \\ D.long & +)\underline{\ 15°\ 0'W-} & Lat\ V_1 & 50°\ 0'N & \log\tan & +)\underline{10.076187-10} \\ & 181°13'W- & Lat & \underline{\underline{49°\ 1'N}} & \log\tan & 10.061131-10 \\ & \underline{360°} & & & & \\ Long\ 8^{th} & \underline{\underline{178°47'E}} & & & & \end{array}$$

$$\begin{array}{llllll} Long\ V_1 & 166°13'W- & D.long & 20°\ 0' & \log\cos & 9.972986-10 \end{array}$$

D. long.	+) $20°\ 0'W-$	Lat V_1	$50°\ 0'N$	log tan	+)	$10.076187-10$
	$186°13'W-$	Lat	$48°14'N$	log tan		$10.049173-10$
	$360°$					
Long 7^{th}	$173°47'E$					
Long V_1	$166°13'W-$	D. long	$25°\ 0'$	log cos		$9.957276-10$
D. long.	+) $25°\ 0'W-$	Lat V_1	$50°\ 0'N$	log tan	+)	$10.076187-10$
	$191°13'W-$	Lat	$47°12'N$	log tan		$10.033463-10$
	$360°$					
Long 6^{th}	$168°47'E$					
Long 5^{th}	$163°47'E$	Lat	$45°54'N$			
Long 4^{th}	$158°47'E$	Lat	$44°19'N$			
Long 3^{rd}	$153°47'E$	Lat	$42°24'N$			
Long 2^{nd}	$148°47'E$	Lat	$40°\ 7'N$			
Long 1^{st}	$143°47'E$	Lat	$37°27'N$			

由 V_2 向 B 之各點,其緯度必各與此等相當點之緯度相等,故無重求之必要.

針路表

變之易各針點路	由頂點之經度	各點經度		各點緯度		依漸長緯度航法求之		
						針	路	航程
A	52° 55′	140°	52′E	53°	42′N			
1	50° 0	143	47	37	27	N53°	14′E	175.0
2	45 0	148	47	40	7	N55	57 E	783.3
3	40 0	153	47	42	24	N58	43 E	263.8
4	35 0	158	47	44	19	N62	12 E	246.6
5	30 0	163	47	45	54	N65	50 E	232.0
6	25 0	168	47	47	12	N69	17 E	220.6
7	20 0	173	47	48	14	N72	55 E	211.6

8	15	0	178	47*E*	49	1	*N*74	40*E*	203.8
9	10	0	176	13*W*	49	34	*N*80	26*E*	198.0
10	5	0	171	13	49	53	*N*84	24*E*	194.8
11	0	0	166	13	50	0*N*	*N*87	55*E*	193.3
等距圈航法……………………*E*									885.2
12	0	0	143	16	50	0*N*			
13	5	0	138	16	49	53	*S*87	55*E*	193.3
14	10	0	133	16	49	34	*S*84	24*E*	194.8
15	15	0	128	16	49	1	*S*80	26*E*	198.4
B	18	18	124	59*W*	48	32	*S*77	24*E*	133.0

【例題二】 由南緯 45°59′, 東經 170°40′ 之地,至南緯49°7′, 西經 75°34′ 之地,最高緯度以南緯55°爲限,試用混合大圈航法,求其起程及到達針路並航程.

Lat V_1 55° 0′		*log cos*	9.758591 − 10
Lat A 45°59′		*log sec* +)	10.158098 − 10
		log sin	9.916689 − 10

∴起程針路爲 *S*55°38′2″*E*

Lat V_1 55° 0′		*log cot*	9.845227 − 10
Lat A 45°59′		*log tan* +)	10.014910 − 10
log cos			9.860137 − 10
D. long f. V to A			43°33′33″*E* +
Long A		+)	170°40″ 0″*E* +
			214°13′33″*E* +
			360°
Long V_1			145°46′27″*W*
Lat V_1 55° 0′		*log csc*	10.086636 − 10
Lat A 45°59′		*log sin* +)	9.856812 − 10

$\log \cos \qquad 9.943448-10$

$AV_1 = 28°36'34''$

$= 1716.'6$

$Lat\ V_2\ 55°\ 0' \quad \log \cos \qquad 9.758591-10$

$Lat\ B\ \ 49°\ 7' \quad \log \sec +)\ 10.184077-10$

$\log \sin \qquad 9.942668-10$

∴到達針路爲 $N61°12'11''E$

$Lat\ V_2\ 55°\ 0' \quad \log \cot \qquad 9.845227-10$

$Lat\ B\ \ 49°\ 7' \quad lon\ tan +)\ 10.062624-10$

$\log \cos \qquad 9.907851-10$

$D.long\ f.\ V_2\ to\ B \qquad 36°\ 1'0''W-$

$Long\ B \qquad +)\ 75°34'0''W-$

$Long\ V_2 \qquad 111°35'0''W-$

$Lat\ V_2\ 55°\ 0' \quad \log \csc \qquad 10.086636-10$

$Lat\ B\ \ 49°\ 7' \quad \log \sin\ +)\ 9.878547-10$

$\log \cos \qquad 9.965183-10$

$BV_2 = 22°38'15''$

$= 1358'2$

$Long\ V_2 \qquad 111°35'\ 0''W-$

$Long\ V_1 \qquad -)\ 145°46'27''W-$

$D.long \qquad 34°11'27''E\ -$

$D.long\ 2051'5\ \log \qquad 3.312072$

$Lat\ \ 55°\ \log \cos \quad +)\ 9.758591-10$

$V_1V_2\ \ 1176'7\ \log \qquad 3.070663$

$\therefore Dist = 1716'6 + 1176'7 + 1358'2 = 4251'5$

問題十三

(1) 由在 *lat* 49° 57′ *N*, *long* 5° 12′ *W* 之 Lizard,至在 *lat* 13° 3′ *N*, 59° 37′ *W* 之 Barbados,試求其大圈上之航程及到達針路,頂點位置,及經度每隔五度變易針路各點之位置.

(2) 由北緯 40° 東經 160° 之地,至北緯 56° 28′ 西經 140° 之地,求大圈上之航程,起程及到達針路,並頂點之位置.

(3) 下記兩地間之航程,用大圈航法及漸長航法,當有幾許之差,試比較之.

起程地　南緯 53° 18′, 東經 160° 13′;

到達地　南緯 53° 18′, 西經 170° 16′.

(4) 最高緯度,以南緯 40°爲限,試依混合大圈航法,求由南緯 20° 西經 40°, 至南緯 10° 東經 118° 30′ 之航程,及起程與到達針路.

第二編 沿岸航法

第十三章 海 圖

將水面及沿岸若干部分,畫入平面,藉以表明島嶼、岩礁、水深、底質、潮流、磁針偏差及一切關於水路之諸事項,是謂海圖(Chart).海圖實航海者,唯一之指針.在前編諸航法中,有時為便利起見,常將航線畫入圖上,由度量求其針路及航程,以免計算之勞.而在沿岸航行中,由陸測以決定船所在之位置,又端賴海圖.習斯術者,對於海圖繪製之基本原理,及使用保管等法,萬不可忽略視之.

第一節 概說

1.依用途上海圖之分類 海圖因其供使用目的之不同,可分二類:航用海圖及雜圖是也.

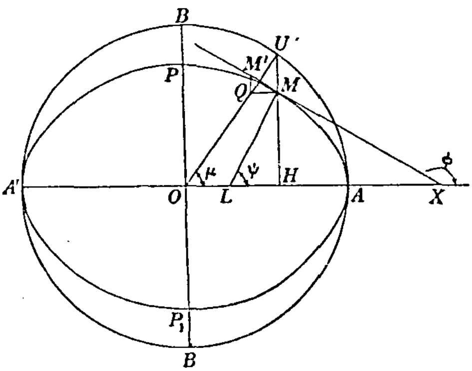
航用海圖,乃明示海洋沿岸、港灣、島嶼、岩礁之形狀,及水之深淺等,作為航海及碇泊之直接指導者.

雜圖者,乃航用海圖以外各種海圖之總稱也,此項海圖,只得作為航海者之參考而已,如世界全圖、磁針偏差圖、水路圖誌、索引圖、港灣圖等.

2.依繪製上海圖之分類 地球本為橢圓體,欲將地面完全用平面表示之,當不可能,吾人只能使圖上之地物與真地物之關係相同之一法.然此等方法,又有種種不同,依此不同之方法,所製之海圖,大抵可分為平面圖(Plan)、漸長圖(Mercator's chart)、投影圖(Gromonic chart)及多圓錐圖(Polyconic chart)四種.致其各種圖所據之原理,及精粗之程度,當於以下各節依次述之.

3. 以地球實體言地理學緯度一分之長　赤道上一分弧長定爲一浬,以地球實體言之,則地理學緯度一分之弧長,較之一浬,當有多少之差誤.精確之海圖,多將此項差誤計入,卽以其實際之長繪製者,故特立本項以說明之.

子午線之曲率 (Curvature),近於赤道之部分較急,近極則漸緩,故地理學緯度一分弧之長,必因其緯度之高低,而復生差異.於第四十五圖 O、P、P_1,及 AA',各示地球之橢圓截面之地心、兩極及赤道;以 a 及 b 各代赤道半徑 OA 及極半徑 OP. 以 OA、OP 作橫縱二軸,以 c 代橢率,ABA' 爲其輔圓,卽以 a 爲半徑 O 爲中心所作之圓. ML 爲 M 點切線之垂直線,MLA 角以 ϕ 表之.卽爲 $M(x,y)$ 點之地理學緯度.M' 爲 M 甚接近之他一點,其坐標可認爲 $(x+\Delta x, y+\Delta y)$; M' 點之地理學緯度,可認爲 $\phi+\Delta\phi$. MM' 之長以 Δs 代之,則 $\frac{\Delta y}{\Delta s}$ 之値吾人可認爲等於 $\cos\phi$, 卽



第　一　圖

$$\frac{\Delta y}{\Delta s}=\cos\phi$$

當 M' 趨近於 M,以其爲極限位置時,則

$$\frac{ds}{dy}=\sec\phi$$

今因
$$\frac{ds}{dy}=\frac{ds}{d\phi}\cdot\frac{d\phi}{dy},$$

故
$$\frac{ds}{d\phi}=\sec\phi\ \frac{dy}{d\phi}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

茲過M作MH,垂直於OA,與輔助圓會於U點,連UO,得UOH爲M點之離心角,以μ表之,則由解析幾何知

$$x=a\cos\mu,\qquad y=b\sin\mu \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

由是　$\frac{b}{a}\tan\mu=\frac{y}{x}$,

由第九章§7　$\frac{y}{x}=(1-c)^2\tan\varphi\quad\left[(1-c)=\frac{b}{a}\right]$

代入上式　$\tan\mu=(1-c)\tan\varphi, \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$

微分之　$\sec^2\mu\frac{d\mu}{d\varphi}=(1-c)\sec^2\varphi$

∴　$\frac{d\mu}{d\varphi}=(1-c)\sec^2\varphi\cos^2\mu \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$

將(2)之後式微分之　$\frac{dy}{d\mu}=b\cos\mu$,

而　$\frac{dy}{d\varphi}=\frac{dy}{d\mu}\cdot\frac{d\mu}{d\varphi}=b\cos\mu\frac{d\mu}{d\varphi}$,

將(4)代入之　
$$\frac{dy}{d\varphi}=b(1-c)\sec^2\varphi\cos^2\mu$$
$$=\frac{a(1-c)^2\sec^2\varphi}{(1+\tan^2\mu)^{\frac{3}{2}}},$$

再將(3)代入之　
$$\frac{dy}{d\varphi}=\frac{a(1-c)^2\sec^2\varphi}{\{1+(1-c)^2\tan^2\varphi\}^{\frac{3}{2}}}$$
$$=\frac{a(1-c)^2\sec^2\varphi}{\left\{\frac{\cos^2\varphi+(1-c)^2\sin^2\varphi}{\cos^2\varphi}\right\}^{\frac{3}{2}}}$$
$$=\frac{a(1-c)^2\cos\varphi}{\{\cos^2\varphi+(1-c)^2\sin^2\varphi\}^{\frac{3}{2}}}$$

$$\frac{dy}{d\varphi}=a(1-c)^2\cos\varphi\,[1-2c\sin^2\varphi+c^2\sin^2\varphi]^{-\frac{3}{2}}$$

將該式展開,則c之二次方以上之項,可以略去,即得

$$\frac{dy}{d\varphi}=a(1-c)^2\cos\varphi(1+3c\sin^2\varphi)$$
$$=a\cos\varphi(1-2c+3c\sin^2\varphi),$$

$$\therefore \quad \frac{dy}{d\varphi}=a\cos\varphi\left[1-\frac{c}{2}(1+3\cos2\varphi)\right],$$

將此代入(1)　$ds=a\left[1-\dfrac{c}{2}(1+3\cos2\varphi)\right]d\varphi.$

茲將上式之 ds 以 l 代之，$d\varphi$ 設爲 $1'$ 卽 $d\varphi=\dfrac{1}{3438}$ 弧度，又 $c=\dfrac{1}{298.3}$，$a=6378.2$ 公里，卽 $a=6378200$ 公尺，則

$$l=1855.3[1-0.0017(1+3\mathrm{Cos}2\varphi)]$$

$$\therefore \quad l=(1852.2-9.5\cos2\varphi)\cdots\cdots\cdots\cdots\text{公式 }I$$

4. 海圖之縮尺　繪製海圖，皆先將地面以某程度縮小，再依各種方法將地面繪於平面上，名此縮小之比值，曰海圖縮尺，或曰實形縮尺（Natural scale）．此值卽圖上所代表之地面一部之直線之長，與其實物之長之比值也，通常皆以一浬相當之公分數被緯度一浬之實際公分數除，而變爲以1作分子之母數表之．

【例題】於北緯35°處，以4.57公尺代一浬，試求其實形縮尺爲若干．

該處緯度一浬之實際公分數，由公式1得

$$1852.2-9.5\cos 70^\circ=1852.2-9.5\times0.34202=1848.95\text{ 公尺}$$

$$=188495\text{ 公分}.$$

$$\therefore \quad \text{實形縮尺}=\frac{457}{184895}=\frac{1}{40458}.$$

以上所論，乃示海圖縮尺之大要，其在各種圖中之情形，當於各種繪製原理中，再申述之．

第二節　平面圖

將地面上極小部份，如港灣、島嶼、海峽等，假定爲平面，依中

分緯度航法而製成之圖曰平面圖.因圖之面積極小,故諸子午線皆作爲平行,除在高緯度區域外,皆無多大之違差,實無害於實用也.

5.平面圖之尺度　因平面圖所繪製之區域甚小,故緯度一分之長,多定與赤道一分之長相等,卽定爲 1853.2 公尺.各子午線作爲平行,卽認爲其子午線距在何緯度處皆相等.但此子午線距,若用低緯度處者,失之較大,用高緯度處者,又感較小,故當用平均中分緯度處之子午線距始可.由是得:

經度一分相當之子午線距尺度

$$=\text{緯度一分之尺度}\times \cos M.\ mid\ lat \cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式 } II$$

於平面圖中各部之實形縮尺數,顯爲同一,用時至爲簡單.

【例題】由北緯35°10′至35°20′之平面圖,用 5 公分代緯度一分之長,試求其經度一分(卽子午線距)之公分數,及實形縮尺爲若干?

$M.midlat = 35°15'$　　　$\log\cos\ 9.912031-10$

緯度一分之長 $=5$ 公分　$\log$　$+)\ .698970$

$\therefore$ 經度一分之長 $=\underline{\underline{4.083}}$ 公分 $\log$　0.611001

$$\text{實形縮尺}=\frac{5}{185320}=\frac{1}{37064}.$$

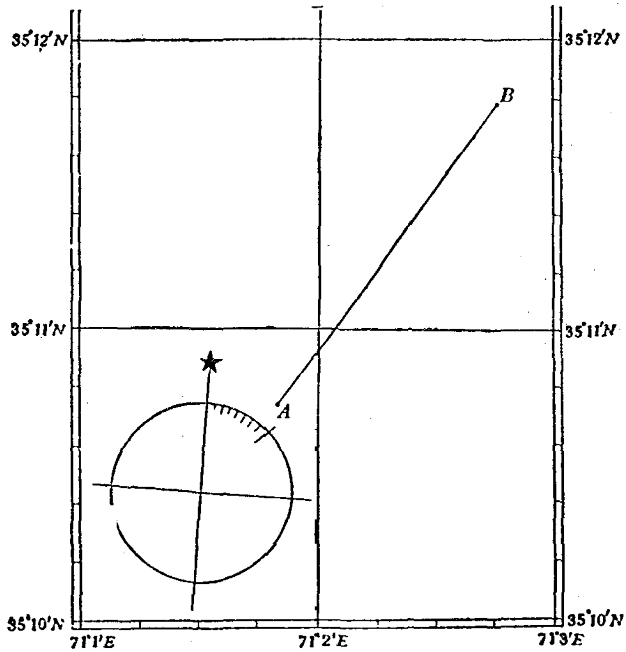
6.平面圖上二點方位及距離之決定　第四十六圖乃示前項所舉之例之平面圖之一部,如欲在該圖上決定 A,B 兩點之實際距離,及 B 點對於 A 點之方位:則先度量 AB 線之長,設得6.3公分,則其實際之距離必可由下式計得,卽

$$1:6.3=37064:x$$

$$\therefore\quad x=37064\times 6.3=233503.2 \text{ 公分}$$

$$=2335.03 \text{ 公尺}$$

$$=1.26 \text{ 浬},$$



第四十六圖

即 A,B 兩點之實際距離等於 1.26 浬也.

B 對於 A 之眞方位,可直接度量 AB 與子午線之交角以定之,設其交角爲35°,則其眞方位必爲 $N35°E$.

若求 B 對於 A 之磁針方位,可用平行規由 AB 起平行移動,使圖上方位圈之中心恰在其邊線上,則其磁針方位,當可立卽求得矣.

第三節　漸長圖

於第九章已詳述漸長圖構成之原理,卽將各子午線距,作成與赤道上所載之弧相等,令各子午線相平行,而依同一比例,

伸長緯度之弧長,同角航線,在該圖上不關其航程之遠近,皆可以直線表之,使用上甚稱便利.然該圖對於高緯度處,頗不適宜:通常皆以六,七十度爲限.

7.漸長圖之作法及尺度 繪製漸長圖時,若爲北緯之圖,在用紙之下端,若爲南緯之圖,在用紙之上端,若爲横跨赤道南北之圖,在用紙中部適宜之處,引一基本横線,用赤道上一度弧之縮尺長等分之,於此等分點處引此横線之垂線,即所以代表圖截區域每隔一度之諸子午線.次求每一度之漸長緯度之差之相當縮尺,依此等縮尺,在圖中兩側子午線上量得各點,引諸横線,以代諸等距圈,於是所要之漸長圖成矣.更將經緯度一度之長六等分之,更十等分之,則一分劃即代一分.

求每一度之漸長緯度之差之相當縮尺法,甚爲簡單,若經度一度以 a 分代之,一度漸長緯度之差,以 x 公分代之,則

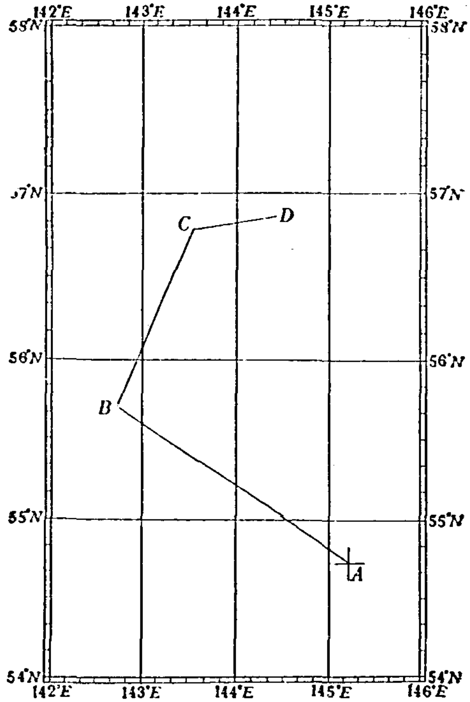
$$60': Mer.D.lat = a':x$$

$$\therefore \qquad x = \frac{Mer.D.lat \times a}{60} \text{公分} \cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式}\ III$$

欲求精確更可每差三十分,或十五分,以定各緯度之縮尺.

【例題】 試作由東經 142°,至 146°,由北緯54°,至58°之漸長圖,經度一度以 2.54 公分代之.

因該區域經度相差 4 度,每度以 2.54 公分代之,故在用紙下作一基本横線,長 10.16 公分,如第四十七圖所示(該圖因限於地位,非實際之尺度),作爲北緯 54°之等距圈;四等分之,由左端起,依次爲東經 142° 143°, 144°, 145°, 146°,過各點作諸垂直線即爲所要之各子午線.



第四十七圖

次依航海表中之漸長緯度表及公式 *III*, 求每隔 1 度之諸等距圈距離之縮尺數,如下表所示者:

計算表

緯度	漸長緯度	漸長變緯	漸長變緯一度之尺度
58°	4294.30		
		111.68	$\frac{111.68\times2.54}{60}=4.73$ 公分
57°	4182.62		
		108.72	$\frac{108.72\times2.54}{60}=4.60$ 公分
56°	4073.90		
		105.93	$\frac{105.93\times2.54}{60}=4.48$ 公分
55°	3967.97		
		103.33	$\frac{103.33\times2.54}{60}=4.37$ 公分
54°	3864.64		

由北緯54°之等距圈起,在左端子午線上相距 4.37 公分處得一點,過此等點引一平行於54°之等距圈之一直線,卽爲所要之北緯55°之等距圈也.再由此等距圈起,相距 4.48 公分量一點,引北緯56°之等距圈,依次如此,則該區之漸長圖成矣.

8.對地球實體言漸長變緯之尺度　漸長圖構成之基礎,賴乎漸長緯度,但漸長緯度分爲二種,卽以地球作球論之一種以,實體論之一種,已於第九章內論及.因之漸長圖亦有二種,前項所述者,乃將地球作球而立論者,然常有若干漸長圖,本地球之實體而編成者,日本水路部所編製者多屬斯類,則其尺度與前項所述者,當有多少之差異.

茲以 8.8872 公分代經度一度之長以比較由緯度32°至32°30′之尺度之差異.

以地球實體言者

緯度	漸長緯度	漸長變緯	由32°至32°30′漸長變緯之尺度
32°0′	2016.045	35.301	$\frac{35.301\times4.4436}{30}=5.22878$公分
32°30′	2061.346		

以地球作球言者

緯度	漸長緯度	漸長變緯	由32°至32°30′漸長變緯之尺度
32°0′	2028.38	35.48	$\frac{35.48\times4.4436}{30}=5.25529$ 公分
32°30′	2062.86		

卽就30′言相差 0.0265 公分實際相差$\frac{0.0265\times30}{5.2434}=0.15$浬,若就100′言當可差0.5浬也.

9.漸長圖之使用法　漸長圖在航海上之用途最廣,關於航行之針路,或船位之推測,皆可在圖上依作圖法得之.針路之決定,與在平面圖上完全相同,而距離或航程之度量,則較諸平

而圖稍爲複雜.

此複雜之所由生,蓋以漸長圖之實形縮尺,依緯度之高低而生差異也.在同一圖上,如赤道處之實形縮尺爲 $\frac{1}{100000}$,則在緯度60′處之實形縮尺必爲 $\frac{1}{50000}$.由是度量同一直線上之尺度,而求其實際之距離時,必當依緯度之高低而分段計之始可;作航程於圖上時,亦當如此,玆舉例說明之於下:

【例題一】 某船由北緯 54°44′, 東經 145°13′ 之地,以 $N56°W$ 之眞針路航行 105 浬後,改變 $N22°30'E$ 之眞針路,試以§7例之圖求其航行69浬後,船所在之位置.

先在第三圖,取得緯度54°44′及經度 145°13′ 之二點,過此二點,各作二平行線,平行於等距圈及子午線,則其交點 A,當爲起程地在圖上之位置.過此點作一方向爲 $N56°W$ 之一直線 AB,量其在緯度54°與55°之間之部份,與該圖右端子午線之部分比較,得爲 $\frac{30}{60}$,則該部之長,當可代30浬,較之 105 浬,尙少75浬,再由緯度55°處起量緯度55°及56°間子午線長之 $\frac{75}{60}$,以代75浬,得 B 點.過 B 點再作方向爲 $N22°30'E$ 之一直線,依前法亦分段量得 C 點,使 BC 恰能代69浬,則 C 點之緯度55°48′N, 經度143°33′E,卽爲船所在之位置也.

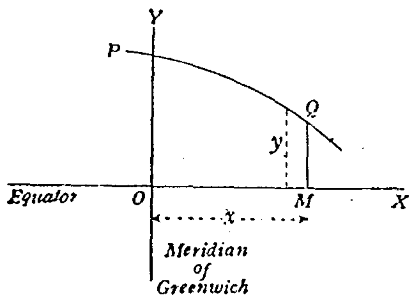
【例題二】 於前題,設依天測船所在之位置爲北緯 56°51′, 東經 144°14′, 試求該處海流流去之方向,及該航行時間內之流程.

依法將天測之位置 D 求出,連接 CD 線,則 CD 之方向 $N84°50'E$,卽爲海流流去之方向, CD 之長,爲該部子午線之 $\frac{23}{60}$,則流程當爲23浬也.

第四節 漸長圖上大圈之記入法

在漸長圖上,地球大圈,可以直線表示者,惟子午線與赤道耳,其他大圈則非用曲線表示之不可.表示之法有二:一,據坐標以作之者,一,據曲線半徑以作之者.惟後者屬於漸近的,且僅能作大圈上一小部份於圖內,以下分項論之:

10.在漸長圖上大圈之方程式 第四十八圖示一漸長圖.茲以赤道 OX 作橫軸,本初子午線OY作縱軸,則其上任意曲線 PQ 上任一點 Q 之坐標,當爲 OM 及 MQ,茲用 x 及 y 代之,(x 及 y 皆以弧度爲單位).若 Q 點在地球上,其緯度爲 l,則 y 必爲 l 之漸長緯度,由前編公式 $XVIII$ 得(1 弧度 $=3438'$):



第四十八圖

$$y=\log_e \tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{l}{2}\right)$$

$$e^y=\tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{l}{2}\right)=\frac{1+\tan\frac{l}{2}}{1-\tan\frac{l}{2}}$$

因
$$\frac{1+\tan\frac{l}{2}}{1-\tan\frac{l}{2}}=\frac{\cos\frac{l}{2}+\sin\frac{l}{2}}{\cos\frac{l}{2}-\sin\frac{l}{2}}=\frac{1+2\sin\frac{l}{2}\cos\frac{l}{2}}{\cos^2\frac{l}{2}-\sin^2\frac{l}{2}}$$

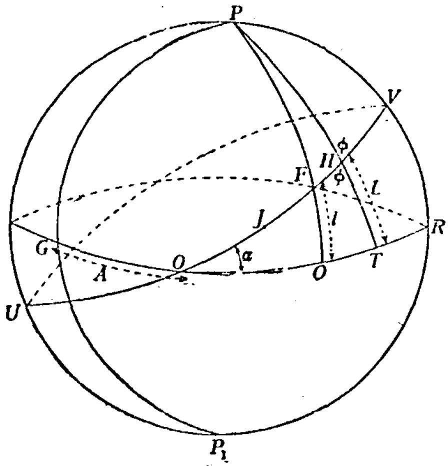
$$=\frac{1+\sin l}{\cos l}=\sec l+\tan l;$$

故
$$\sec l+\tan l=l^{y}.$$

同樣
$$\sec l-\tan l=l^{-y}$$

由是得　　$\tan l=\frac{1}{2}(l^{y}-l^{-y})$ ……………………………(1)

次於第四十九圖 UOV 示大圈,PGP_1 示本初子午線,F 爲 UOV 上任意一點,F 之經度爲 GQ(東經),以 x(弧度)表之,O 爲該大圈與赤道 RG 之交點,O 之經度以 A(弧度)表之,F 之緯度設爲 l,角 FOQ 以 α 表之,於球面直角三角形 FOQ 中



第四十九圖

$$\tan l=\sin OQ\tan\alpha$$

或　　$\tan l=\sin(x-A)\tan\alpha$ ……………………………(2)

凡該大圈上所有之點,皆滿足此式之關係,今以 y(弧度)代漸長圖上 F 點之漸長緯度,由(1)及(2)得

$l^{y}-l^{-y}=2\tan\alpha\ \sin(x-A)$ ……………………………公式 1V

該式卽漸長圖上大圈之方程式也.在一定之大圈上 A 及 α 之值,皆可求得,於是用解析幾何之作圖法,則該大圈得記入於漸長圖上矣.

11.據坐標法大圈上二點既知時之記入法　於第四十九圖,設 H、J 爲大圈 UOV 上二已知點,其經度各以 X 及 X_1 代之,

其緯度各以 L 及 L_1 代之,則

$$\left.\begin{aligned} \tan L &= \sin(X-A)\tan\alpha \\ \tan L_1 &= \sin(X_1-A)\tan\alpha \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{公式 } V$$

因 L、L_1、X、X_1 皆爲旣知量,故由此得二聯立方程,自可解得 A 及 α 之值.解之之法,可按下式變化之,卽先以兩式相除,得

$$\frac{\tan L}{\tan L_1}=\frac{\sin(X-A)}{\sin(X_1-A)}$$

由比例定理 $$\frac{\tan L-\tan L_1}{\tan L+\tan L_1}=\frac{\sin(X-A)-\sin(X_1-A)}{\sin(X-A)+\sin(X_1-A)}$$

$$\therefore\quad \tan\left(\frac{X+X_1}{2}-A\right)=\tan\frac{X+X_1}{2}\cdot\frac{\sin(L+L_1)}{\sin(L-L_1)}\cdots\text{公式 } V \text{ 副}$$

由此式可求得 A 之值,代入公式 V 任一式中,則 α 之值亦得,故該大圈可以記入於漸長圖中矣.

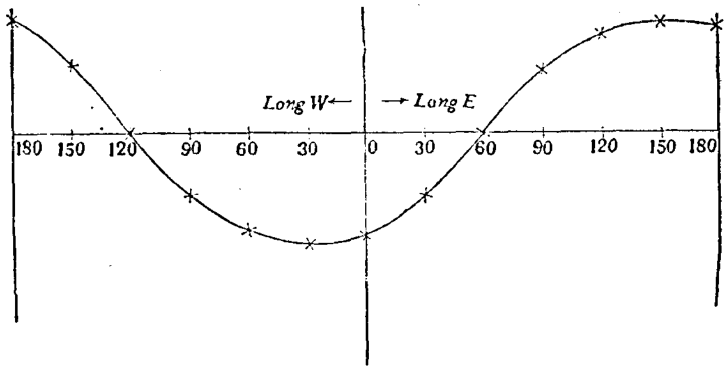
【例題】 設過某二定點之大圈,由公式 V 得 $A=60°$,$\alpha=50°$,試將該大圈記入於漸長圖(設該圖 1 吋代經度 60°卽代經度 3600′).

由 (2) 式 $\tan l=\mathrm{Sin}(x-A)\tan\alpha$,與 x 以種種之值(卽各點之相當經度),以求各點緯度 l 之值,再由航海表以求各緯度之相當漸長緯度,此卽各相當 y 之值也,以 3600′ 除,得其相當之吋數,如下表所示者:

座　標　表

x	−30°, 150°	0°, −60°, 120°, ±180°	−90°, 30°, −150°, 90°	60°, −120°
$x-A$	∓90°	−60°, −120°, 60°, 120° −230	−150° −30°, −210, 30°	0°, −180°
$\mathrm{Sin}(x-A)$	∓1	∓0.8660	∓0.5000	0
$\tan\alpha$	1.1918	1.1918	1.1918	0
$\tan l$	∓1.1918	∓1.0321	∓0.0957	0
l	∓50°	∓45°54′	∓30°48′	0
M.P. for l	∓3474.5	∓3106.9	∓1947.0	0
y in inch	∓0.965	∓0.863	∓0.540	0

定此諸點於圖上,連成一曲線,即為該大圈在漸長圖上之表示也.如第五十圖所示:



第五十圖

船如航行於該大圈上,則該大圈於每隔五度之子午之交點,即為變易針路之各點.連相隣二點為直線,即可求得其針路.各針路航程之總和,即為當行之航程也.

12.據坐標法當大圈上一點及其與過此點子午線之交角旣知時之記入法 於第四十九圖,H 為大圈 UOV 上一已知點,PHV 角亦為已知,以 ϕ 代之,於球面直角三角形 HOT 中.

$\cos\alpha=\sin\phi\cos L$ ……………………………… 公式VI

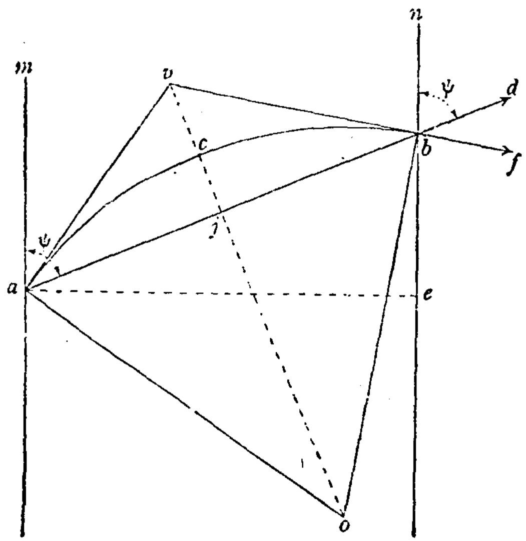
因 ϕ 及 L 為已知之量,則由此式自能求得 α 之值,再由公式 V 又可求得 A 之值,與上款同樣,則該大圈當能記入圖中.

【例題】 過北緯40°,東經 100° 之 H 點之大圈,與 H 子午線之交角為58°,試求其 α 與 A 之值.

$\cos\alpha=\sin 58°\cos 40°$		$\sin(X-A)=\tan 40°\cot 49°29'$		X	100° 0′
$\log\sin 58°$	9.9284−10	$\log\tan 40°$	9.9238−10	$X-A-)$	45°49′

$logcos40°+)$	$\underline{9.8843-10}$	$logcot49°29'+)$	$\underline{9.9318-10}$	A	$\underline{\underline{54°11'}}$
$logcos\alpha$	$9.8127-10$	$logsin(X-A)$	$9.8556-10$		
$\therefore$	$\alpha=49°29'$	$\therefore$	$X-A=45°49'$		

13.依曲線半徑大圈之記入法　第五十一圖,a 及 b 爲地球上 A 及 B 兩地在漸長圖上之位置,am 及 bn 爲 a 及 b 之子



第五十一圖

午線,過 A 及 B 兩地之大圈,在圖上以 acb 弧線表之,若 A,B 兩地之距離不大,即在五百浬以下時,可將 acb 看作一部份之圓弧.今設 o 爲 acb 圓弧之中心,a 及 b 之切線交於 v,oj 垂直於 ab弦,用 R 表半徑 ao, $\angle vab$ 及 $\angle nbd$ 以 $\frac{\theta}{2}$ 及 ψ 表之,從幾何理知

$$\angle aoj=\angle vab=\frac{\theta}{2},$$

$$\therefore\qquad aj=Rsin\frac{\theta}{2},$$

$$故\qquad ab=2Rsin\frac{\theta}{2}.$$

今將 θ 以分數表之,在普通情形下,θ 常為微小之值,故

$$\sin\frac{\theta}{2}\longrightarrow\frac{\theta}{2}\times\frac{1}{3438}\left(1'=\frac{1}{3438}\text{弧度}\right)$$

即 $$ab=\frac{R\theta}{3438}$$

又設 $\lambda=D.long, L=mid\,lat.$ 今由 a 測 b 之方位為 $\angle mav$,由 b 測 a 之方位為 $\angle ebv$,則

$$\angle ebv-\angle mav=\frac{\theta}{2}+\angle eba-\angle mab+\frac{\theta}{2}=\frac{\theta}{2}+\frac{\theta}{2}=\theta.$$

由後章§1公式 XVI 知 θ 為 A,B 兩地子午線聚合差,(見下章).

$$\theta=\lambda\ \sin L\cdots\cdots(1)$$

故得 $$ab=\frac{R\lambda\sin L}{3438}$$

設 ae 垂直於 bn 則 $ab=ae\sec\angle bae=\lambda'\csc\phi$

由此二式得 $R=3438\csc L\csc\phi$ ……………… 公式 VII

故由公式 VII,自可求出 R 之值 (ϕ 為 a、b 兩地之針路,可用漸長緯度航法求之),由是圓弧之中心 o 定矣,acb 弧當可以作出.然在實用上,恆依次法以求簡便:

於上圖將 oj 延長,設交所求之圓弧於 c,則

$$\overline{aj}^2=cj(2R-cj).$$

因 cj 恆為微小之值,故二次項可以省略,即得

$$cj=\frac{\overline{aj}^2}{2R}=\frac{R}{2}\sin^2\frac{\theta}{2}$$

$$\therefore\qquad cj=\frac{R}{8}\left(\frac{\theta}{3438}\right)^2$$

將公式 VII R 之值代入得 $cj=\dfrac{\theta^2\csc L\csc\phi}{27504}$ ………… 公式 $VIII$

此式中 θ 之值,可由(1)式求之,故 cj 可以求得,在 ab 之垂直平分線上,量取 cj 以定 c 點,過 a、b 及 c 三點作一圓弧,則過 A,B 兩地之大圈記入於圖上矣.

【例題】 $a: lat\ 32°N, long\ 40°E$; $b: lat\ 36°N, long\ 48°E$, 求 cj.

$$\tan\phi = \frac{D.long}{M.D.lat.} = \frac{480}{2318.0-2028.4} = \frac{480}{289.6}, \quad \therefore \quad \phi = 58°.9,$$

$$\theta = 8° \times \sin 34°, \qquad \therefore \quad \theta = 268'.4$$

$$\therefore \quad cj = \frac{\theta^2 \csc L \csc\phi}{27504} = \frac{(268'.4)^2 \csc 34° \csc 59°}{27504}$$

$$= 5'.45$$

第五節　投影圖

大圈圖之構成有數種方法,其中最簡易且所作之圖最適於實用者,首推投影法.該法即以地球中心為投影頂點(Vertex of projection),將地球面上經緯度,投於與地球相切於某點之平面上繪製而成者.因地球之中心,在大圈之平面上,故凡地球之大圈,皆可投為直線,即諸子午線與赤道,皆得以直線表示之,致其他各部之關係,以下分項論之:

14.對切於任意點之切面,投影法所用之公式　第五十二圖:O為地心,平面 ZY 切地球面於 C 點.今將地球面投於該平面上,子午線 PCQ 在該平面上,必投為直線 pCq,名之曰中心子午線(Principal meridian).今設 C 點之緯度為Lc,則其各部之關係,由下列各式皆可求得:

(1)求 ab:

設中心子午線上二點 A 及 B 之緯度各為 L_A 及 L_B,a 及 b 為其在切面上之投影點,赤道 QE 之投影直線為qc,則

$$ab = aC + Cb = OC\tan aOC + OC\tan COb,$$

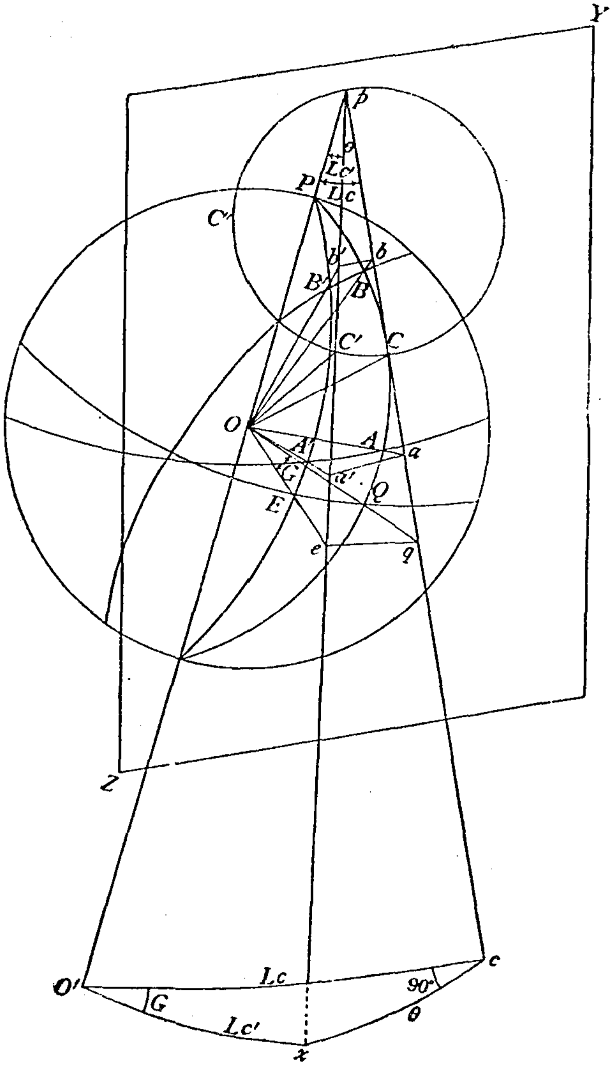
但

$$aOC = qOC - qOA = L_O - L_A,$$

$$COb = qOB - qOC = L_B - L_O.$$

OC 為地球半徑以 R 表之,則

$$ab = R\tan(L_O - L_A) + R\tan(L_B - L_C) \cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式} IX$$



第五十二圖

(2) 求 aa' 及 bb':

$A'B'$ 爲地球面上與中心子午線經度相差 G 之他一子午線,其投影爲直線 $a'b'$,則與 ab 之交點爲 p,過 A,B 作二大圈與中心子午線相垂直,各過 $A'B'$ 於 A' 及 B' 二點,大圈弧 AA' 及 BB' 之投影爲直線 aa' 及 bb'.

又以 p 爲中心,以任意之長爲半徑作一球,與 pa, pa' 及 pO 之延線交於 x、c 及 o'.因含 pO 及 pa 之平面,與平面 ZY 相直交,則球面三角形 xco' 之 c' 角爲直角,又 $o'c=L_O$ $\angle co'x=\angle qo'c=G$,兹以 θ 代 cx,由納氏旋轉法得:

$$\sin L_O=\tan\theta\tan(90^\circ-G)=\tan\theta\cot G.$$

$$\therefore\quad \tan\theta=\sin L_O\tan G.$$

在平面三角形 paa' 中 $\angle paa'$ 爲直角,故

$$aa'=ap\tan\theta=(aC+Cp)\tan\theta,$$

然 $aC+Cp=Co\tan aOC+Co\tan COp=R\tan(L_O-L_A)+R\cot L_O$

$$\therefore\quad aa'=R[\tan(L_O-L_A)+\cot L_O]\sin L_O\tan G.$$

$$=R\left[\frac{\sin(L_O-L_A)}{\cos(L_O-L_A)}+\frac{\cos L_O}{\sin L_O}\right]\sin L_O\tan G$$

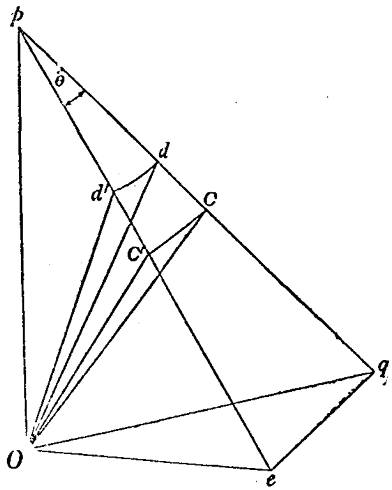
$$=R\left[\frac{\sin(L_O-L_A)\sin L_O+\cos(L_O-L_A)\cos L_O}{\cos(L_O-L_A)\sin L_O}\right]\sin L_O\tan G$$

$$=R\left[\frac{\cos L_A(\sin^2 L_O+\cos^2 L_O)}{\cos(L_O-L_A)}\right]\tan G$$

$$\left.\begin{array}{ll}\therefore & aa'=R\cos L_A\sec(L_O-L_A)\tan G\\ \text{同樣} & bb'=R\cos L_B\sec(L_B-L_O)\tan G\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\text{公式 } X$$

(3) 求 Cd 及 Cd'

於前圖以 pC 爲直徑作圓,設與各子午線之投影直線相交於 C'、C'' 等,則切面上由 C 向各子午線之投影直線作垂線,其垂



第五十三圖

足必爲C,$'C''$等.今爲方便起見,再作一分圖,如第五十三圖所示:d爲緯度爲L_D之D點之投影點,過D點之等距圈之投影曲線,與投影子午線之交點爲d'、d''等.

當A點與C點相合時,則$L_0=L_A$,故由公式IX得

$Cd=R\tan(L_D-L_0)$…………………………公式XI

又三角形OCC'、$CC'p$及pCO皆爲直角者,

$$OC'^2=OC^2+CC'^2=(Op^2-pC^2)+(pC^2-pC'^2)=Op^2-pC'^2,$$

故$OC'p$亦爲直角,由是$\angle OpC'=\angle C'Oe$,即等於地球上相當於C'點之緯度L_0',於三角形$OC'd'$中

$$C'd'=OC'\tan C'Od'=OC'\tan(L_D'-L_0').$$

又於三角OpC'中

$$OC'=Op\sin OpC'=Op\sin L'_0.$$

又於三角形OpC中

$$Op=OC\csc OpC=R\csc L_0,$$

$$\therefore\quad OC'=R\csc L_0\sin L'_0,$$

$$\therefore\quad C'd'=R\csc L_0\sin L_0'\tan(L_D'-L_0')\text{…………………公式}XII$$

然於公式XII中,L_0'尙爲不知,不得不依下法求之:

於第五十二圖,$O'x=O'px=OpC'=L_0'$,故

$$\sin(90^\circ-G)=\tan(90^\circ-L_0')\tan L_0$$

卽 $$\cos G=\tan L_o \cot L_o'$$

$$\therefore \quad \tan L_o'=\tan L_o \sec G \quad \cdots\cdots \text{公式 } XIII$$

在求算 $C'd'$ 中,若 L_D 比 L_o' 大,則 d' 點在近極之方,反之則在近赤道之方.

由以上各公式,凡地球上之各部,皆可作於平面內,此種圖,卽名曰投影圖.但在實用上常取特殊之切面,以期作法簡單而切於實用.

15.切點在赤道上投影法所用之公式 在此種情形下,因 C 在赤道上,故 $L_o=0°$,則前項之公式 IX 變爲

$$ab=R\tan L_B-R\tan L_A \quad \cdots\cdots \text{公式 } IX \text{ 副}$$

又公式 XI 變爲
$$\left.\begin{array}{l} aa'=R\tan G \\ bb'=R\tan G \end{array}\right\} \cdots\cdots \text{公式 } X \text{ 副}$$

公式 XI 變爲
$$Cd=R\tan L_D \quad \cdots\cdots \text{公式 } XI \text{ 副}$$

又由公式 $XIII$
$$\frac{1}{\csc G}=\frac{\tan L_o}{\tan L_o'}=\frac{\sin L_o \cos L_o'}{\cos L_o \sin L_o'}$$

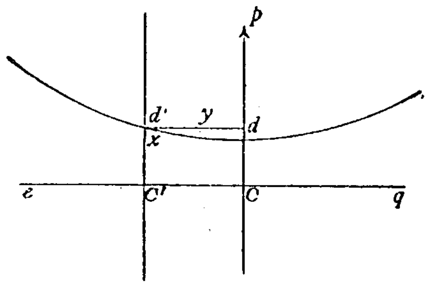
由公式 XII
$$C'd'=R\frac{1}{\sin L_o}\sin L_o'\frac{\sin L_o \cos L_o'}{\cos L_o \sin L_o'}$$
$$\times \sec G \tan(L'_D-L_o')$$
$$=R\frac{\cos L_o'}{\cos L_o}\sec G \tan(L'_D-L_o')$$

但當 $L_o=0°$,則 $L_o'=0°$, $\cos L_o'=\cos L_o=1$ 故上式變爲

$$C'd'=R\sec G \tan L_D' \quad \cdots\cdots \text{公式 } XII \text{ 副}$$

由公式 X 副得 $aa'=bb'$,故易知諸子午線皆投爲相平行之直線.

茲以中心子午線及赤道之投影直線 cp 及 eq 各爲橫軸及縱軸,如第五十四圖所示者.將緯度爲 L_D' 之等距圈上任一點 D' 之投影點 d' 之座標以 (x,y) 表之,則



第五十四圖

$$x=C'd', \qquad y=C'C=aa',$$

$$\therefore \qquad x=R\sec G\tan L_D', \quad y=R\tan G,$$

此處之 G 爲變動常數,由之消去 G,便得 d' 之方程式,由前式得

$$x=R\tan L_D'\sqrt{1+\tan^2 G},$$

由後式得
$$\tan G=\frac{y}{R},$$

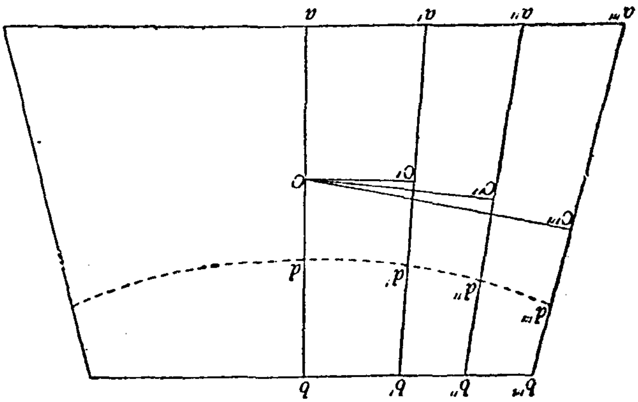
故
$$x=R\tan L_D'\sqrt{1+\frac{y^2}{R^2}},$$

卽
$$x^2-y^2R^2\tan^2 L_D'=R^2\tan^2 L_D',$$

卽
$$\frac{x^2}{R^2\tan^2 L_D'}-y^2=1,$$

由是知 d' 點之軌跡爲一雙曲線,卽各等距圈,皆投爲雙曲線,該種投影圖對赤道 eq 對稱甚明.

16.切點在任意點時投影圖之作法 由公式 IX 至公式 XII 皆含有地球半徑 R,故製投影圖者,必先選擇 R 之尺度,以爲基準.然 R 之尺度之選擇,恆依用紙之高低以定之,如第五十五圖,設用紙之高爲 h 公分,ab 作爲中心子午線之投影,則 $ab=h$,故



第五十五圖

$$R=\frac{h}{tan(L_C-L_A)+tan(L_B-L_C)},$$

由是可以決定 R 之尺度.再由公式 XI 以求算 Ca 或 Cb, 卽

$$Ca=R\,tan(L_C-L_A),\qquad Cb=R\,tan\,(L_B-L_C)$$

以定 C 之位置.

次依公式 X 以求 aa' 及 bb' 之公分數,以定 a' 及 b' 二點,連 $a'b'$, 卽得一子午線.同様求 aa''、aa'''、………及 bb''、bb'''、……,以作子午線 $a''b''$、$a'''b'''$、………等.

再依公式 XI, XII, $XIII$ 以求 Cd、Cd'、Cd''………等,由 C 向各子午線 $a'b'$、$a''b''$、……等作垂線,相交於 C'、C''、………等,由 C'、C''、………等點,依次在其所截之子午線上以 $C'd'$、$C''d''$……長之公分數量得 d'、d''、……等點,連 d、d'、d'' 作一曲線,卽爲緯度 L_D 之等距圈之投影.依次如此,所欲作之等距圈,皆可繪出,則所要之投影成矣.該圖對於 ab 爲對稱甚明.

【例題】 以南緯四十五度,西經百二十度爲切點,試以二十公分三二爲 R 之尺度,作由南緯三十度至南緯六十度之投影

大圈圖(緯度每隔五度,經度每隔十度).

$$ab=20.32\,tan(45^\circ-30^\circ)+20.32\,tan(60^\circ-45^\circ)=10.89 \text{ 公分.}$$

因 $L_O-L_A=L_B-L_O$, 故 C 爲 ab 之中點.

作 ab 於紙之中央;如第五十六圖所示,a 點處標以 $120^\circ W$. 過 a 及 b 作 ab 之垂線 aa'''' 及 bb''''.

$$aa'=20.32\,cos\,30^\circ sec\,15^\circ tan\,G \qquad bb'=20.32\,cos\,60^\circ sec15^\circ tan\,G$$

與 G 以 10°、20°、……等之值,以求 aa',aa''、……及 bb',bb''、……等

$G\ 10^\circ$	aa'	3.21 公分	bb'	1.85 公分
$G\ 20^\circ$	aa''	6.63 公分	bb'	3.83 公分
$G\ 30^\circ$	aa'''	10.52 公分	bb'''	6.07 公分
$G\ 40^\circ$	aa''''	15.29 公分	bb''''	8.83 公分

於是定 a'、a''、a'''、a''''、及 b'、b''、b'''、b''''、於 aa'''' 及 bb'''' 之左側上,則 $a'b'$,$a''b''$,$a'''b'''$,$a''''b''''$, 各爲 $130^\circ W$、$140^\circ W$、$150^\circ W$、$160^\circ W$, 之子午線.因該圖對 ab 爲對稱,故同樣在 aa''',bb''' 之右側尙可決定 a',a'',a''',a''' 及 b',b'',b''',b'''' 諸點,則此右側之 $a'b'$,$a''b''$,$a'''b'''$,$a''''b''''$, 必各爲 $110^\circ W$、$100^\circ W$,$90^\circ W$,$80\ W$ 之子午線.

由 C 作各垂直線,得 C',C'',C''' 等,此各點之相當緯度,必爲

$$tan\,L_O'=tan\,45^\circ sec\,G$$

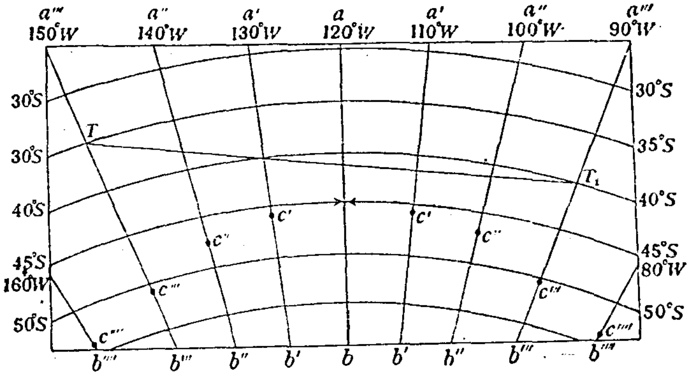
即	C'	C''	C'''	C''''
	45°26′	46°47′	49°06′	52°32′

次依 $Cd=Rtan(L_D-45)$, $C'd'=20{\cdot}32\,csc\,45^\circ\,sec\,L_O tan(L_D-L_O')$ 以求 Cd,$C'd'$ 等即

	Cd	$C'd'$	$C''d''$	$C'''d'''$	$C''''d''''$
$L_D\ 30^\circ$	5.45 公分	5.65 公分	6.32 公分	7.52 公分	——
$L_D\ 35^\circ$	3.58	3.77	4.37	5.45	——
$L_D\ 40^\circ$	1.79	1.95	2.49	3.48	——

L_D 45°	0	0.15	0.62	1.56	3.01
L_D 50°	1.79	1.59	1.18	0.34	1.01
L_D 55°	3.58	3.45	3.03	2.25	——

以上之各值,定d,d',d''等,過各組之點作各曲線,則所要之等距圈得矣.



第五十六圖

若切點在赤道上,其作法益形簡單,茲不贅.

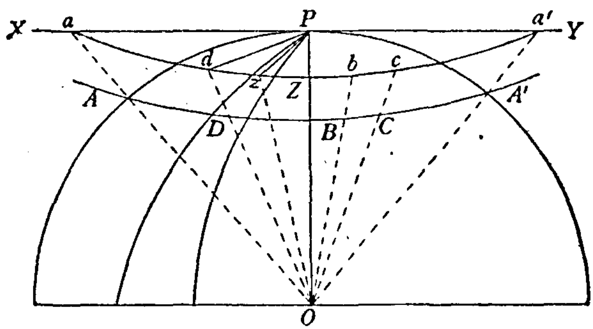
17.任意投影圖之使用法　投影圖多用於大圈航法中,因凡大圈皆投爲直線,故船之航跡線在投影圖上,必可以直線表示之.如第五十六圖中,T爲起程地,T_1爲到達地,則 TT 必表示過T及T_1之大圈航線也.

該直線與經度每五度(或任意他度數)之交點之緯度,當可由圖上求得,據此諸點之經緯度轉記於漸長圖中,以求每相隣二點之針路及航程,以供航行時變易針路之用,較用漸長圖將大圈記入而後求之者,簡單多矣.

18.以極爲切點投影圖之作法　投影圖有時以極爲切點,以求簡單而便實用,此種大圈圖又特名之曰極圖,乃表示高緯

度部份唯一良好之海圖也.在高緯度海區航行時,雖用漸長緯度航法,亦不能求得正確之結果,前編亦論述及之,故此時非用大圈航法不可.既用大圈航法,則非有大圈圖不能決定其航路有無阻礙,而前數項所論之大圈圖,對於高緯度海區,尚不能精確表示,勢非用極圖不可.

如第五十七圖 P 爲地極,O 爲地心,平面 XYZ 切地球於 P,地球上各大圈皆投爲直線,惟赤道面與 XYZ 平面平行,其投影



第五十七圖

必爲 XYZ 平面上之無窮遠線 (Line at infinity),卽無一點能在平面有限部份內也.某二子午線 PD 及 PZ 必投爲平面內二直線 Pd 及 Pz,而 $\angle dPz=\angle DPZ$,卽諸子午線在平面之投影必爲會於一點 P 之諸直線,且其每二直線之夾角,與其相當之二子午線之夾角相等.

地球上緯度爲 L_A 之等距圈 $ABCA'$,對於 O 成爲一以 OP 爲軸之圓錐體,該等距圈在平面 XYZ 之投影,必爲該平面與此圓錐體之截線,爲一以 Pa 爲半徑之圓明矣.而

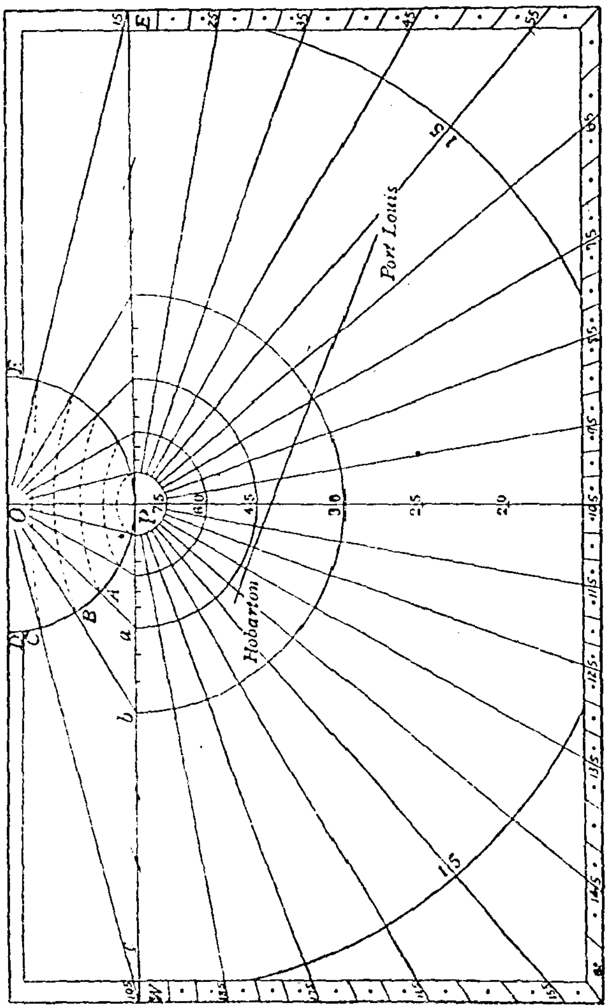
$$Pa=OP\tan POA$$

卽

$$Pa=R\cot L_A, \quad\text{……………………公式 XIV}$$

據此則極圖自可構成,但在實際作圖時,恆依下述之方法為之:

如第五十八圖,吾人先選適宜之尺度代R,以用紙某縱線



第五十八圖

之中點 O 爲中心,R 之縮尺數爲半徑作一半圓 DPE 以表地球,P 爲此半圓之中點以表地極,DE 表赤道,將 DP 及 EP 弧各等分爲同份數,以代各等距圈上之二點(圖中虛線卽表示等距圈之情形也),該圖各分爲五等份,卽緯度每隔十五度而等分者,如 C、B、A 諸點,過 P 點作該半圓之切線 EW,由 O 連 OA、OB、OC 等與 EW 相交於 a,b,c 等,再以 P 爲中心,Pa、Pb、Pc 等爲半徑作諸半圓,則得各相當緯度之等距圈.

次由 P 作諸直線,將直線角 EPW 等分爲若干等分,卽爲諸相當之子午線,該圖爲每二子午線相距十度而作者.

由是該極圖之半得繪製於紙上,再將各部引長,完成其全部可矣.

19.極圖之使用法 由前項所論,易知極圖之子午線之作成,可由意想中,將諸子午線由他極處分拆在與切面垂直之平面中,將其伸爲直線而放置於該切面上而得,其他與子午相交之大圈,可認爲隨此等子午線而伸成直線,置於切面上者,由是則任何大圈與子午線之交角,不因投影而變明矣.故在大圈航法中,在圖上連兩地之直線,與子午線之交角,必爲其相當之針路,實較其他大圈圖簡單多矣.

欲求大圈之頂點,則由極點向此直線作垂線,其垂足卽爲頂點之位置,蓋因其爲與極點最近距離之點也.

關於航程,因緯度各部之縮尺不同,較難度量,但吾人若僅求其約值,則用兩地之平均中分緯度之縮尺數求之可也.

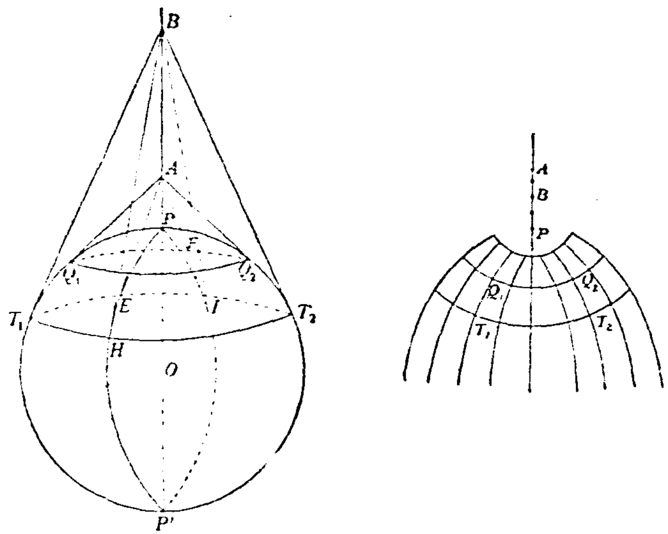
第五十八圖中之直線,卽連南緯 20°18′ 東經 57°31′之 Port Louis, 至南緯 42°54′, 東經 147°21′ 之 Habarton 之大圈也.

第六節 多圓錐圖

此種圖,乃依地球之多數圓錐切面而繪製者,實地球之確實寫眞也.惟於航海上應用不便,學者知其構製之概念足矣.

20.多圓錐圖構製之解說　如第五十九圖 (*A*),P,P' 爲兩極,在所繪製之區域,沿諸等距圈 Q_1Q_2、T_1T_2、……等作諸圓錐切面,其頂點 A,B、………等必在地軸 PP' 上.選某子午線爲基準,(通常

(*A*)　(*B*)



第五十九圖

皆選所繪製區域之正中者),稱爲中央子午線,如 $PEHP'IF$ 所示.設此中央子午線與等距圈在前半球相交於 E,H、……等點,在後半球相交於 F,I、………等點,作 AE、BH、……AF、BI,……等,其爲各切面之基線明甚.而後將此諸圓錐切面由 AF,BI,……切開,平張於過 PP' 之某平面內,使 A,B、………等之位置不動,且使 E,H、……等點皆落於 PP' 上,則此等相重之諸平面之下端邊線,即爲多

圓錐圖之各等距圈,P為其極點.

諸等距圈既得,則過極點P作諸曲線與此諸等距圈相直交,以代各子午線(中央子午線爲一直線),則所要之圖成矣,如(B)圖所示.

第七節 對於海圖應注意之事項

21.海圖使用上之注意 海圖固爲航海者唯一之嚮導,然使用時,亦不能不注意下列數端:

海底之起伏不定,明暗灘礁,在在皆是,雖錘測如何精密,亦難保不無遺漏之處,故航海者,對於圖上之水深,須常保戒心,以免危險,此其一.

海底狀況變化無窮,若遇劇烈地震之後,滄海桑田,固無論矣.卽於平時,因潮流激沖,海岸泥沙之變化,亦甚頻繁.故航海者必當捨舊圖而用新圖,以求圖上所表示者與現時之實況相符.然雖新刊之圖,亦當考其測量之時日,若非最近所測,或其一部仍襲舊圖者,或與舊圖無所變更,僅將尺度擴大,則使用時,亦當特別注意.總之,此等條件,各圖之記事中皆有表明,使用之先,宜讀閱之,此其二.

海圖之縮尺,有大小多種,任用者選擇,然欲使起程及到達兩地,皆包括在同一圖內,則必選小縮尺之圖始可,雖不甚精密,而便使用,一般航海者皆樂用之,然必時時參考大縮尺之圖,當接近海岸或港灣時,尤爲切要,此其三.

22.海圖保管上之注意 海圖之保管,必須非常注意,主要條件,以不使圖面折皺不平爲目的,蓋圖面苟折皺不平,則於精確程度上,勢不能不生有誤差,且易損壞.一般艦船,皆當備有海圖室,室內以不過濕亦不過乾,且不易受風雨吹浸者爲適宜.且

頁特製一置放海圖之木櫥,櫥之上下分爲若干格,將海圖分區平置於有滑動裝置之平板上而藏於櫥內之相當格中,既可使圖面不致折疊不平.又便於取用,實爲保管海圖之一最良方法也.

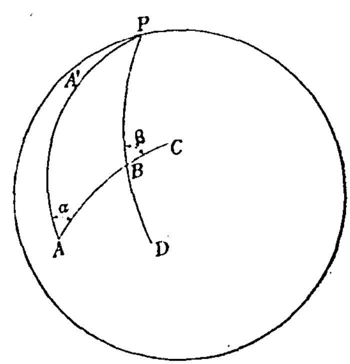
不但此也,對於圖面之清潔,亦當注意,必要時必須用鉛筆在圖上作線,亦當輕微從事,勿使顯有凹痕.倘圖面被煤煙鉛筆汚損時,可用生麵包之軟部摩擦,即可稍使清潔.

第十四章 陸測位置

航海術中,大部分問題,在於海洋中決定船舶之位置.應用前編諸航法,所推測之位置,以有風潮之種種原因,實難正確,是航海者不得不進一步求其正確之位置.於沿岸航行中,求之之法,首重陸測位置法.所謂陸測位置法者,即就陸岸之固定目標或島嶼,燈台等,以定本船所在之位置之方法也.

第一節 方位

1. 眞方位 (True bearing) 物標之眞方位云者,乃指過測者及物標之大圈,與測者子午線之交角而言,在近距離時,可以過物標及測者之直線與測者之子午線之交角代之.在後者之情形下,由物標測測者所在地之方位,必爲物標方位之反方位,即有誤差,亦甚微小,無妨實用.而在前者之情形下,測者所在地之方位,不能爲物標方位之反方位,當有若干之差異;換言之,即地球上二相距較遠點之互相方位,必有若干之差異.此差異之所由生,實以諸子午線不相平行之故.此差稱爲子午線聚合差(Comcergency of the meridians).



第六十圖

於第六十圖:P 示極點,PA 及 PB,各爲過 A 及 B 之子午線,AB 爲過 A 及 B 之大圈.今從 A 測在 PA 上一點 A' 之方位,必得零度;若由 A' 測 A 之方位,當得百八十度,故同一子午線上二點之互相方位,其一爲他一之反方位.於赤道上二點之互相方位其一

爲他一之反方位,亦甚顯明.除此之外,必有多少之差異.設 B 爲任一點,則由 A 測 B 之方位爲 $\angle PAB$, 由 B 測 A 之方位爲 $\angle DBA$, 卽 $\angle PBC$, 則 $\angle PAB$ 及 $\angle PBC$ 當不能一致,其差 $\angle PBC-\angle PAB$ (因 B 之緯度高於 A 地之緯度故 $\angle PBC>\angle PAB$) 卽爲子午線之聚合差.玆求之如次:

今以 α 及 β 代 $\angle PAB$ 及 $\angle PBC$, 並設 A 及 B 之緯度各爲 L 及 L', 由球面三角學之公式得

$$\frac{\sin(180^\circ-\beta)}{\sin\alpha}=\frac{\sin PA}{\sin PB}=\frac{\sin(90^\circ-L)}{\sin(90^\circ-L')},$$

卽
$$\frac{\sin\beta}{\sin\alpha}=\frac{\cos L}{\cos L'}.$$

今設 θ 爲子午線聚合差, l 爲 A 及 B 之變緯,卽

$$\beta=\alpha+\theta \qquad L=L'-l$$

由是
$$\frac{\sin(\alpha+\theta)}{\sin\alpha}=\frac{\cos(L'-l)}{\cos L'}$$

故得
$$\frac{\sin(\alpha+\theta)-\sin\alpha}{\sin(\alpha+\theta)+\sin\alpha}=\frac{\cos(L'-l)-\cos L'}{\cos(L'-l)+\cos L'},$$

卽
$$\frac{\sin\frac{\theta}{2}\cos\left(\alpha+\frac{\theta}{2}\right)}{\cos\frac{\theta}{2}\sin\left(\alpha+\frac{\theta}{2}\right)}=\frac{\sin\frac{l}{2}\sin\left(L'-\frac{l}{2}\right)}{\cos\frac{l}{2}\cos\left(L'-\frac{l}{2}\right)},$$

卽
$$\frac{\tan\frac{\theta}{2}}{\tan\frac{l}{2}}=\tan\left(L'-\frac{l}{2}\right)\tan\left(\alpha+\frac{\theta}{2}\right),$$

卽
$$\frac{\tan\frac{\theta}{2}}{\tan\frac{l}{2}}=\tan\left(\alpha+\frac{\theta}{2}\right)\tan\frac{L+L'}{2}$$

該式乃求子午線聚合差之正確公式也,求之之法,將 L、L'、l 及 α 之値代入,解此三角方程式可矣.

然在應用時,兩地距離實不能過遠,故 θ 及 l 之值,率甚微

小,茲以弧度法表之,則

$$\tan\frac{\theta}{2}\longrightarrow\frac{\theta}{2},\quad \tan\frac{l}{2}\longrightarrow\frac{l}{2},\quad \tan\left(\alpha+\frac{\theta}{2}\right)\longrightarrow\tan\alpha.$$

故 $$\theta=l\tan\alpha\tan\frac{L+L'}{2}\text{..........................公式}XV$$

此式乃求子午線聚合差之一漸近公式,算法至為簡單.但若在 α 近於九十度時,$\tan\left(\alpha+\frac{\theta}{2}\right)$ 之值必大,則所生之誤差,亦必甚大,此時卽不可應用,學者其留意焉.

公式 XV 乃依變緯 l 而立算者,若依變經求之,亦無不可.茲設 λ 為 A 及 B 之變經,由球面三角學公式有

$$\sin APB\cot\alpha=\sin PA\cot PB-\cos PA\cos APB$$

卽
$$\begin{aligned}\sin\lambda\ \cot\alpha&=\cos L\tan L'-\sin L\cos\lambda\\&=\frac{\cos L\sin L'}{\cos L'}-\sin L\left(1-2\sin^2\frac{\lambda}{2}\right)\\&=\frac{\cos L\sin L'-\sin L\cos L'}{\cos L'}+2\sin L\sin^2\frac{\lambda}{2}\\&=\frac{\sin(L'-L)}{\cos L'}+2\sin L\sin^2\frac{\lambda}{2}\\&=\sin l\sec L'+2\sin L\sin^2\frac{\lambda}{2}\end{aligned}$$

λ 及 l 因皆微小,茲亦以弧度法表之,則

$$\sin\lambda\longrightarrow\lambda,\qquad \sin l\longrightarrow l.$$

$2\sin L\sin^2\frac{\lambda}{2}$ 項,不防略去,故上式可化為

$$\lambda=l\tan\alpha\sec L'.$$

或 $$\tan\alpha=\frac{\lambda}{l\sec L'}$$

由公式 XV.得 $$\tan\alpha=\frac{\theta}{l\tan\frac{L+L'}{2}}$$

故
$$\frac{\theta}{l\tan\frac{L+L'}{2}}=\frac{\lambda}{l\sec L'}$$

故
$$\theta=\lambda\cos L'\tan\frac{L+L'}{2}$$
$$=\lambda\sin\left(\frac{L+L'}{2}\right)\cdot\frac{\cos L'}{\cos\left(\frac{L+L'}{2}\right)}$$

因 l 甚小之故 $\frac{\cos L'}{\cos\left(\frac{L+L'}{2}\right)}=\frac{\cos L'}{\cos\left(L'-\frac{l}{2}\right)}\longrightarrow 1$,由是得

$$\theta=\lambda\sin\left(\frac{L+L'}{2}\right)\text{……………公式 }XVI$$

此式算法簡潔,實用上多樂用之.

若當 $\lambda=0$ 時,卽兩地在同一子午線上時,$\theta=0$.

若當 $L+L'=0$ 時,卽兩地之緯度同量異名,或同在赤道上時,$\theta=0$.

若當兩地在赤道附近時,L、L' 必皆甚小,故 $\sin\left(\frac{L+L'}{2}\right)$ 亦必甚小,因之 θ 亦甚小,故 θ 値之大小,實因緯度之高低而生變化也.

【例題】 平均中分緯度在 6° 以下,變經在 10° 以下,試求其子午線聚合差.

設子午線聚合差爲 θ 度,則

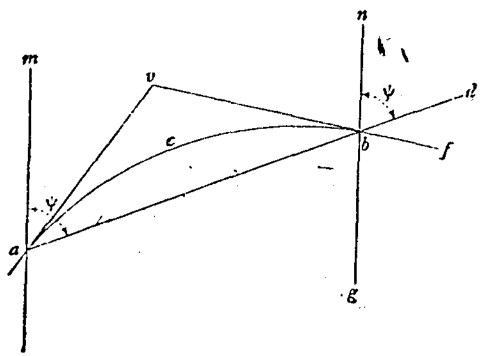
$$\frac{2\pi}{360}\times\theta=\frac{2\pi}{360}\times10^\circ\times\sin 6^\circ,$$

卽
$$\theta=10\times\sin 6^\circ=1^\circ.04=1^\circ2'.$$

由該題知,雖 θ、λ 爲弧度,但在演算時,直接以度計之可耳,第一行之式,可以省去.

2. 漸長方位 (Mercatorial bearing)　漸長方位者,乃指在漸

長圖上兩地之互相方位而言,當非兩地在地面上之實際互相方位也.於第六十一圖,a 及 b 爲地面上 A 及 B 兩地在漸長圖上之位置,am 及 bn 爲 a 及 b 之子午線.子午線 am 與直線 ab 之交角 mab,爲由 A 測 B 之漸長方位,$\angle gba$ 爲由 B 測 A 之漸長方位,



第六十一圖

故 $$\angle mab=\angle gba=\angle nbd,$$

卽 AB 兩地之漸長互相方位,其一爲他一之反方位也.

今 acb 示通過 A 及 B 之大圈,在實際觀測時,A 及 B 兩地相距皆在五百里以下,故可用前章 §13 之法,以圓弧代之.茲設 a、b 處切線之交點爲 v,則由 A 測 B,及由 B 測 A 之眞方位在圖上當可以 $\angle mav$ 及 $\angle gbv$ 或 $\angle nbf$ 表示之,設 θ 爲子午線聚合差,則

$$\angle nbf=\angle mav+\theta,\qquad \text{卽}\qquad \angle gbv=\angle mav+\theta.$$

設 A、B 兩地之漸長方位爲 φ,卽 $\angle mab=\angle gba=\angle nbd=\varphi$,則上式變爲

$$\varphi+\angle vba=\varphi-\angle vab+\theta,$$

但 $$\angle vba=\angle vab,$$

故　　$\angle vba=\angle vab=\frac{\theta}{2}$,　　(見前章§13)

故　　$\phi=\angle mav+\frac{\theta}{2}=\angle gbv-\frac{\theta}{2}$…公式 $XVII$

公式$XVII$用加用減,僅依緯度之高低以定之,即由低緯度處測高緯度處物標之漸長方位時,當在其眞方位上加$\frac{\theta}{2}$,反之則減$\frac{\theta}{2}$.

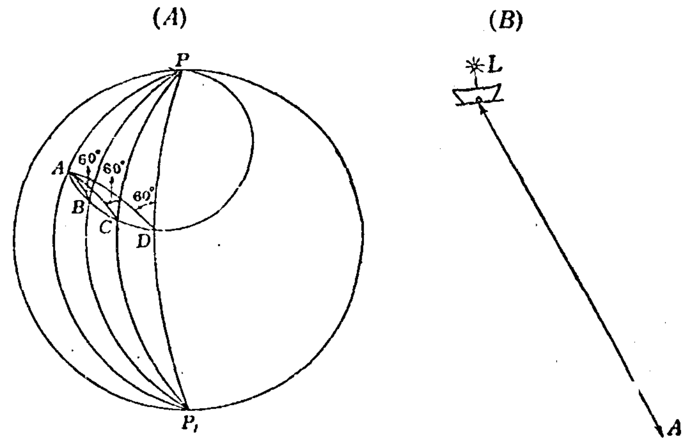
第二節　位置線

航海中,依觀測地物所得之方位,夾角,高度及距離等,常可判定船舶於觀測時必在某直線或某圓周或他種曲線上,與幾何學上動點滿足某條件,常可決定其軌跡之意義相同.此等之直線或圓周或他種曲線統稱之曰位置線(Position-line).

3.依地物羅針方位之位置線　用羅針儀測定某地物之方位後,改正其自差偏差,則某一地物之眞方位得矣.而觀測同一地物可得同一眞方位之可能點甚多,此等可能點之軌跡,即連各可能點之曲線,當爲吾船所必在,即所謂吾船之位置線也.

如第六十二圖(A)A爲地物,設由B、C、D等點觀測A,皆得其眞方位爲$N60°W$,即大圈DA、CA及BA各與子午線PDP_1、PCP_1及PBP_1成六十度之交角也.連D,C,B,A則得一曲線$DCBA$,則凡由在此曲線上之點,觀測A皆得其方位爲$N60°W$,由不在此曲線上之點觀測A,其方位必不爲$N60°W$.今吾船測A旣得其方位爲$N60°W$,則於觀測時,吾船必不出$DCBA$曲線外甚明,故$DCBA$曲線,即爲吾船之位置線也.

若觀測點甚近於A時,吾人可認爲由A至觀測點之一部位置線,與過此兩點之大圈相合,即與二點之方位線相合,然甚相近二點之方位線,可以直線表之.但如此假定,必須緯度亦不

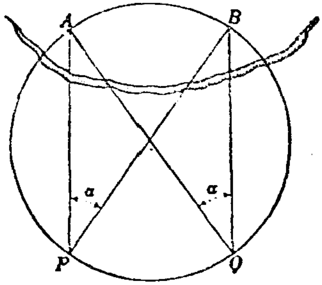


第六十二圖

過高時始可,若緯度為六十度,距離為六十三浬時,當有一浬左右之誤差.緯度減低,誤差亦必因之而減少.緯度在三十度距離在六十浬時,所生之誤差不過 0.4 浬耳.故在近距離時,用羅針儀測得地物之方位後,將其反方位直線作於海圖上,卽可認為位置線也.

於第六十二圖(B),設 L 為燈船 (Light ship),一船由與燈船距離非遙之一點 A,測得 L 之方位為 $N\,30°W$,則吾人卽可在海圖上過 L 點作直線 LA 其方向為 $S\,30°E$,則所要之位置線得矣.

4. 依水平夾角之位置線 (Position line by horizontal sextent angle) 第六十三圖, A 及 B 為二物標,設在船上用六分儀 (Sextent) 測得其水平夾角為 α. 茲作 AQ、BQ 使 $\angle AQB=\alpha$, 再作三角形 AQB 之外接圓周,則凡在此圓周 $ABQP$ 弧上之任何點 P, 對於 AB 弧所立之圓周角 APB 必皆等於 α, 除此之外之點,對於 AB 弧之角,皆不能等於 α, 故在觀測時船所在之位置線,必為 $ABQP$ 弧.



第六十三圖

在海圖上,欲作此位置線,可用幾何畫法求之,即先連 $A\ B$ 直線,次任作一直線 AQ 再作 BQ 直線,使 $\angle ABQ=180^\circ-(\angle BAQ+\alpha)$ 與 AQ 交於 Q,過 A、B 及 Q 三點作一圓弧 $ABQP$; 則所要之位置線作於圖上矣.

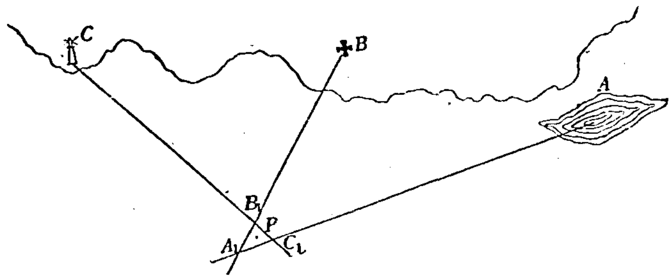
5. 依水平距離之位置線 (Position line by distance from an object) 用測距儀(Rangefinder)直接測出物標與船之距離後,或用六分儀測已知高之物標之垂直角,而依三角法求得距離後,以此距離爲半徑,物標爲中心作一圓周,則此圓周即爲測時之位置線.

第三節　船位之決定

6. 交叉方位法(Fix by cross bearing) 船舶依地物觀測,若同時得二獨立之位置線,則此二位置線之交點處,即爲船所在之位置甚明,交叉方位法,實據此理而求之者.

船舶航行中,若能決定二個同時獨立之方位直線,即在近距離低緯度時,依二地物羅針方位之二位置直線,將其記入海圖中,則其交點即船舶測時之位置也.此法名曰交叉方位法爲一般航海者所常用.

雖二個方位直線,亦云足用,然觀測者難保不無錯誤,若期更進一步之精確,不得不用三個方位直線.如第六十四圖,A、B、C



第六十四圖

爲三目標,在原理上由此三目標所測定之三方位直線,在海圖上當交於一點,然以種種誤差,通常皆交成一小三角形如$A_1B_1C_1$所示,在此時船舶之位置,當認爲在三角形$A_1B_1C_1$內正中之一點P.若所交之三角形甚大時,必須另測以決定之.

用此法決定船位時,當注意下列數端:

(1)當選定物標時,最好使二個位置直線所成之交角近於九十度,蓋在此種情形下,其交點易於識別也.故使位置直線之交角過銳或過鈍之物標,最好不用,通常皆選定使交角在三十度以上,百五十度以下之物標爲合宜.

(2)觀測時,必須迅速從事,方位變化急之物標,當置之最後.

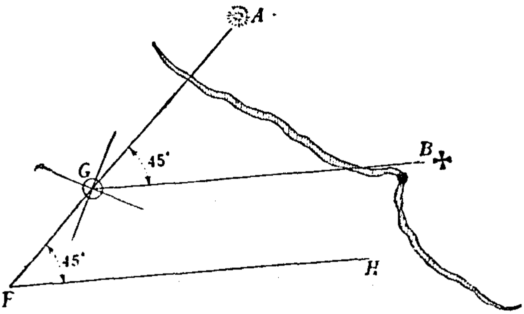
(3)因浮標之位置動搖不定,不可採用,必須選擇固定物標,否則,實難期結果之正確也.

(4)傾斜緩慢之岬角,務勿觀測.

7.方位及夾角法(Fix by bearing and angle) 此法率在一物標與測者中有障礙物,使羅盤儀不能直接測得其方位時行之,卽用一標之方位直線,及此標與他標之水平夾角,以求船舶

之位置法也.

如第六十五圖,設測得 A 山頂之方位直線爲 $N25°E$,B 塔頂



第六十五圖

因有障礙物,不能測得其方位,僅可知其在本船之東北象限內,A、B 對本船之水平夾角爲45°.茲在海圖上過 A 山頂作 AF 直線,使其方向爲 $S45°W$,再向東北象限方向任作一直線 FH,使 $\angle AFH$ 等於45°,過 B 塔頂作 BG 直線與 FH 平行,則其與 AF 之交點 G,爲本船所在之位置明矣.

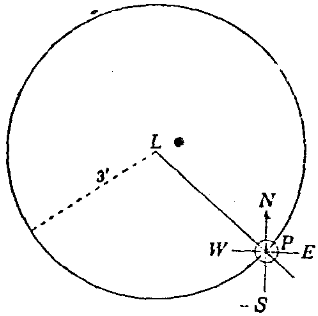
有時雖二物標可直接由羅盤儀測得其方位,而吾人不能確信其交叉所得之位置有無差誤,亦不妨再測其水平夾角,用本法以驗之.

8.方位及距離法(Fix by bearing and distance)　在欲決定船位時,若在僅有一個物標之情況下,則可用此標之方位及距離以決定之.如第六十六圖,L 爲一燈台,設吾船測得其距離爲3浬,方位爲 $N30°W$,則在海圖上以 L 爲中心,3浬爲半徑作一圓周,再過 L 作一直線,使其方向爲 $S30°W$,其與此圓周之交點 P,即吾船所在之位置,此法即稱曰方位及距離法.

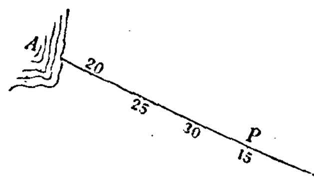
用此法以求船位,自不精確,非在不得已之情況下,不可應

用.

當測定距離時,若使用六分儀關於眼高差一项,必須改正,其意義及作法,容下節論之.



第六十六圖



第六十七圖

9. 方位及錘測法(Fix by bearing and sounding) 在水深變化急激之海區,若僅能測得一物標之方位時,亦可借錘測以決定本船之略近位置.如第六十七圖,設測得 *A* 山頂之方位為 $N\ 80°W$,同時錘測之水深為15尋,則吾人可在海圖上過 *A* 作一直線,其方向使為 $S\ 80°E$,在此直線上求其水深為15尋之點 *P*,當為吾人所求之略近位置也.

但此法必在水深變化急激之海區始可,否則若該直線上有若干之點,其水深皆為15尋時,則所求之位置,又不能確定也.

使用該法時,最好與方位及距離法合用,庶幾可求得較精一步之位置也.

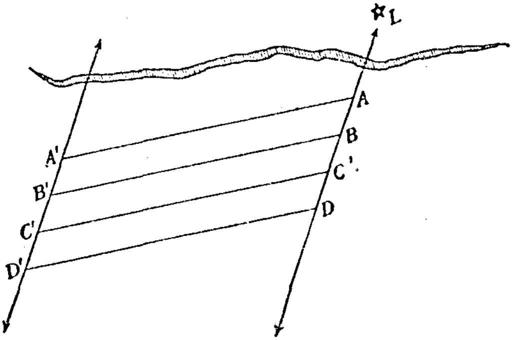
10. 錘測法(Fix by sounding) 霧濛濛,雨溟溟,此時最難認物標之所在,因之船位亦無從得知,此為航海中恆有之事,故欲測船位,捨本法外,殆無他術.若海底深淺有序,且水不甚深,此法更可採用.

其法先將子午線及針路畫於映寫紙 (Trancing paper) 上,記載其最初測得之水深及底質於針路線上適宜之處.次以距離尺度量海圖上所載之水深點之間隔,待船航過其距離時,測其水深,依次聯記之於針路線上.如此連測數次之後,則將映寫紙移於海圖上置於本船推測位置之附近,保持紙上子午線與圖上子午線相平行而移動之,求其數字符合處而點記最終錘測之點於圖上,則本船之略近位置得矣.

應用本法,或上項所述之方位及錘測法時,必須改正潮水之升降差;使用着色管時,對於氣壓,亦須改正.

11.位置線之移動 (Transferring position-lines)' 航行中,僅以一個位置線以決定船位,雖不可能,但常可供第二次決定船位之用.

如第六十八圖,L 為燈台,設每時具10浬速度,以 $N\,65°\,W$ 之眞針路,在無風流海區航行中之某船,午前九時測得 L 之方位為 $N\,53°\,E$, 今在海圖上通過 L 作一方向為 $S\,53°\,W$ 之直線$ABCD$,



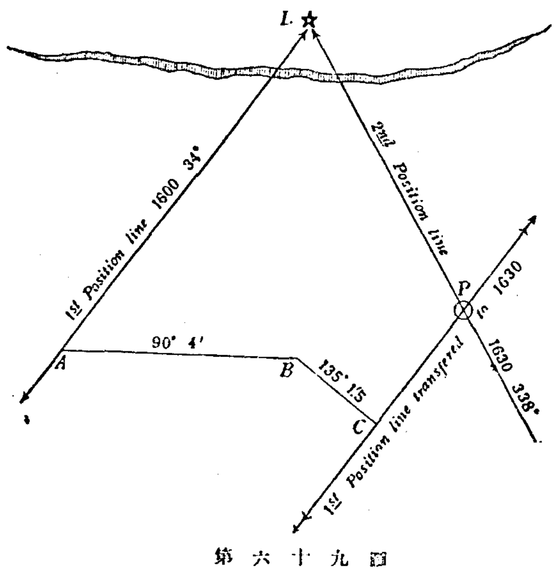
第六十八圖

此直線卽午前九時該船之位置線,卽當時該船必在此直線上之某點也. AA'、BB'、CC'、DD' 諸直線,其方向皆為 $N\,65°\,W$,且等於

10浬,若午前九時該船在 A,則午前十時該船必在 A',若午前九時該船在 B,則午前十時該船必在 B', C 及 D 之情形,各與此相同,由是與 $ABCD$ 平行之直線 $A'B'C'D'$,必爲該船午前十時位置線之一,此 $A'B'C'D'$ 稱謂午前十時位置線 $ABCD$ 之轉位線(Transferred position-line). 若在有風流之區域,當按其實際針路及航過之距離,以求此轉位線,茲不多贅.

此轉位線,有時亦常可供決定船位之用,下項所述之方位航程及針路法,卽應用此轉位線而成立者.

12.方位航程及針路法 (The running fix)　用轉位線,及同一物標或他物標之方位線,亦能將船舶之位置決定.用此種方法,多半在不能觀得二個以上物標之海區處,不得不將一物標於不同時間,觀測二次以上時行之.雖難期精確,但在夜間,僅有唯一燈台之燈光可見時,此實其不可少之法則焉.

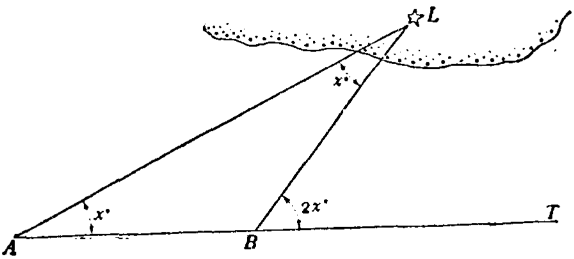


第六十九圖

設某船之針路爲正東,速度每時 8 浬;此處海流方向 $S\,45°E$, 每時 3 浬.午後四時,測得 L 燈台之方位爲 $N\,34°E$, 午後四時三十分,測得 L 燈台之方位爲 $N\,22°W$,試求該船之位置.

如第六十九圖,過海圖上 L 點作第一次位置線 $LA(S34°W)$. 過其上任一點 A 作 AB 針路(正東),且截取 AB 等 4 浬(三十分時間之航程),再作 BC 示海流 $(S45°E)$,使其等於 1.5浬(三十分時間之流程),過 C 作一直線 CP, 平行於 LA (卽午後四時三十分之轉位線),再過 L 作第二次位置線 LP $(S22°E)$, 其與 CP 之交點 P, 卽該船所在之位置也.

13.船首倍角法 (Doubling the angle on the bow)　船首倍角法者,乃前項所述方法之特例也.如第七十圖,設船首之方向爲



第 七 十 圖

AT, 若無風流,則 AT 亦卽該船之航跡線.今在 A 點測得 L 燈台與船首之夾角爲 $x°$之後,至該船船首與 L 成 $2x°$之夾角 B 點時,將其所行之浬數 AB, 由測程儀求出,同時再從速將 L 之方位測出.由幾何理知 $\angle ALB = \angle LAB = x°$ 故 $AB = BL$, 由是得知該船與 L 距離之浬數,而船位定矣,卽爲在海圖 BL 方位線上,由 L 量得其相距之浬數所得之點也.

14.四點方位法 (Four points bearing)　此法爲前項船首倍角法之一種特殊情形,卽第一次觀測,當物標與船首夾角爲四

點時行之,第二次觀測;當物標與船首之夾角爲八點時行之,故後者卽爲物標在船之正橫時也.其垂直距離與兩測點間之航程相等,較船首倍角法,尤爲簡單,故頗爲一般航船所樂用.

15.正橫距離法 此法與四點方位法相似,惟不關於首測夾角之大小,僅後測夾角限於八點耳.應用平面直角三角形解法,甚易將船與物標之垂直距離求出.若用方位表作之,將首次夾角,看作針路,兩測點間之航程,看作變緯,則其相當之東西距,卽吾人所要之垂直距離也.

§13、§14及本款,所以規定測時之夾角者,蓋以其計算簡單也.卽前後二夾角使用任何角度時,則據平面三角法,亦不難求得物標與後測點之距離,及物標與船之正橫距離.在測特別夾角有障礙時,亦常常用之.惟免除計算之複雜起見,常備一後測及正橫距離表,表上將航程視爲一浬,依前後二夾角而算成者,如下所示:

後測及正橫距離表

後測夾角	首測夾角											
	後測	正橫	後測	正橫	後測	正橫	後測	正橫	後測	正橫	後測	正橫
	2		2½		3		3½		4		4½	
3	1.96	1.09										
3½	1.32	0.84	2.42	1.53								
4	1.00	0.71	1.62	1.15	2.85	2.01						
4½	0.81	0.63	1.23	0.95	1.91	1.48	3.25	2.51				
5	0.69	0.57	1.00	0.83	1.45	1.21	2.19	1.82	3.62	3.01		
5½	0.60	0.53	0.85	0.75	1.18	1.06	1.66	1.46	2.44	2.15	3.96	2.49
6	0.54	0.50	0.74	0.69	1.00	0.92	1.35	1.24	1.85	1.71	2.66	2.46
6½	0.50	0.47	0.67	0.64	0.88	0.84	1.14	1.09	1.50	1.44	2.02	1.93
7	0.46	0.45	0.61	0.60	0.79	0.77	1.00	0.98	1.27	1.25	1.64	1.61
7½	0.43	0.43	0.57	0.56	0.72	0.72	0.90	0.89	1.11	1.11	1.39	1.38
8	0.41	0.41	0.53	0.53	0.76	0.76	0.82	0.82	1.00	1.00	1.22	1.22
8½	0.40	0.40	0.51	0.51	0.63	0.63	0.76	0.76	0.91	0.91	1.09	1.09

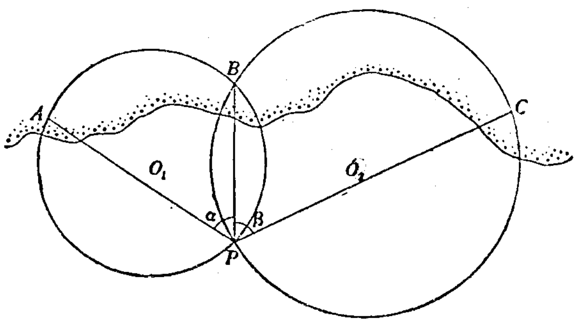
9	0.39	0.38	0.49	0.48	0.60	0.59	0.72	0.71	0.85	0.83	1.00	0.98
9½	0.38	0.37	0.48	0.46	0.58	0.56	0.69	0.66	0.80	0.77	0.93	0.89
10	0.38	0.35	0.47	0.44	0.57	0.52	0.66	0.61	0.77	0.71	0.88	0.81
10½	0.35	0.34	0.47	0.42	0.56	0.49	0.65	0.57	0.74	0.65	0.84	0.74
11	0.39	0.32	0.47	0.39	0.56	0.46	0.64	0.53	0.72	0.60	0.81	0.67
11½	0:40	0.31	0.48	0.37	5.56	0.43	0.63	0.49	0.71	0.55	0.79	0.61
12	0.41	0.29	0.49	0.35	0.57	0.40	0.64	0.45	0.71	0.50	0.78	0.55
12½	0.43	0.28	0.51	0.32	0.58	0.37	0.65	0.41	0.71	0.45	0.77	0.49
13	0.46	0.26	0.53	0.30	0.60	0.33	0.66	0.37	0.72	0.40	0.78	0.43
13½	0.50	0.23	0.57	0.27	0.63	0.30	0.69	0.32	0.74	0.35	0.79	0.37
14	0.54	0.21	0.61	0.23	0.67	0.26	0.72	0.28	0.77	0.29	0.81	0.31
	5		5½		6		6½		7		7½	
6	4.26	3.94										
6½	2.86	2.74	4.52	4.33								
7	2.17	2.13	3.04	2.98	4.74	4.64						
7½	1.76	1.76	2.30	2.29	3.18	3.17	4.91	4.88				
8	1.50	1.50	1.87	1.87	2.41	2.41	3.30	3.30	5.03	5.03		
8½	1.31	1.30	1.59	1.58	1.96	1.95	2.50	2.49	3.38	3.36	5.10	5.08
9	1.18	1.15	1.39	1.36	1.66	1.63	2.03	1.99	2.56	2.61	3.43	3.36
9½	1.08	1.03	1.25	1.19	1.46	1.39	1.72	1.65	2.08	1.99	2.60	2.49
10	1.00	0.92	1.14	1.05	1.31	1.21	1.51	1.39	1.77	1.63	2.11	1.95
10½	0.94	0.83	1.06	0.94	1.20	1.05	1.35	1.19	1.55	1.36	1.79	1.58
11	0.90	0.75	1.00	0.83	1.11	0.92	1.24	1.03	1.39	1.15	1.57	1.30
11½	0.87	0.67	0.95	0.73	1.05	0.81	1.15	0.89	1.27	0.98	1.41	1.09
12	0.85	0.60	0.92	0.65	1.00	0.71	1.09	0.77	1.18	0.83	1.29	0.91
12½	0.84	0.53	0.90	0.57	0.97	0.61	1.04	0.66	1.11	0.71	1.20	0.76
13	0.83	0.46	0.89	0.49	0.94	0.52	1.00	0.56	1.06	0.59	1.13	0.63
13½	0.84	0.39	0.88	0.42	0.93	0.44	0.98	0.46	1.02	0.48	1.08	0.51
14	0.85	0.32	0.89	0.34	0.92	0.35	0.90	0.37	1.00	0.38	1.04	0.40
	8		8½		9		9½		10		10½	
9	5.13	5.03										
9½	3.44	3.30	5.10	4.88								
10	2.61	2.41	3.43	3.17	5.03	4.64						
10½	2.21	1.87	2.60	2.29	3.38	2.98	4.91	4.33				
11	1.80	1.50	2.11	1.76	2.56	2.13	3.30	2.74	4.74	3.94		
11½	1.58	1.22	1.79	1.38	2.08	1.61	2.60	1.93	3.18	2.46	4.52	3.49
12	1.41	1.00	1.57	1.11	1.77	1.25	2.03	1.44	2.41	1.71	3.04	2.15

12½	1.29	0.82	1.41	0.89	1.55	0.98	1.72	1.09	1.96	1.24	2.30	1.46
13	1.20	0.67	1.29	0.72	1.39	0.77	1.51	0.84	1.66	0.92	1.87	1.04
13½	1.13	0.5[illegible]	1.20	0.56	1.27	0.60	1.34	0.64	1.46	0.69	1.59	0.75
14	1.08	0.41	1.13	0.43	1.18	0.45	1.25	0.47	1.31	0.50	1.39	0.53
	11		11½		12		12½		13			
12	4.26	3.01										
12½	2.86	1.82	3.96	2.51								
13	2.17	1.21	2.66	1.48	3.62	2.01						
13½	1.76	0.83	2.02	0.95	2.44	1.15	3.25	1.53				
14	1.50	0.57	1.64	0.63	1.85	0.71	2.19	0.84	2.85	1.09		

使用該表,若兩測點間爲任意距離時,以該距離之浬數,乘表上之距離數,卽爲吾人所求之後測距離,或正横距離也.

§13、§14及本款,若在有風流之海區中,船首與物標之夾角,則非實際航跡與方位線之交角,故在此時當改正風壓差及流壓差,以求其實際針路,實際針路與方位線角度之差,方可作爲夾角之度數而計算其距離也.

16.三標兩角法(Florizontal sextant angle) 此法係選擇顯著之物標三個,用六分儀測出中央標與左右兩標之夾角,而推測本船之位置.如第七十一圖, A、B、C 爲三物標,設測得 A、B 之



第七十一圖

夾角爲 α, B、C 之夾角爲 β, 今過 A,B 作一圓周 O_1 使對 AB 所立之圓周角爲 α, 過 B,C 亦作一圓周 O_2, 使對 BC 所立之圓周角爲 β, 此二圓周之交點, 除 B 外必僅有一點 P, 此僅有之 P 點, 必爲吾船之位置.

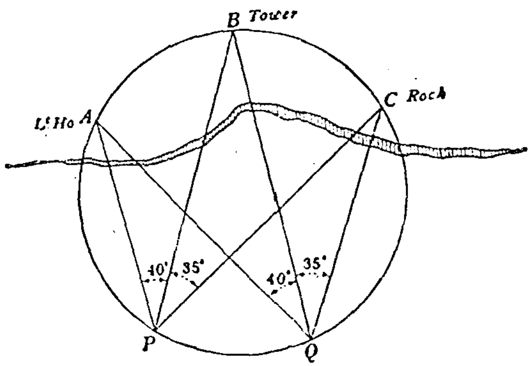
但在通常皆用三桿分度儀, 作成其二角一爲 α, 一爲 β, 在海圖上移動, 當其三桿各切於相當之物標時, 其中心卽爲所求之位置, 旣簡潔省事, 又不致汚損海圖, 稱便多矣.

使用此法之利點有二:

(1)用羅經儀觀測方位, 因羅針之動搖, 自差之變化, 以及測度之草率等原因, 其細密程度遠遜於用六分儀之觀測夾角, 故本法較用交叉方位法所得船位, 能較精確.

(2)羅經觀測方位, 每爲舷側艙般等所阻礙, 頗屬不便, 如用六分儀, 船上到處可以觀測無阻, 利甚大焉.

此法雖稱便利, 但在三標與測者同在一圓周上時, 則萬不能應用. 蓋此時上圖 O_1 及 O_2 二圓周, 必相重合, 若第七十二圖之



第七十二圖

情形; 在此圓周 $APQB$ 弧上任何點 Q, 對 AB 及 BC 之夾角皆

爲 α 及 β,所要之位置實無從判定其在何點也.旨斯之故,對於物標之選擇,最好當滿足下列數端爲適宜:

(1)中央標與測者在連左右二標之直線同側時.

(2)三標在一直線上時.

(3)側者在三標所成之三角形內時.

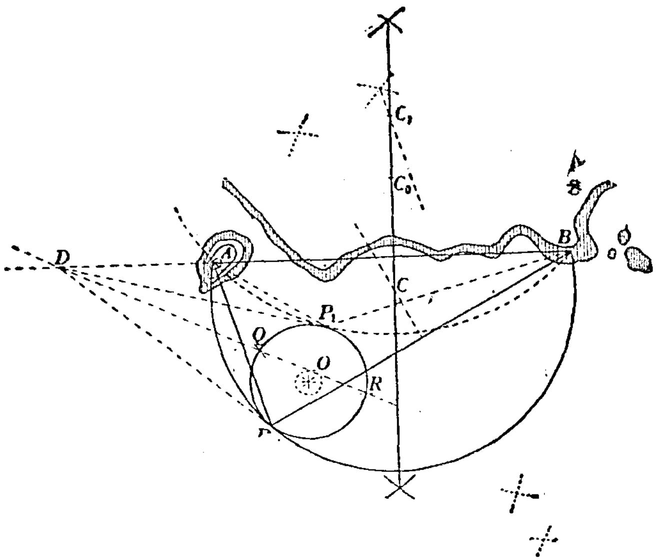
但無論在何種情形下,夾角最好皆在三十度以上,不然測者與物標之距離必遠,其結果實難期其正確也.

第四節　危險角法

危險角法 (Danger angle method) 者,乃避沿岸暗礁,或其他危險物之一種方法也.計分水平危險角法 (Florizontal danger angle method), 及垂直危險角法 (Vertical danger angle method) 二種.

17.水平危險角法　據幾何學理,以圓周之定弦爲底之三角形,當其頂點在圓周上時,其頂角等於該弦上所立之圓周角,當頂點在圓周外時,其頂角小於該圓周角,當頂點在圓周內時,其頂角大於該圓周角,本法實據此理而成者.

於第七十三圖,設 O 爲危險物,在其附近 a 浬以內,決不可航進,A 及 B 爲二物標.茲在海圖上,以 O 爲中心,a 浬爲半徑作一圓周 PQR,次在 AB 直線之垂直平分線上選二相當點 C 及 C_1 作中心,作二圓周過 A,B 且其一與圓 PQR 相內切,其一相外切,設切點各爲 P 及 P_1(詳細作法見下).船若在圓 APB 或圓 AP_1B 上任何點航行時,其與 A,B 二標之水平夾角,必常等於 $\angle APB$ 或 $\angle AP_1B$.故航海者欲避該危險物 O 時,可時時用六分儀觀測 A、B 之夾角,操縱其艦船,勿使該夾角之度在 $\angle APB$ 及 $\angle AP_1B$ 度數之間,即使 A,B 之水平夾角不大於 $\angle APB$, 又不小於 $\angle AP_1B$.



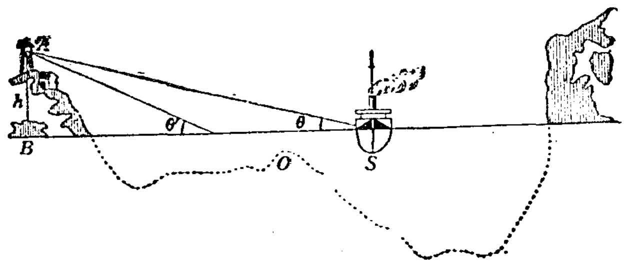
第七十三圖

則船舶自不能入於此危險區內,航行之安全可期矣.

作圓周 APB 及 AP_1B 之法,在 AB 之垂直平分線上,任取一點 C_0, 以 C_0A 爲半徑,作一圓周,與 PQR 圓相截於 R, Q, 連 PQ 遇 AB 於 D, 由 D 向圓 PQR 作二切線 DP 及 DP_1 則 P 及 P_1 即圓 APB 及 AP_1B 與圓 PQR 之切點也,切點旣得,則圓 APB 及 AP_1B 不難作出矣,蓋由幾何理知

$$DA \cdot DB = DQ \cdot DR = \overline{DP}^2 = \overline{DP}_1{}^2.$$

18.垂直危險角法　在僅有一物標,吾人確知其高時,則利用其仰角,亦可避其附近之危險物,此稱垂直危險角法.如第七十四圖, A 爲高於水平 h 浬之物標, O 爲一暗礁,今設在其附近 a 浬內不能航進,並知 A 與 O 之水平距離爲 b 浬.因 AO 之距離,通常皆不甚大,故可以平面三角形法求得.吾船爲避 O 暗礁,



第七十四圖

於 A 當採之仰角,若爲 θ, 或 θ'. 則

$$ton\ \theta=\frac{h}{b+a},\text{或}\ tan\theta'=\frac{h}{b-a}$$

當船航行 O 之附近時,應常用六分儀觀測 A 之仰角,永勿令測得之仰角,大於 θ 或小於 θ', 則該船不致誤入此危險區內明矣.

第五節　位置綫及決定位置之誤差

當從事觀測物標時,無論如何,些許之誤差,不能不生;因之所得之位置線及船位,亦不能十分正確,故特闢本節以討論之.

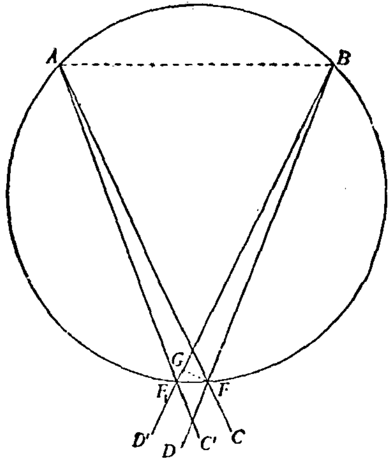
19.因方位線之誤差所生之船位誤差　於第七十五圖,設 A 及 B 爲同時選測其方位之物標, F 爲眞位置線 AC 及 BD 之交點,卽 F 爲眞船位. AC' 及 BD' 爲實際記入圖上之位置線,其交點 F_1 爲實際測定之船位,卽 F_1 爲僞船位,由是 FF_1 乃位置之誤差也.

今設該二位置線方向之誤差,由同一過失而來,換言之,卽認其方向誤差爲同一,卽

$$\angle CAC'=\angle DBD',$$

茲以 e 表之,更用 θ 表 $\angle AFB$. 因

$$\angle CAC'\doteq\angle DBD'=e$$



第七十五圖

故過 A、B 及 F 三點之圓周亦必過 F_1，作 FG 垂直於 BF_1，由是吾人得.

$$GF = FF_1 \sin BF_1F \text{ 及 } GF = BF \sin GBF,$$

故 $$FF_1 \sin BF_1F = BF \sin GBF,$$

由是 $$FF_1 = \frac{BF \sin GBF}{\sin BF_1F},$$

但 $$\angle BF_1F = \angle BAF, \text{故} \sin BF_1F = \sin BAF,$$

由正弦定律得 $$\frac{BF}{\sin BAF} = \frac{AB}{\sin \theta},$$

即 $$\frac{BF}{\sin BF_1F} = \frac{AB}{\sin \theta},$$

故得 $$FF_1 = \frac{AB \, Sin\, e}{\sin \theta}.$$

在通常情形下，e 甚微小，故若將 e 用弧度法表之，該式可化為

$$FF_1 = \frac{e \cdot AB}{\sin \theta} \cdots\cdots\cdots\cdots \text{公式} \; XVIII$$

由上式知位置誤差FF_1與$\sin\theta$成反比,故當θ等於90°度時,該差最小,即等於eAB,當θ漸減時,其誤差必漸次增加.故實用上物標之選擇,切不可使其二方位線之交角小於30°度,庶幾可無甚大之誤差,而得以決定較正確之船位也.

【例題一】 二物標相距10浬,測其眞方位各爲$N60°E$,$N30°E$,若測時其方位線之誤差爲1°,試求由此所決定之船位誤差如何?

$e=1°$,用弧度法表之得 $e=\frac{60}{3438}=\frac{1}{57}$(約數),$\theta=60°-30°=30°$.

故
$$FF_1=10\times\frac{1}{57}\times\csc 30°=\frac{1}{3}\text{浬(約數)}$$

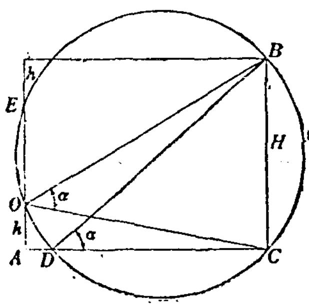
【例題二】 測得相距10浬二物標之眞方位一爲$N\,10°\,E$,一爲$S\,80°E$,測時其方向約有1°之誤差,求所決定之船位誤差.

$$FF_1=10\times\frac{1}{57}\times\csc 90°=\frac{1}{6}\text{浬(約數)}.$$

公試$XVIII$在實用上,因e值非爲已知,似爲不必要,但由此可以判定擇標時其夾角如何,始可使誤差最小,學者亦不可忽略視之.

20.因垂直角之誤差,所生之距離誤差.

(1)測角時物標直立於岸線之情形:



第七十六圖

於第七十六圖,BC爲水面上H呎之斷崖(Vertical cliff),當於水面上A點觀測其垂直角,觀者之眼決不能正在A點,今設其眼在高於水面h呎之O點,則所測得之垂直角BOC,與眞垂直角BAC必有若干之誤.茲以α表$\angle BOC$,作三角形BOC之外接圓,與水平線相交於D,與AO之延線相交於E,

測者與斷崖之水平距離 AC, 可以滿足下列之關係,即

$$AC=DC+AD=H\cot BDC+\frac{AO\cdot AE}{AC},$$

$$AC=H\cot\alpha+\frac{h(H-h)}{AC}\text{......................公式 }IXX$$

公式 IXX 可化為

$$AC^2-AC\cdot H\cot\alpha-h(H-h)=0$$

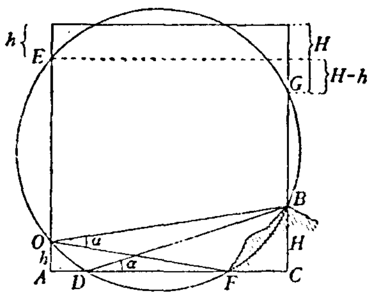
是為 AC 之一二次方程式, AC 之值自能由該式求得.但在一般實用上,吾人恆不將眼高算入,即據

$$L=H\cot\alpha\text{..............................}(1)$$

以求之,式中之 L 為所求之偽距離,由是知眞距離與偽距離之差當為 $\frac{h(H-h)}{AC}$

在 $AC>H$ 時,卽岸線與船之距離比物標之高大時,其所生之距離誤差必小於 h, 卽小於眼高,因之影響於船位者亦幾希矣.故用垂直角決定船位(或在垂直危險角法中),當求距離時,必在 $AC>H$ 之情況下,始可用(1)式以求之.

(2)測角時物標斜立於岸線之情形:



第七十七圖

於七十七圖中, B 為某斜立之山頂, F 為山足,今測者之眼 O 設高出水平 A 點上 h 呎, $\angle BOF$ 必為實測之垂直角,茲以 α 表之,作三角形 OBF 之外接圓,與水平 AC 交於 D, 與 AO 及 BC 之延線,各交於 E 及 G, 由是

$$AC=DC+AD=H\cot BDC+\frac{AO\cdot AE}{AF}$$

即 $$AC=H\cot\alpha+h\frac{CG+(H-h)}{AF}$$

然 $$CG=\frac{DC\cdot FC}{H}$$

故 $$AC=H\cot\alpha+h\left(\frac{H-h}{AF}\right)+h\frac{DC\cdot FC}{AF\cdot H}$$

$$=H\cot\alpha+h\left(\frac{H-h}{AF}\right)+h\frac{FC}{H}\left(\frac{AF-AD+FC}{AF}\right)$$

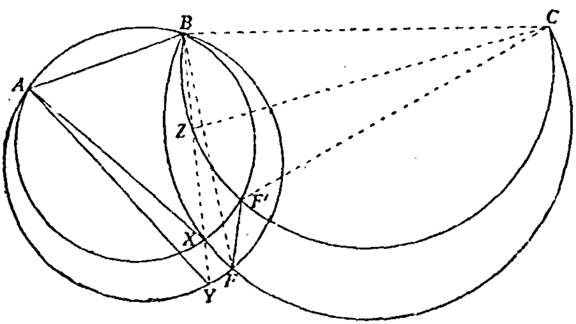
∴ $$AC=H\cot\alpha+h\left(\frac{H-h}{AF}\right)+h\frac{FC}{H}\left(1+\frac{FC-AD}{AF}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots$$

……………………………………………… …………公式 XX

故知由上述(1)式求得之距離,較實際距離所生之誤差為 $h\left(\frac{H-h}{AF}\right)+h\frac{FC}{H}\left(1+\frac{FC-AD}{AF}\right)$.

在 $AF>H>FC$ 時,此誤差之首項小於 h,次項小於 $2h$,其總共之誤差當小於 $3h$,對於距離之比較甚微,實用上不妨選用.除此之外,鮮能得正確之結果,學者當留意焉.

21.依水平夾角船位之誤差 使用六分儀,觀測三標之水平夾角,以定船舶之位置時,因測觀時之過失,或用三桿分度器記入位置時之不正確等,皆可使所決定之位置含有誤差.如第七十八圖,設圓 AFB 及圓 BFC 為二真位置線,圓 $AF'B$ 及圓 $BF'C$



第七十八圖

爲觀測結果實際記入之二位置線,即 F 爲眞船位,F' 爲僞船位,FF' 爲船位之誤差.

設 X 爲圓 BFC 與圓 $AF'B$ 之交點,Y 爲 BX 延長線與圓 AFB 之交點.茲假定二個水平夾角皆有同一誤差 α,因 AYB(等於 AFB)爲一個眞水平夾角,AXB(等於 $AF'B$),故

$$AXB = AYB + \alpha,$$

同理 $$BF'C = BFC + \alpha.$$

於三角形 AXY 內.

$$AXB = AYB + XAY$$

$\therefore$ $$\angle XAY = \alpha$$

又 $$XY = \frac{AX \cdot \sin\alpha}{\sin AYB},$$

因 α 角甚小,故若用弧度法表之,得

$$XY = \frac{\alpha \cdot AX}{\sin AYB} \cdots\cdots(1)$$

再在三角形 XYF 中,$XF = \dfrac{XY \sin XYF}{\sin XFY}$,

將(1)之 XY 值代入得 $$XF = \frac{\alpha \cdot AX}{\sin AYB} \cdot \frac{\sin XYF}{\sin XFY} \cdots\cdots(2)$$

茲以 φ 表圓弧 XF 及 YF 之交角,因 F 及 F' 爲甚相近之二點,故該兩圓弧 XF 及 YF 甚小,其交角可以弦 XF 及弦 YF 之交角代之,即 $\angle XFY = \varphi$. 因此(2)可變爲

$$XF = \frac{\alpha \cdot AX}{\sin\varphi} \cdot \frac{\sin XYF}{\sin AYB} \cdots\cdots(3)$$

又因 Y 在圓 AFB 上與 F 極近,故 YF 可認爲圓 AFB 於 Y 點之切線,故

$$\angle XYF = \angle BYF = \angle YAB$$

由是 $$\frac{\sin XYF}{\sin AYB} = \frac{\sin YAB}{\sin AYB} = \frac{BY}{AB}$$

代入(3)式得 $$XF=\frac{\alpha\cdot AX}{\sin\varphi}\cdot\frac{BY}{AB}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

又 AX 約與 AF 等，BY 約與 BF 等，故(4)式又可化為

$$XF=\frac{\alpha\cdot BF}{\sin\phi}\cdot\frac{AF}{AB}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

同樣得 $$XF'=\frac{\alpha\cdot BF}{\sin\varphi'}\cdot\frac{CF}{BC}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

然 $$\overline{FF'}^2=\overline{XF}^2+\overline{XF'}^2-2XF\cdot XF'\cos F\hat{X}F'\cdots(7)$$

弧 XF 及弧 XF' 與由 A 及 C 至 X 及 F' 之距離相比較，甚為微小，則$\angle FXF'$亦可認為等於 φ，今設

$$\frac{AF}{AB}=\gamma_1,\ \frac{CF}{BC}=\gamma_2,$$

即γ_1為船與第一物標 A 之距離，與第一物標 A 及第二物標 B 之距離之比，γ_2為船與第三物標 C 之距離，與第二物標 B 及第三物標 C 之距離之比。

茲由(5)、(6)、(1)得

$$\overline{FF'}^2=\frac{\alpha^2\overline{FB}^2}{\sin^2\phi}\gamma_1^2+\frac{\alpha^2\overline{FB}^2}{\sin^2\phi}\gamma_2^2-2\frac{\alpha^2\overline{FB}^2}{\sin^2\phi}\gamma_1\gamma_2\cos\varphi$$
$$=\frac{\alpha^2\overline{FB}^2}{\sin^2\phi}\{\gamma_1^2+\gamma_2^2-2\gamma_1\gamma_2\cos\varphi\}.$$

故 $$FF'=\frac{\alpha\cdot FB}{\sin\varphi}\sqrt{\gamma_1^2+\gamma_2^2-2\gamma_1\gamma_2\cos\varphi}.$$

設 θ 為二位置線之交角，則

$$\varphi=180^\circ-\theta$$

故上式變為 $$FF'=\frac{\alpha\cdot FB}{\sin\theta}\sqrt{\gamma_1^2+\gamma_2^2+2\gamma_1\gamma_2\cos\theta}\cdots\text{公式 }XXI$$

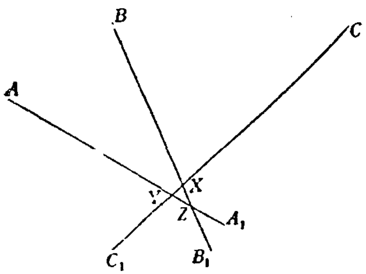
由此式觀之，所決定之船位極大誤差 FF'，與 $\alpha\cdot FB$ 及 $\sqrt{\gamma_1^2+\gamma_2^2+2\gamma_1\gamma_2\cos\theta}$ 成正比，與 $\sin\theta$ 成反比，故用三標兩角法決定船位時，對於物標之選擇，除 §16 所述者外，又當注意下列三者：

(1)中央物標與測者距離愈近愈佳(卽 FB 小).

(2)二方位線之交角,以近於九十度爲佳(卽 $\sin\theta$ 近於1).

(3)當使所成之二比 γ_1 及 γ_2 小.

22.依交叉方位法船位之誤差　用交叉方位法,若同時選擇三物標 A、B 及 C 時,此三位置線記入海圖,常不能交於一點,大致皆形成一三角形,如第三十五圖 XYZ 所示,考其成因,約有三端:



第七十九圖

第一:因羅針儀羅牌之刻度粗草及動搖,以致觀測不正確而成.不論用磁石羅盤儀,或用旋轉羅盤儀,因該種原因所生之方向誤差,皆約有 $\frac{1^\circ}{4}$ 許.

第二:因記入時之過失而成,其誤差亦約有 $\frac{1^\circ}{4}$ 許.

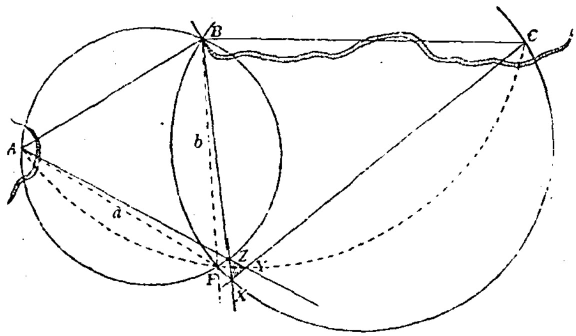
以上二種原因所成之誤差,率無規律,而其最大差,不出 $\frac{1^\circ}{2}$ 左右.

第三:因自差偏差或器差之不正確而成.此項誤差,在同時觀測三物標時,必爲同一,非若首二原因之無規律也.

(1)三標方位誤差同一,形成三角形之情形:

如第八十圖所示,F 爲眞船位,A、B 及 C 爲三物標,設其眞方位各爲 $N60^\circ W$、N 及 $N60^\circ E$. 若觀測時非常正確,因第三種原因,生有 $1^\circ E$ 之誤差,則在實測時,所得之 A、B 及 C 之眞方位必各爲 $N61^\circ W$、$N1^\circ W$ 及 $N59^\circ E$. 當記入此三方位線時,設亦無過失,其交成之三角形爲 XYZ.

由 §19 知 A、B 兩物標之二位置線交點 Z,必在過 A、B 及 F 之圓周上,B、C 兩物標之二位置線交點 X,必在過 B、C 及 F



第八十圖

之圓周上，A、C 兩物標之二位置線交點 Y，必在過 A、C 及 F 之圓周上，故在此種情形下，船位 F 在 XYZ 三角形之外甚明。

茲以 θ、θ_1 及 θ_2 表各相當二方位之交角 $\angle AZB$、$\angle AYC$ 及 $\angle BXC$，e 表誤差之弧度，則由公式 XVIII 得

$$FZ=\frac{e\cdot AB}{\sin\ \theta},\qquad FY=\frac{e\cdot AC}{\sin\theta_1},\qquad FX=\frac{e\cdot BC}{\sin\theta_2}.$$

AB、AC 及 BC 之值，可由海圖上求之，或用下式算之：

$$\overline{AB}^2=a^2+b^2-2ab\cos\theta,$$

$$\overline{AC}^2=a^2+c^2-2ac\cos\theta_1,$$

$$\overline{BC}^2=b^2+c^2-2bc\cos\theta_2.$$

此中之 a、b 及 c，為由 F 至 A、B 及 C 之距離。

例如第八十圖，若 $AB=2'$，$AC=7'$，$BC=5'$，$e=1°\left(\frac{1}{57}\right)$，$\angle AZB=30°$，$\angle AYC=120°$，$\angle BXC=90°$ 則得

$$FZ=0'.07,\qquad FY=0'.14,\qquad FX=0'.09.$$

當三標方位之誤差同一時，該誤差 e 亦可求得其略值。觀第八十圖，真船位 F，必為三圓周 ABZ、ACY 及 BCX 所交之一點（若此三圓周不交於一點，則船位之誤差，不僅由第三種原因而

來),故其誤差 e 可由度量得之,或度量 FZ(或 FY 或 FX)之長,用上式求之.

【例題】設三物標 A,B 及 C 用旋轉羅針儀,正確觀測,得 A 及 B 之方位差為45°,當記入海圖時,亦無過失,設 $AB=6,'$ $FZ=0'.4$ 試求其方位誤差.

$$FZ=\frac{e\cdot AB}{sin\ \theta}=\frac{e\times 6}{sin45^\circ}$$

$$e=\frac{0.4\cdot sin45^\circ}{6}\text{弧度}$$

$$=\frac{57^\circ\times 0.4\times sin45^\circ}{6}\text{度}$$

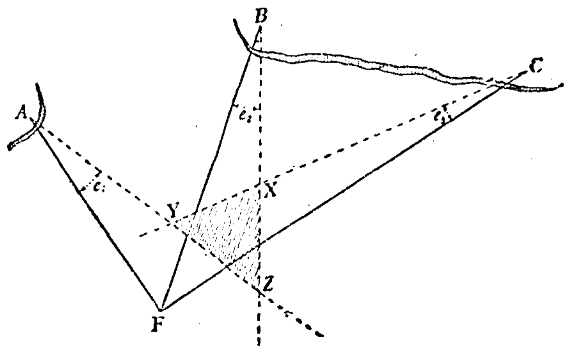
$$=2^\circ.7$$

e 值之符號(即偏東偏西),可由海圖上求之.

(2)三標方位誤差相異,形成三角形之情形:

方位誤差,由前述之三種原因相合而來者,則其所形成之三角形,必無規律,如第八十一圖所示.

該圖之記號如前,F 為眞船位,眞方位線 AF 與僞方位線 AY 之交角 e_1 為第一物標之方位誤差,同樣 e_2 及 e_3 各為第二及第三物標之方位誤差.e_1、e_2 及 e_3 之值,通常皆不相同,即符號



第八十一圖

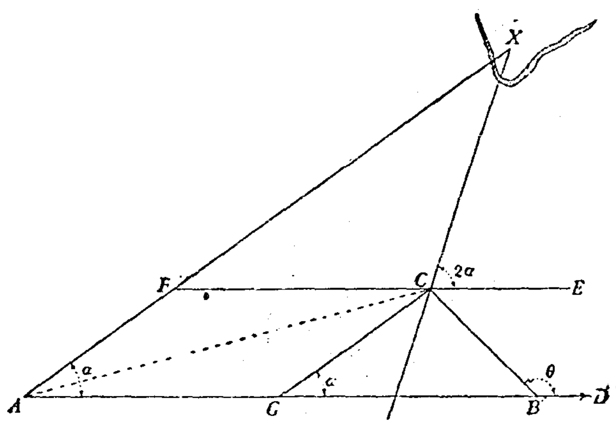
亦常相異,如該圖所示者,e_1 及 e_2 雖同符號,而與 e_3 則異其符號。在此種情形下,若不知 e_1、e_2 及 e_3 之值,眞船位 F 實無法以求之。

在偶然之情形下,此三個位置線,或能交於一點,在該圖若 e_3 適爲某一相當值時,CY 亦未嘗不能通過 Z 點,由是則船位誤差必爲 FZ. 故在實作時,雖過三個位置線交於一點,亦不能確信船位卽爲該交點也,航海者當留意焉.

23.船首倍角法與潮流之影響 前述之船首倍角法,指無潮流而言,若將潮流計入,當無前述之簡單也.如第八十二圖,X 爲物標,A 爲首測點,AB 及 BC 之方向,各示船首尾線及流向,其長各表首測與後測間船之視航程(卽於測程儀上所求得之航程)及流程,故由潮流航法知後測點必在 C,茲過 C 作 CE 平行於 AB,設首測角爲 α,後測角爲 2α,則

$$\angle XAB=\alpha, \qquad \angle XCE=2\alpha.$$

引長 CE 交 AX 於 F,過 C 作 CG 平行於 AX 與 AB 相交於 G.



第八十二圖

因 $\angle CFX = \angle XAB = \alpha,\ \angle CXF = \angle ECX - \angle CFX = 2\alpha - \alpha = \alpha,$

故 $$\angle CFX = \angle CXF.$$

故 $$CX = FC = AG = AB - GB.$$

AB 爲視航程,乃已知之量,GB 可由三角形 GBC 中求之,由正弦定律得.

$$\frac{GB}{BC} = \frac{\sin GCB}{\sin BGC} = \frac{\sin GCB}{\sin \alpha},\ \text{故}\ EG = \frac{BC \cdot \sin GCB}{\sin \alpha}.$$

玆將流程 BC 以 d 表之,船首尾線與流向之交角 $\angle DBC$ 以 θ 表之,則 $\angle GCB = \theta - \alpha$, 由是

$$BG = \frac{d \sin(\theta - \alpha)}{\sin \alpha},$$

玆以 D 表 AB 得

$$CX = D - \frac{d \sin(\theta - \alpha)}{\sin \alpha} \qquad \cdots\cdots 公式\ XXII$$

該式若當 θ 小於 α 時,亦可應用,因 $\sin(\theta-\alpha) = -\sin(\alpha-\theta)$, 故該式變爲

$$CX = D + \frac{d \sin(\alpha - \theta)}{\sin \alpha}$$

公式 $XXII$ 乃用在物標在不受流壓之舷側時,若物標在受流壓之舷側時,用同一方法易得

$$CX = D + \frac{d \sin(\theta + \alpha)}{\sin \alpha} \qquad \cdots\cdots 公式\ XXIII$$

關於本項特殊之情形:

(1) $\theta = 0^\circ$ 卽流向與首尾線一致時,

$$CX = D + \frac{d \sin\alpha}{\sin \alpha} = D + d.$$

(2) $\theta = 180^\circ$, 卽流向與首尾線正反時,

$$CX = D - \frac{d \sin(180^\circ - \alpha)}{\sin \alpha} = D - d.$$

(3) $\theta = \alpha$, 卽流向與首側方位一致時,

$$CX=D-\frac{d\sin(\alpha-\alpha)}{\sin\alpha}=D.$$

(4) $\theta=180^\circ-\alpha$,卽流向與前測方位相反時,

$$CX=D+\frac{d\sin\{(180^\circ-\alpha)+\alpha\}}{\sin\alpha}=D.$$

(5) $\theta=2\alpha$,卽流向與後測方位一致時,

$$CX=D-\frac{d\sin(2\alpha-\alpha)}{\sin\alpha}=D-d.$$

(6) $\theta=180^\circ-2\alpha$　卽流向與後測方位相反時,

$$CX=D+\frac{d\sin\{(180^\circ-2\alpha)+\alpha\}}{\sin\alpha}=D+d.$$

【例題一】　每時具16浬速度之某船,以 $N75^\circ E$ 之針路航行,橫切於磁針方位 NW 每時3浬速度之海流,午前十時測得某物標之眞方位為 $N40^\circ E$,十時三十分,又測該物標,得其眞方位為 $N5^\circ E$,設偏差為 $15^\circ W$,試求後測時與該物標之距離.

$$\alpha=75^\circ-40^\circ=35^\circ,$$

後測方位與船首尾線之交角 $=75^\circ-5^\circ=70^\circ$,

$$\theta=75^\circ+60^\circ=135^\circ,\quad D=8',\quad d=1'.5.$$

$$CX=8'-\frac{1'5\sin(135^\circ-35^\circ)}{\sin 35^\circ}=8'-\frac{1'5\sin 100^\circ}{\sin 35^\circ}$$

$=8'-2'.6=5.4$ 浬.

【例題二】　前題若流向為磁針方位 SE,其距離如何?

$$\theta=180^\circ-(75^\circ+60^\circ)=45^\circ$$

$$CX=8'+\frac{1'5\sin(45^\circ+35^\circ)}{\sin 35^\circ}=8'+\frac{1'.5\sin 80^\circ}{\sin 35^\circ}$$

$=8'+2'.6=10.6$ 浬.

(終)

表 例

變緯及東西距表

2½ points.

Dist.	Lat.	Dep.	Dist.	Lat	Dep	Dist.	Lat.	Dep.	Dist.	Lat.	Dep.	Dist.	Lat.	Dep.
1	00.9	00.5	61	53.8	28.8	121	106.7	57.0	181	159.6	85.3	241	212.5	113.6
2	01.8	00.9	62	54.7	29.2	122	107.6	57.5	182	160.5	85.8	242	213.4	114.1
3	02.6	01.4	63	55.6	29.7	123	108.5	58.0	183	161.4	86.3	243	214.3	114.6
4	03.5	01.9	64	56.4	30.2	124	109.4	58.4	184	162.3	86.7	244	215.2	115.0
5	04.4	02.4	65	57.3	30.6	125	110.2	58.9	185	163.2	87.2	245	216.1	115.5
6	05.3	02.8	66	58.2	31.1	126	111.1	59.4	186	164.0	87.7	246	217.0	116.0
7	06.2	03.3	67	59.1	31.6	127	112.0	59.9	187	164.9	88.1	247	217.8	116.4
8	07.1	03.8	68	60.2	32.1	128	112.9	60.3	188	165.8	88.6	248	218.7	116.9
9	07.9	04.2	69	60.9	32.5	129	113.8	60.8	189	166.7	89.1	249	219.6	117.4
10	08.8	04.7	70	61.7	33.0	130	114.7	61.3	190	167.6	89.6	250	220.5	117.8
11	09.7	05.2	71	62.6	33.5	131	115.5	61.7	191	168.5	90.0	251	221.4	118.3
12	10.6	05.7	72	63.5	33.9	132	116.4	62.2	192	169.3	90.5	252	222.2	118.8
13	11.5	06.1	73	64.4	34.4	133	117.3	62.7	193	170.2	91.0	253	223.1	119.3
14	12.3	06.6	74	65.3	34.9	134	118.2	63.2	194	171.1	91.4	254	224.0	119.7
15	13.2	07.1	75	66.1	35.4	135	119.1	63.6	195	172.0	91.9	255	224.9	120.2
16	14.1	07.5	76	67.0	35.8	136	119.9	64.1	196	172.9	92.4	256	225.8	120.7
17	15.0	08.0	77	67.9	36.3	137	120.8	64.6	197	173.7	92.9	257	226.7	121.1
18	15.9	08.5	78	68.8	36.8	138	121.7	65.0	198	174.6	93.3	258	227.5	121.6
19	16.8	09.0	79	69.7	37.2	139	122.6	65.5	199	175.5	93.8	259	228.4	122.1
20	17.6	09.4	80	70.6	37.7	140	123.5	66.0	200	176.4	94.3	260	229.3	122.6
21	18.5	09.9	81	71.4	38.2	141	124.4	66.5	201	177.3	94.7	261	230.2	123.0
22	19.4	10.4	82	72.3	38.6	142	125.2	66.9	202	178.2	95.2	262	231.1	123.5
23	20.3	10.8	83	73.2	39.1	143	126.1	67.4	203	179.0	95.7	263	231.9	124.0
24	21.2	11.3	84	74.1	39.6	144	127.0	67.9	204	179.9	96.2	264	232.8	124.4
25	22.1	11.8	85	75.0	40.1	145	127.9	68.3	205	180.8	96.6	265	233.7	124.9
26	22.9	12.3	86	75.9	40.5	146	128.8	68.8	206	181.7	97.1	266	234.6	125.4
27	23.8	12.7	87	76.7	41.0	147	129.6	69.3	207	182.6	97.6	267	235.5	125.9
28	24.7	13.2	88	77.6	41.5	148	130.5	69.8	208	183.4	93.0	268	236.4	125.3
29	25.6	13.7	89	78.5	41.9	149	131.4	70.2	209	184.3	98.5	269	237.2	126.8
30	26.5	14.1	90	79.4	42.4	150	132.3	70.7	210	185.2	99.0	270	238.1	127.3
31	27.3	14.6	91	80.3	42.9	151	133.2	71.2	211	186.1	99.5	271	239.0	127.7
32	28.2	15.1	92	81.1	43.4	152	134.1	71.6	212	187.0	99.9	272	239.9	128.2
33	29.1	15.6	93	82.0	43.8	153	134.9	72.1	213	187.8	100.4	273	240.8	128.7
34	30.0	16.0	94	82.9	44.3	154	135.8	72.6	214	188.7	100.9	274	241.7	129.2
35	30.9	16.5	95	83.8	44.8	155	135.7	73.1	215	189.6	101.3	275	242.5	129.6
36	31.8	17.0	96	84.7	45.2	156	137.6	73.5	216	190.5	101.8	276	243.4	130.1
37	32.9	17.4	97	85.6	45.7	157	138.5	74.0	217	191.4	102.3	277	244.3	130.6
38	33.5	17.9	98	86.4	46.2	158	139.3	74.5	218	192.3	102.8	278	245.2	131.0
39	34.4	18.4	99	87.3	46.7	159	140.2	74.9	219	193.1	103.2	279	246.1	131.5
40	35.3	18.9	100	88.2	47.1	160	141.1	75.4	220	194.0	103.7	280	246.9	132.0
41	36.2	19.3	101	89.1	47.6	161	142.0	75.9	221	194.9	104.2	281	247.8	132.5
42	37.0	19.8	102	90.0	48.1	162	142.9	76.4	222	195.8	104.6	282	248.7	132.9
43	37.9	20.3	103	90.8	48.5	163	143.8	76.8	223	196.7	105.1	283	249.6	133.4
44	38.8	20.7	104	91.7	49.0	164	144.6	77.3	224	197.6	105.6	284	250.5	133.9
45	39.7	21.2	105	92.6	49.5	165	145.5	77.8	225	198.4	106.1	285	251.4	134.3
46	40.6	21.7	106	93.5	50.0	166	146.4	78.2	226	199.3	106.5	286	252.2	134.8
47	41.5	22.2	107	94.4	50.4	167	147.3	78.7	227	200.2	107.0	287	253.1	135.3
48	42.3	22.6	108	95.3	50.9	168	148.2	79.2	228	201.1	107.5	288	254.0	135.8
49	43.2	23.1	109	96.1	51.4	169	149.0	79.7	229	202.0	107.9	289	254.9	136.2
50	44.1	23.6	110	97.0	51.8	170	149.9	80.1	230	202.8	108.4	290	255.8	136.7
51	45.0	24.0	111	97.9	52.3	171	150.8	80.6	231	203.7	108.9	291	256.6	137.2
52	45.9	24.5	112	98.8	52.8	172	151.7	81.1	232	204.6	109.4	292	257.5	137.6
53	46.7	25.0	113	99.7	53.3	173	152.6	81.5	233	205.5	109.8	293	258.4	138.1
54	47.6	25.5	114	100.5	53.7	174	153.5	82.0	234	206.4	110.3	294	259.3	138.6
55	48.5	25.9	115	101.4	54.2	175	154.3	82.5	235	207.3	110.8	295	260.2	139.1
56	49.4	26.4	116	102.3	54.7	176	155.2	83.0	236	208.1	111.2	296	261.1	139.5
57	50.3	26.9	117	103.2	55.1	177	156.1	83.4	237	209.0	111.7	297	261.9	140.0
58	51.2	27.3	118	104.1	55.6	178	157.0	83.9	238	209.9	112.2	298	262.8	140.5
59	52.0	27.8	119	105.0	56.1	179	157.9	84.4	239	210.8	112.7	299	263.7	140.9
60	52.9	28.3	120	105.8	56.6	180	158.8	84.8	240	211.7	113.1	300	264.6	141.4
Dist.	Dep.	Lat.	Dist.	Dep.	Lat.	Dist.	Dep.	Lat.	Dist.	Dep.	Lat.	Dist.	Dep.	Lat.

5½ points.

變緯及東西距表

2¾ points.

Dist.	Lat.	Dep.	Dist.	Lat.	Dep.	Dist.	Lat.	Dep.	Dist.	Lat.	Dep.	Dist.	Lat.	Dep.
1	00.9	00.5	61	52.3	31.4	121	103.8	62.2	181	155.3	93.0	241	206.7	123.9
2	01.7	01.0	62	53.2	31.9	122	104.6	62.7	182	156.1	93.6	242	207.6	124.4
3	02.6	01.5	63	54.0	32.4	123	105.5	63.2	183	157.0	94.1	243	208.4	124.9
4	03.4	02.1	64	54.9	32.9	124	106.4	63.7	184	157.8	94.6	244	209.3	125.4
5	04.3	02.6	65	55.8	33.4	125	107.2	64.3	185	158.7	95.1	245	210.1	125.9
6	05.1	03.1	66	56.6	33.9	126	108.1	64.8	186	159.5	95.6	246	211.0	126.5
7	06.0	03.6	67	57.5	34.4	127	108.9	65.3	187	160.4	96.1	247	211.9	127.0
8	06.9	04.1	68	58.3	35.0	128	109.8	65.8	188	161.2	95.6	248	212.7	127.5
9	07.7	04.6	69	59.2	35.5	129	110.6	66.3	189	162.1	97.2	249	213.6	128.0
10	08.6	05.1	70	60.0	36.0	130	111.5	66.8	190	163.0	97.7	250	214.4	128.5
11	09.4	05.7	71	60.9	36.5	131	112.4	67.3	191	163.8	98.2	251	215.3	129.0
12	10.3	06.2	72	61.8	37.0	132	113.2	67.9	192	164.7	98.7	252	216.1	129.5
13	11.2	06.7	73	62.6	37.5	133	114.1	68.4	193	165.5	99.2	253	217.0	130.1
14	12.0	07.2	74	63.5	38.0	134	114.9	68.9	194	166.4	99.7	254	217.9	130.6
15	12.9	07.7	75	64.3	38.6	135	115.8	69.4	195	167.3	100.2	255	218.7	131.1
16	13.7	08.2	76	65.2	39.1	136	116.6	69.9	196	163.1	100.8	256	219.6	131.6
17	14.6	08.7	77	66.0	39.6	137	117.5	70.4	197	169.0	101.3	257	220.4	132.1
18	15.4	09.3	78	66.9	40.1	138	118.4	70.9	198	169.8	101.8	258	221.3	132.6
19	16.3	09.8	79	67.8	40.6	139	119.2	71.5	199	170.7	102.3	259	222.2	133.1
20	17.2	10.3	80	68.6	41.1	140	120.1	72.0	200	171.5	102.8	260	223.0	133.7
21	18.0	10.8	81	69.5	41.6	141	120.9	72.5	201	172.4	103.3	261	223.9	134.2
22	18.9	11.3	82	70.3	42.1	142	121.8	73.0	202	173.3	103.8	262	224.7	134.7
23	19.7	11.8	83	71.2	42.7	143	122.7	73.5	203	174.1	104.4	263	225.6	135.2
24	20.6	12.3	84	72.0	43.2	144	123.5	74.0	204	175.0	104.9	264	226.4	135.7
25	21.4	12.9	85	72.9	43.7	145	124.4	74.5	205	175.8	105.4	265	227.3	136.2
26	22.3	13.4	86	73.8	44.2	146	125.2	75.1	206	176.7	105.9	266	228.2	136.7
27	23.2	13.9	87	74.6	44.7	147	126.1	75.6	207	177.5	106.4	267	229.0	137.3
28	24.0	14.4	88	75.5	45.2	148	126.9	76.1	208	178.4	106.9	268	229.9	137.8
29	24.9	14.9	89	76.3	45.7	149	127.8	76.6	209	179.3	107.4	269	230.7	138.3
30	25.7	15.4	90	77.2	46.3	150	128.7	77.1	210	180.1	108.0	270	231.6	138.8
31	26.6	15.9	91	78.1	46.8	151	129.5	77.6	211	181.0	108.5	271	232.4	139.3
32	27.4	16.5	92	78.9	47.3	152	130.4	78.1	212	181.8	109.0	272	233.3	139.8
33	28.3	17.0	93	79.8	47.8	153	131.2	78.7	213	182.7	109.5	273	234.2	140.3
34	29.2	17.5	94	80.6	48.3	154	132.1	79.2	214	183.5	110.0	274	235.0	140.9
35	30.0	18.0	95	81.5	48.8	155	132.9	79.7	215	184.4	110.5	275	235.9	141.4
36	30.9	18.5	96	82.3	49.3	156	133.8	80.2	216	185.3	111.0	276	236.7	141.9
37	31.7	19.0	97	83.2	49.9	157	134.7	80.7	217	186.1	111.6	277	237.6	142.4
38	32.6	19.5	98	84.1	50.4	158	135.5	81.2	218	187.0	112.1	278	238.4	142.9
39	33.5	20.1	99	84.9	50.9	159	136.4	81.7	219	187.8	112.6	279	239.3	143.4
40	34.3	20.6	100	85.8	51.4	160	137.2	82.3	220	188.7	113.1	280	240.2	143.9
41	35.2	21.1	101	86.6	51.9	161	138.1	82.8	221	189.6	113.6	281	241.0	144.5
42	36.0	21.6	102	87.5	52.4	162	138.9	83.3	222	190.4	114.1	282	241.9	145.0
43	36.9	22.1	103	88.3	52.9	163	139.8	83.8	223	191.3	114.6	283	242.7	145.5
44	37.7	22.6	104	89.2	53.5	164	140.7	84.3	224	192.1	115.2	284	243.6	146.0
45	38.6	23.1	105	90.1	54.0	165	141.5	84.8	225	193.0	115.7	285	244.4	146.5
46	39.5	23.6	106	90.9	54.5	166	142.4	85.3	226	193.8	116.2	286	245.3	147.0
47	40.3	24.2	107	91.8	55.0	167	143.2	85.8	227	194.7	116.7	287	246.2	147.5
48	41.2	24.7	108	92.6	55.5	168	144.1	86.4	228	195.6	117.2	288	247.0	148.1
49	42.0	25.2	109	93.5	56.0	169	145.0	86.9	229	196.4	117.7	289	247.9	148.6
50	42.9	25.7	110	94.3	56.5	170	145.8	87.4	230	197.3	118.2	290	248.7	149.1
51	43.7	26.2	111	95.2	57.1	171	146.7	87.9	231	198.1	118.8	291	249.6	149.6
52	44.6	26.7	112	96.1	57.6	172	147.5	88.4	232	199.0	119.3	292	250.5	150.1
53	45.5	27.2	113	96.9	58.1	173	148.4	88.9	233	199.8	119.3	293	251.3	150.6
54	46.3	27.8	114	97.8	58.6	174	149.2	89.4	234	200.7	120.3	294	252.2	151.1
55	47.2	28.3	115	98.6	59.1	175	150.1	90.0	235	201.6	120.8	295	253.0	151.7
56	48.0	28.8	116	99.5	59.6	176	151.0	90.5	236	202.4	121.3	296	253.9	152.2
57	48.9	29.3	117	100.4	60.1	177	151.8	91.0	237	203.3	121.8	297	254.7	152.7
58	49.7	29.8	118	101.2	60.7	178	152.7	91.5	238	204.1	122.4	298	255.6	153.2
59	50.6	30.3	119	102.1	61.2	179	153.5	92.0	239	205.0	122.9	299	256.5	153.7
60	51.5	30.8	120	102.9	61.7	180	154.4	92.5	240	205.9	123.4	300	257.3	154.2
Dist.	Dep.	Lat.	Dist.	Dep.	Lat.	Dist.	Dep.	Lat.	Dist.	Dep.	Lat.	Dist.	Dep.	Lat.

5¼ points.

變緯及東西距表

32°

Dist.	D.Lat.	Dep	Dist.	D.Lat.	Dep	Dist.	D.Lat	Dep	Dist	D.Lat.	Dep.	Dist.	D.Lat	Dep.
301	255.3	159.5	361	306.2	191.3	421	357.0	223.1	481	407.9	254.9	541	458.8	286.7
302	256.1	160.0	362	307.0	191.8	422	357.9	223.6	482	408.8	255.4	542	459.6	287.2
303	257.0	160.5	363	307.9	192.3	423	358.7	224.1	483	409.6	255.9	543	460.5	287.7
304	257.8	161.1	364	308.7	192.9	424	359.6	224.7	484	410.5	256.5	544	461.3	288.3
305	258.7	161.6	365	309.5	193.4	425	360.4	225.2	485	411.3	257.0	545	462.2	288.8
306	259.5	162.1	366	310.4	193.9	426	361.3	225.7	486	412.2	257.5	546	463.0	289.3
307	260.4	162.7	367	311.2	194.5	427	362.1	226.3	487	413.0	258.1	547	463.9	289.9
308	261.2	163.2	368	312.1	195.0	428	363.0	226.8	488	413.9	258.6	548	464.7	290.4
309	262.1	163.7	369	312.9	195.5	429	363.8	227.3	489	414.7	259.1	549	465.6	290.9
310	262.9	164.3	370	313.8	196.0	430	364.7	227.8	490	415.6	259.6	550	466.4	291.5
311	263.8	164.8	371	314.6	196.6	431	365.5	228.4	491	416.4	260.2	551	467.3	292.0
312	264.6	165.3	372	315.5	197.1	432	366.4	228.9	492	417.3	260.7	552	468.1	292.5
313	265.4	165.8	373	316.3	197.6	433	367.2	229.4	493	418.1	261.2	553	469.0	293.0
314	266.3	166.4	374	317.2	198.2	434	368.1	230.0	494	419.0	261.8	554	469.8	293.6
315	267.1	166.9	375	318.0	198.7	435	368.9	230.5	495	419.8	262.3	555	470.7	294.1
316	268.0	167.4	376	318.9	199.2	436	369.8	231.0	496	420.6	262.8	556	471.5	294.6
317	268.8	168.0	377	319.7	199.8	437	370.6	231.6	497	421.5	263.4	557	472.4	295.2
318	269.7	168.5	378	320.6	200.3	438	371.5	232.1	498	422.3	263.9	558	473.2	295.7
319	270.5	169.0	379	321.4	200.8	439	372.3	232.6	499	423.2	264.4	559	474.1	296.2
320	271.4	169.6	380	322.3	201.3	440	373.2	233.1	500	424.0	265.0	560	474.9	296.7
321	272.2	170.1	381	323.1	201.9	441	374.0	233.7	501	424.9	265.5	561	475.8	297.3
322	273.1	170.6	382	324.0	202.4	442	374.8	234.2	502	425.7	266.0	562	476.6	297.8
323	273.9	171.1	383	324.8	202.9	443	375.7	234.7	503	426.6	266.5	563	477.5	298.4
324	274.8	171.7	384	325.7	203.5	444	376.5	235.3	504	427.4	267.1	564	478.3	298.9
325	275.6	172.2	385	326.5	204.0	445	377.4	235.8	505	428.3	267.6	565	479.2	299.4
326	276.5	172.7	386	327.4	204.5	446	378.2	236.3	506	429.1	268.1	566	480.0	299.9
327	277.3	173.3	387	328.2	205.1	447	379.1	236.9	507	430.0	268.7	567	480.9	300.5
328	278.2	173.8	388	329.1	205.6	448	379.9	237.4	508	430.8	269.2	568	481.7	301.0
329	279.0	174.3	389	329.9	206.1	449	380.8	237.9	509	431.7	269.7	569	482.6	301.5
330	279.9	174.9	390	330.8	206.6	450	381.6	238.4	510	432.5	270.3	570	483.4	302.1
331	280.7	175.4	391	331.6	207.2	451	382.6	239.0	511	433.4	270.8	571	484.3	302.6
332	281.6	175.9	392	332.5	207.7	452	383.3	239.5	512	434.2	271.4	572	485.1	303.2
333	282.4	176.4	393	333.3	208.2	453	384.2	240.0	513	435.1	271.9	573	486.0	303.7
334	283.3	177.0	394	334.2	208.8	454	385.0	240.6	514	435.9	272.4	574	486.8	304.2
335	284.1	177.5	395	335.0	209.3	455	385.9	241.1	515	436.8	272.9	575	487.7	304.7
336	285.0	178.0	396	335.8	209.8	456	386.7	241.6	516	437.6	273.5	576	488.5	305.3
337	285.8	178.6	397	336.7	210.4	457	387.6	242.2	517	438.5	274.0	577	489.4	305.8
338	286.7	179.1	398	337.5	210.9	458	388.4	242.7	518	439.3	274.5	578	490.2	306.3
339	287.5	179.6	399	338.4	211.4	459	389.3	243.2	519	440.2	275.0	579	491.1	306.8
340	288.3	180.2	400	339.2	211.9	460	390.1	243.8	520	441.0	275.6	580	491.9	307.4
341	289.2	180.7	401	340.1	212.5	461	391.0	244.3	521	441.9	276.1	581	492.8	307.9
342	290.0	181.2	402	340.9	213.0	462	391.8	244.8	522	442.7	276.6	582	493.6	308.4
343	290.9	181.7	403	341.8	213.5	463	392.7	245.4	523	443.6	277.2	583	494.5	309.0
344	291.7	182.3	404	342.6	214.1	464	393.5	245.9	524	444.4	277.7	584	495.3	309.5
345	292.6	182.8	405	343.5	214.6	465	394.4	246.4	525	445.3	278.2	585	496.2	310.0
346	293.4	183.3	406	344.3	215.1	466	395.2	246.9	526	446.1	278.7	586	497.0	310.5
347	294.3	183.9	407	345.2	215.7	467	396.0	247.5	527	446.9	279.3	587	497.8	311.1
348	295.1	184.4	408	346.0	216.2	468	396.9	248.0	528	447.8	279.8	588	498.7	311.6
349	296.0	184.9	409	346.9	216.7	469	397.7	248.5	529	448.6	280.3	589	499.5	312.1
350	296.8	185.4	410	347.7	217.2	470	398.6	249.0	530	449.5	280.9	590	500.3	312.6
351	297.7	186.0	411	348.6	217.8	471	399.4	249.6	531	450.3	281.4	591	501.2	313.2
352	298.5	186.5	412	349.4	218.3	472	400.3	250.1	532	451.1	281.9	592	502.0	313.7
353	299.4	187.0	413	350.3	218.8	473	401.1	250.6	533	452.0	282.4	593	502.9	314.2
354	300.2	187.6	414	351.1	219.4	474	402.0	251.2	534	452.8	283.0	594	503.7	314.8
355	301.1	188.1	415	352.0	219.9	475	402.8	251.7	535	453.7	283.5	595	504.6	315.3
356	301.9	188.6	416	352.8	220.4	476	403.7	252.2	536	454.5	284.0	596	505.4	315.8
357	302.8	189.2	417	353.6	221.0	477	404.5	252.8	537	455.4	284.6	597	506.2	316.4
358	303.6	189.7	418	354.5	221.5	478	405.4	253.3	538	456.2	285.1	598	507.1	316.9
359	304.5	190.7	419	355.3	222.0	479	406.2	253.8	539	457.1	285.6	599	508.0	317.4
360	305.3	190.8	420	356.2	222.5	480	407.1	254.3	540	457.9	286.2	600	508.8	318.0
Dist.	Dep	D.Lat	Dist.	Dep	D.Lat	Dist.	Dep	D.Lat	Dist.	Dep.	D.Lat	Dist.	Dep.	D.Lat

58°

變緯及東西距表

33°

Dist.	D.Lat.	Dep.	Dist.	D.Lat.	Dep.	Dist.	D.Lat.	Dep.	Dist.	D.Lat.	Dep.	Dist.	D.Lat.	Dep.
1	00.8	00.5	61	51.2	33.2	121	101.5	65.9	181	151.8	98.6	241	202.1	131.3
2	01.7	01.1	62	52.0	33.8	122	102.3	66.4	182	152.6	99.1	242	203.0	131.8
3	02.5	01.6	63	52.8	34.3	123	103.2	67.0	183	153.5	99.7	243	203.8	132.3
4	03.4	02.2	64	53.7	34.9	124	104.0	67.5	184	154.3	100.2	244	204.6	132.9
5	04.2	02.7	65	54.5	35.4	125	104.8	68.1	185	155.2	100.8	245	205.5	133.4
6	05.0	03.3	66	55.4	35.9	126	105.7	68.6	186	156.0	101.3	246	206.3	134.0
7	05.9	03.8	67	56.2	36.5	127	106.5	69.2	187	156.8	101.8	247	207.2	134.5
8	06.7	04.4	68	57.0	37.0	128	107.3	69.7	188	157.7	102.4	248	208.0	135.1
9	07.5	04.9	69	57.9	37.6	129	108.2	70.3	189	158.5	102.9	249	208.8	135.6
10	08.4	05.4	70	58.7	38.1	130	109.0	70.8	190	159.3	103.5	250	209.7	136.2
11	09.2	06.0	71	59.5	38.7	131	109.9	71.3	191	160.2	104.0	251	210.5	136.7
12	10.1	06.5	72	60.4	39.2	132	110.7	71.9	192	161.0	104.6	252	211.3	137.2
13	10.9	07.1	73	61.2	39.8	133	111.5	72.4	193	161.9	105.1	253	212.2	137.8
14	11.7	07.6	74	62.1	40.3	134	112.4	73.0	194	162.7	105.7	254	213.0	138.3
15	12.6	08.2	75	62.9	40.8	135	113.2	73.5	195	163.5	106.2	255	213.9	138.9
16	13.4	08.7	76	63.7	41.4	136	114.1	74.1	196	164.4	106.7	256	214.7	139.4
17	14.3	09.3	77	64.6	41.9	137	114.9	74.6	197	165.2	107.3	257	215.5	140.0
18	15.1	09.8	78	65.4	42.5	138	115.7	75.2	198	166.1	107.8	258	216.4	140.5
19	15.9	10.3	79	66.3	43.0	139	116.6	75.7	199	166.9	108.4	259	217.2	141.1
20	16.8	10.9	80	67.1	43.6	140	117.4	76.2	200	167.7	108.9	260	218.1	141.6
21	17.6	11.4	81	67.9	44.1	141	118.3	76.8	201	168.6	109.5	261	218.9	142.2
22	18.5	12.0	82	68.8	44.7	142	119.1	77.3	202	169.4	110.0	262	219.7	142.7
23	19.3	12.5	83	69.6	45.2	143	119.9	77.9	203	170.3	110.6	263	220.6	143.2
24	20.1	13.1	84	70.4	45.7	144	120.8	78.4	204	171.1	111.1	264	221.4	143.8
25	21.0	13.6	85	71.3	46.3	145	121.6	79.0	205	171.9	111.7	265	222.2	144.3
26	21.8	14.2	86	72.1	46.8	146	122.4	79.5	206	172.8	112.2	266	223.1	144.9
27	22.6	14.7	87	73.0	47.4	147	123.3	80.1	207	173.6	112.7	267	223.9	145.4
28	23.5	15.2	88	73.8	47.9	148	124.1	80.6	208	174.4	113.3	268	224.8	146.0
29	24.3	15.8	89	74.6	48.5	149	125.0	81.2	209	175.3	113.8	269	225.6	146.5
30	25.2	16.3	90	75.5	49.0	150	125.8	81.7	210	176.1	114.4	270	226.4	147.1
31	26.0	16.9	91	76.3	49.6	151	126.6	82.2	211	177.0	114.9	271	227.3	147.6
32	26.8	17.4	92	77.2	50.1	152	127.5	82.8	212	177.8	115.5	272	228.1	148.1
33	27.7	18.0	93	78.0	50.7	153	128.3	83.3	213	178.6	116.0	273	229.0	148.7
34	28.5	18.5	94	78.8	51.2	154	129.2	83.9	214	179.5	116.6	274	229.8	149.2
35	29.4	19.1	95	79.7	51.7	155	130.0	84.4	215	180.3	117.1	275	230.6	149.8
36	30.2	19.6	96	80.5	52.3	156	130.8	85.0	216	181.2	117.6	276	231.5	150.3
37	31.0	20.2	97	81.4	52.8	157	131.7	85.5	217	182.0	118.2	277	232.3	150.9
38	31.9	20.7	98	82.2	53.4	158	132.5	86.1	218	182.8	118.7	278	233.2	151.4
39	32.7	21.2	99	83.0	53.9	159	133.3	86.6	219	183.7	119.3	279	234.0	152.0
40	33.5	21.8	100	83.9	54.5	160	134.2	87.1	220	184.5	119.8	280	234.8	152.5
41	34.4	22.3	101	84.7	55.0	161	135.0	87.7	221	185.3	120.4	281	235.7	153.0
42	35.2	22.9	102	85.5	55.6	162	135.9	88.2	222	186.2	120.9	282	236.5	153.6
43	36.1	23.4	103	86.4	56.1	163	136.7	88.8	223	187.0	121.5	283	237.3	154.1
44	36.9	24.0	104	87.2	56.6	164	137.5	89.3	224	187.9	122.0	284	238.2	154.7
45	37.7	24.5	105	88.1	57.2	165	138.4	89.9	225	188.7	122.5	285	239.0	155.2
46	38.6	25.1	106	88.9	57.7	166	139.2	90.4	226	189.5	123.1	286	239.9	155.8
47	39.4	25.6	107	89.7	58.3	167	140.1	91.0	227	190.4	123.6	287	240.7	156.3
48	40.3	26.1	108	90.6	58.8	168	140.9	91.5	228	191.2	124.2	288	241.5	156.9
49	41.1	26.7	109	91.4	59.4	169	141.7	92.0	229	192.1	124.7	289	242.4	157.4
50	41.9	27.2	110	92.3	59.9	170	142.6	92.6	230	192.9	125.3	290	243.2	157.9
51	42.8	27.8	111	93.1	60.5	171	143.4	93.1	231	193.7	125.8	291	244.1	158.5
52	43.6	28.3	112	93.9	61.0	172	144.3	93.7	232	194.6	126.4	292	244.9	159.0
53	44.4	28.9	113	94.8	61.5	173	145.1	94.2	233	195.4	126.9	293	245.7	159.6
54	45.3	29.4	114	95.6	62.1	174	145.9	94.8	234	196.2	127.4	294	246.6	160.1
55	46.1	30.0	115	96.4	62.6	175	146.8	95.3	235	197.1	128.0	295	247.4	160.7
56	47.0	30.5	116	97.3	63.2	176	147.6	95.9	236	197.9	128.5	296	248.2	161.2
57	47.8	31.0	117	98.1	63.7	177	148.4	96.4	237	198.8	129.1	297	249.1	161.8
58	48.6	31.6	118	99.0	64.3	178	149.3	96.9	238	199.6	129.6	298	249.9	162.3
59	49.5	32.1	119	99.8	64.8	179	150.1	97.5	239	200.4	130.2	299	250.8	162.8
60	50.3	32.7	120	100.6	65.4	180	151.0	98.0	240	201.3	130.7	300	251.6	163.4
Dist.	Dep.	D.Lat.	Dist.	Dep.	D.Lat.	Dist.	Dep.	D.Lat.	Dist.	Dep.	D.Lat.	Dist.	Dep.	D.Lat.

57°

平均中分緯度改正表

Mid. Lat.	變緯																		
	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°
°	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′
15	0 0	0 2	0 3	0 4	0 6	0 9	012	015	019	023	027	031	035	040	045	051	058	1 6	114
17	0 0	0 2	0 3	0 4	0 6	0 8	011	014	017	021	025	028	032	037	042	048	054	1 1	1 8
19	0 0	0 2	0 3	0 4	0 6	0 8	010	013	016	019	023	026	030	035	039	045	050	056	1 3
21	0 0	0 2	0 3	0 4	0 6	0 7	0 9	012	015	018	021	025	029	033	037	042	047	053	058
23	0 0	0 2	0 3	0 4	0 6	0 7	0 9	012	015	017	020	024	028	032	036	040	045	050	055
25	0 0	0 2	0 3	0 4	0 5	0 7	0 9	011	014	016	019	023	027	031	035	039	043	047	052
27	0 0	0 2	0 3	0 4	0 5	0 7	1 8	011	014	016	019	022	026	030	033	038	042	046	051
29	0 0	0 2	0 3	0 4	0 5	0 6	0 8	010	013	015	018	022	025	029	032	037	041	045	050
31	0 0	0 2	0 3	0 4	0 5	0 6	0 8	010	013	015	018	021	025	028	032	036	041	045	050
33	0 0	0 2	0 3	0 4	0 5	0 6	0 8	010	013	015	018	021	024	027	031	035	040	044	049
35	0 0	0 2	0 3	0 4	0 5	0 6	0 8	010	013	015	018	021	024	027	031	035	040	044	049
37	0 0	0 2	0 3	0 4	0 5	0 6	0 8	010	013	015	018	021	024	027	031	035	040	044	049
39	0 0	0 2	0 3	0 4	0 5	0 6	0 8	010	013	015	018	022	025	028	032	036	041	045	050
41	0 0	0 2	0 3	0 4	0 5	0 6	0 8	010	013	015	018	022	025	029	033	037	041	045	050
43	0 0	0 2	0 3	0 4	0 5	0 7	0 9	011	014	016	019	023	026	030	034	038	042	046	051
45	0 1	0 2	0 3	0 4	0 5	0 7	0 9	011	014	016	019	023	027	031	035	039	043	047	052
47	0 1	0 2	0 3	0 4	0 5	0 7	0 9	011	014	016	020	023	027	031	035	040	044	049	054
49	0 1	0 2	0 3	0 4	0 5	0 7	0 9	011	014	017	021	024	028	032	036	041	045	051	057
51	0 1	0 2	0 3	0 4	0 5	0 7	0 9	012	015	017	021	024	028	032	037	042	047	053	059
53	0 1	0 2	0 3	0 4	0 6	0 7	0 9	012	015	018	022	025	029	033	038	043	049	055	1 1
55	0 1	0 2	0 3	0 4	0 6	0 8	010	013	016	019	023	026	030	035	040	045	051	057	1 3
57	0 1	0 2	0 3	0 4	0 6	0 8	010	014	017	020	024	028	032	037	042	048	054	1 0	1 6
59	1 1	0 2	0 3	0 4	0 6	0 8	011	015	018	022	026	030	034	039	045	051	057	1 4	110
61	0 1	0 2	0 3	0 5	0 7	0 9	012	015	019	023	027	031	036	041	048	054	1 1	1 8	115
63	0 1	0 2	0 4	0 5	0 7	0 9	013	016	020	024	029	033	039	044	051	058	1 5	112	121
65	0 1	0 2	0 4	0 6	0 8	010	014	017	021	[illegible]	030	035	042	048	055	1 2	1 9	118	127
67	0 1	0 2	0 4	0 6	0 8	011	015	018	023	027	033	038	045	053	1 0	1 7	116	125	134
69	0 1	0 2	0 5	0 6	0 9	012	016	020	025	030	036	042	050	058	1 5	114	123	134	144
71	0 1	0 3	0 6	0 7	0 9	013	018	022	027	033	040	046	055	1 3	112	122	132	144	157
72	0 1	0 3	0 6	0 8	010	014	119	023	029	035	042	049	058	1 6	116	127	138	150	2 4

漸長緯度表

Lat.	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	
0′ 0″	1289.20	1353.69	1418.63	1484.06	1549.99	1616.47	1683.52	1751.16	1819.44	1888.38	0′ 0″
0 20	1289.56	1354.05	1418.99	1484.42	1550.36	1616.84	1683.89	1751.54	1819.82	1888.76	0 20
0 40	1289.92	1354.41	1419.35	1484.78	1550.73	1617.21	1684.26	1751.92	1820.20	1889.14	0 40
1 0	1290.27	1354.76	1419.72	1485.15	1551.10	1617.58	1684.64	1752.29	1820.58	1889.53	1 0
1 20	1290.63	1355.12	1420.08	1485.51	1551.47	1617.95	1685.01	1752.67	1820.96	1889.92	1 20
1 40	1290.99	1355.48	1420.44	1485.87	1551.84	1618.32	1685.38	1753.05	1821.34	1890.31	1 40
2 0	1291.34	1355.84	1420.80	1486.25	1552.20	1618.70	1685.76	1753.43	1821.72	1890.69	2 0
2 20	1291.70	1356.20	1421.16	1486.61	1552.57	1619.07	1686.13	1753.81	1822.10	1891.07	2 20
2 40	1292.06	1356.56	1421.52	1486.97	1552.94	1619.44	1686.50	1754.19	1822.48	1891.44	2 40
3 0	1292.41	1356.92	1421.89	1487.34	1553.31	1619.81	1686.88	1754.56	1822.87	1891.84	3 0
3 20	1292.77	1357.28	1422.25	1487.71	1553.68	1620.18	1687.25	1754.94	1823.25	1892.23	3 20
3 40	1293.13	1357.64	1422.61	1488.08	1554.05	1620.55	1687.62	1755.32	1823.63	1892.62	3 40
4 0	1293.48	1358.00	1422.98	1488.44	1554.41	1620.92	1688.01	1755.69	1824.01	1893.00	4 0
4 20	1293.84	1358.36	1423.34	1488.80	1554.78	1621.29	1688.38	1756.07	1824.39	1893.38	4 20
4 40	1294.20	1358.72	1423.70	1489.16	1555.15	1621.66	1688.75	1756.45	1824.77	1893.76	4 40
5 0	1294.55	1359.08	1424.06	1489.53	1555.51	1622.04	1689.13	1756.83	1825.16	1894.15	5 0
5 20	1294.91	1359.44	1424.43	1489.89	1555.88	1622.41	1689.50	1757.21	1825.54	1894.54	5 20
5 40	1295.27	1359.80	1424.79	1490.25	1556.25	1622.78	1689.87	1757.59	1825.92	1894.93	5 40
6 0	1295.63	1360.16	1425.15	1490.63	1556.62	1623.15	1690.25	1757.96	1826.30	1895.31	6 0
6 20	1295.99	1360.52	1425.51	1490.99	1556.99	1623.52	1690.62	1758.34	1826.68	1895.69	6 20
6 40	1295.35	1360.88	1425.87	1491.35	1557.35	1623.89	1690.99	1758.72	1827.06	1896.07	6 40
7 0	1296.70	1361.24	1426.24	1491.72	1557.72	1624.26	1691.38	1759.09	1827.44	1896.46	7 0
7 20	1297.06	1361.60	1426.60	1492.09	1558.09	1624.63	1691.75	1759.47	1827.82	1896.83	7 20
7 40	1297.42	1361.96	1426.96	1492.45	1558.46	1625.00	1692.12	1759.85	1828.20	1897.22	7 40
8 0	1297.77	1362.32	1427.32	1492.82	1558.83	1625.38	1692.50	1760.23	1828.59	1897.62	8 0
8 20	1298.13	1362.68	1427.68	1493.18	1559.20	1625.75	1692.87	1760.61	1828.97	1898.01	8 20
8 40	1298.49	1363.04	1428.04	1493.54	1559.57	1626.12	1693.24	1760.99	1829.45	1898.40	8 40
9 0	1298.84	1363.40	1428.41	1493.91	1559.93	1626.49	1693.62	1761.36	1829.73	1898.78	9 0
9 20	1299.20	1363.76	1428.77	1494.27	1560.30	1626.86	1694.00	1761.77	1830.11	1899.16	9 20
9 40	1299.56	1364.12	1429.13	1494.63	1560.67	1627.23	1694.38	1762.12	1830.49	1899.54	9 40
10 0	1299.91	1364.48	1429.50	1495.01	1561.04	1627.61	1694.75	1762.50	1830.88	1899.93	10 0
10 20	1300.27	1364.84	1429.86	1495.38	1561.41	1627.98	1695.12	1762.88	1831.26	1900.32	10 20
10 40	1300.63	1365.20	1430.22	1495.75	1561.78	1628.35	1695.49	1763.26	1831.64	1900.71	10 40
11 0	1300.99	1365.56	1430.59	1496.11	1562.14	1628.72	1695.87	1763.63	1832.02	1901.09	11 0
11 20	1301.35	1365.92	1430.95	1496.47	1562.51	1629.09	1696.25	1764.01	1832.40	1901.48	11 20
11 40	1301.71	1366.28	1431.31	1496.83	1562.88	1629.46	1696.63	1764.39	1832.78	1901.87	11 40
12 0	1302.06	1366.64	1431.68	1497.20	1563.25	1629.84	1697.00	1764.77	1833.17	1902.25	12 0
12 20	1302.42	1367.00	1432.04	1497.57	1563.62	1630.21	1697.37	1765.15	1833.55	1902.63	12 20
12 40	1302.78	1367.36	1432.40	1497.94	1563.99	1630.58	1697.74	1765.53	1833.93	1903.01	12 40
13 0	1303.13	1367.72	1432.76	1498.30	1564.35	1630.95	1698.12	1765.90	1834.32	1903.40	13 0
13 20	1303.49	1368.08	1433.12	1498.66	1564.72	1631.32	1698.50	1766.28	1834.70	1903.79	13 20
13 40	1303.85	1368.44	1433.48	1499.02	1565.09	1631.69	1698.88	1766.66	1835.08	1904.18	13 40
14 0	1304.20	1368.80	1433.85	1499.40	1565.46	1632.06	1699.25	1767.04	1835.46	1904.56	14 0
14 20	1304.56	1369.16	1434.21	1599.76	1565.83	1632.43	1699.62	1767.42	1835.84	1904.95	14 20
14 40	1304.92	1369.52	1434.57	1500.12	1566.20	1632.80	1699.99	1767.80	1836.22	1905.34	14 40
15 0	1305.28	1369.88	1434.94	1500.49	1566.56	1633.18	1700.37	1768.17	1836.61	1905.72	15 0
15 20	1305.64	1370.24	1435.30	1500.85	1566.93	1633.55	1700.75	1768.55	1836.99	1906.11	15 20
15 40	1306.00	1370.60	1435.66	1501.22	1567.30	1633.92	1701.13	1768.93	1837.37	1906.50	15 40
16 0	1306.35	1370.96	1436.03	1501.59	1567.67	1634.29	1701.50	1769.31	1837.75	1906.88	16 0
16 20	1306.71	1371.32	1436.39	1501.96	1568.04	1634.66	1701.87	1769.69	1838.13	1907.26	16 20
16 40	1307.07	1371.68	1436.75	1502.33	1568.41	1635.03	1702.24	1770.07	1838.51	1907.64	16 40
17 0	1307.42	1372.04	1437.12	1502.69	1568.77	1635.41	1702.62	1770.44	1838.90	1908.03	17 0
17 20	1307.78	1372.40	1437.48	1503.05	1569.14	1635.78	1703.00	1770.82	1839.28	1908.42	17 20
17 40	1308.16	1372.76	1437.84	1503.41	1569.51	1636.15	1703.38	1771.20	1839.66	1908.81	17 40
18 0	1308.50	1373.12	1438.21	1503.78	1569.88	1636.52	1703.75	1771.58	1840.05	1909.19	18 0
18 20	1308.86	1373.48	1438.57	1504.15	1570.25	1636.89	1704.12	1771.96	1840.43	1909.58	18 20
18 40	1309.22	1373.84	1438.95	1504.52	1570.62	1637.26	1704.49	1772.34	1840.81	1909.97	18 40
19 0	1309.57	1374.20	1439.29	1504.88	1570.99	1637.64	1704.87	1772.71	1841.19	1910.35	19 0
19 20	1309.93	1374.56	1439.65	1505.25	1571.36	1638.01	1705.24	1773.09	1841.57	1910.74	19 20
19 40	1310.29	1374.92	1440.01	1505.62	1571.73	1638.38	1705.61	1773.47	1841.95	1911.13	19 40
20 0	1310.64	1375.28	1440.38	1505.98	1572.09	1638.76	1706.00	1773.85	1842.34	1911.51	20 0
Lat.	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	

漸 長 緯 度 表

Lat.	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	
20′ 0″	1310.64	1375.28	1440.38	1505.98	1572.09	1638.76	1706.00	1773.85	1842.34	1911.51	20′ 0″
20 20	1311.00	1375.64	1440.74	1506.35	1572.46	1639.13	1706.37	1774.23	1842.72	1911.90	20 20
20 40	1311.36	1376.00	1441.10	1506.72	1572.83	1639.50	1706.74	1774.61	1843.10	1912.29	20 40
21 0	1311.72	1376.36	1441.47	1507.08	1573.20	1639.87	1707.12	1774.98	1843.49	1912.69	21 0
21 20	1312.08	1376.72	1441.83	1507.44	1573.57	1640.24	1707.50	1775.36	1843.87	1913.06	21 20
21 40	1312.44	1377.08	1442.19	1507.80	1573.94	1640.61	1707.88	1775.74	1844.25	1913.45	21 40
22 0	1312.79	1377.44	1442.56	1508.17	1574.31	1640.99	1708.25	1776.12	1844.64	1913.83	22 0
22 20	1313.15	1377.80	1442.92	1508.54	1574.68	1641.36	1708.62	1776.50	1845.02	1914.21	22 20
22 40	1313.51	1378.16	1443.28	1508.91	1575.05	1641.73	1708.99	1776.88	1845.40	1914.59	22 40
23 0	1313.86	1378.52	1443.65	1509.27	1575.41	1642.10	1709.37	1777.26	1845.78	1914.98	23 0
23 20	1314.22	1378.88	1444.01	1509.64	1575.78	1642.47	1709.75	1777.64	1846.16	1915.37	23 20
23 40	1314.58	1379.24	1444.37	1510.01	1576.15	1642.84	1710.13	1778.02	1846.54	1915.76	23 40
24 0	1314.94	1379.61	1444.74	1510.37	1576.52	1643.22	1710.50	1778.39	1846.93	1916.14	24 0
24 20	1315.30	1379.97	1445.10	1510.74	1576.89	1643.59	1710.88	1778.77	1847.31	1916.53	24 20
24 40	1315.66	1380.33	1445.46	1511.11	1577.26	1643.96	1711.25	1779.15	1847.69	1916.92	24 40
25 0	1316.01	1380.69	1445.83	1511.47	1577.62	1644.34	1711.63	1779.53	1848.08	1917.30	25 0
25 20	1316.37	1381.05	1446.19	1511.84	1578.00	1644.71	1712.00	1779.91	1848.46	1917.69	25 20
25 40	1316.73	1381.41	1446.55	1512.21	1578.37	1645.08	1712.37	1780.29	1848.84	1918.08	25 40
26 0	1317.08	1381.77	1446.92	1512.57	1578.73	1645.45	1712.75	1780.67	1849.23	1918.46	26 0
26 20	1317.44	1382.13	1447.28	1512.94	1579.10	1645.82	1713.13	1781.05	1849.61	1918.85	26 20
26 40	1317.80	1382.49	1447.64	1513.31	1579.47	1646.19	1713.51	1781.43	1849.99	1919.24	26 40
27 0	1318.16	1382.85	1448.01	1513.67	1579.84	1646.57	1713.88	1781.81	1850.37	1919.62	27 0
27 20	1318.52	1383.21	1448.37	1514.03	1580.21	1646.94	1714.26	1782.19	1850.75	1920.01	27 20
27 40	1318.88	1383.57	1448.73	1514.39	1580.58	1647.31	1714.64	1782.57	1851.13	1920.40	27 40
28 0	1319.23	1383.93	1449.10	1514.76	1580.95	1647.69	1715.01	1782.94	1851.52	1920.78	28 0
28 20	1319.59	1384.29	1449.46	1515.13	1581.32	1648.06	1715.39	1783.32	1851.90	1921.17	28 20
28 40	1319.95	1384.65	1449.82	1515.50	1581.69	1648.43	1715.77	1783.70	1852.28	1921.56	28 40
29 0	1320.31	1385.02	1450.19	1515.86	1582.06	1648.80	1716.14	1784.08	1852.67	1921.94	29 0
29 20	1320.67	1385.38	1450.55	1516.23	1582.43	1649.17	1716.51	1784.46	1853.05	1922.33	29 20
29 40	1321.03	1385.74	1450.91	1516.60	1582.80	1649.54	1716.88	1784.84	1853.43	1922.72	29 40
30 0	1321.38	1386.10	1451.28	1516.96	1583.17	1649.92	1717.26	1785.22	1853.82	1923.10	30 0
30 20	1321.74	1386.46	1451.64	1517.33	1583.54	1650.29	1717.64	1785.60	1854.20	1923.49	30 20
30 40	1322.10	1386.82	1452.00	1517.70	1583.91	1650.66	1718.02	1785.98	1854.58	1923.88	30 40
31 0	1322.45	1387.18	1452.37	1518.06	1584.27	1651.04	1718.39	1786.36	1854.97	1924.26	31 0
31 20	1322.81	1387.54	1452.73	1518.43	1584.64	1651.41	1718.77	1786.74	1855.35	1924.65	31 20
31 40	1323.17	1387.90	1453.09	1518.80	1585.01	1651.78	1719.15	1787.12	1855.73	1925.04	31 40
32 0	1323.53	1388.26	1453.46	1519.16	1585.38	1652.16	1719.52	1787.50	1856.12	1925.43	32 0
32 20	1323.89	1388.62	1453.82	1519.53	1585.75	1652.53	1719.90	1787.88	1856.50	1925.82	32 20
32 40	1324.25	1388.98	1454.18	1519.90	1586.12	1652.90	1720.28	1788.26	1856.88	1926.21	32 40
33 0	1324.60	1389.35	1454.55	1520.26	1586.49	1653.27	1720.65	1788.63	1857.27	1926.59	33 0
33 20	1324.96	1389.71	1454.91	1520.63	1586.86	1653.64	1721.03	1789.01	1857.65	1926.98	33 20
33 40	1325.32	1390.07	1455.27	1521.00	1587.23	1654.01	1721.41	1789.39	1858.03	1927.37	33 40
34 0	1325.68	1390.43	1455.64	1521.36	1587.60	1654.39	1721.77	1789.77	1858.42	1927.75	34 0
34 20	1326.04	1390.79	1456.00	1521.73	1587.97	1654.76	1722.15	1790.15	1858.80	1928.14	34 20
34 40	1326.40	1391.15	1456.36	1522.10	1588.34	1655.13	1722.53	1790.53	1859.18	1928.53	34 40
35 0	1326.75	1391.51	1456.73	1522.46	1588.71	1655.51	1722.90	1790.91	1859.57	1928.91	35 0
35 20	1327.11	1391.87	1457.09	1522.83	1589.08	1655.88	1723.28	1791.29	1859.95	1929.30	35 20
35 40	1327.47	1392.23	1457.45	1523.20	1589.45	1656.25	1723.66	1791.67	1860.33	1929.69	35 40
36 0	1327.83	1392.59	1457.83	1523.56	1589.82	1656.63	1724.03	1792.05	1860.72	1930.07	36 0
36 20	1328.19	1392.95	1458.19	1523.93	1590.19	1657.00	1724.40	1792.43	1861.10	1930.46	36 20
36 40	1328.55	1393.31	1458.55	1524.30	1590.56	1657.37	1724.77	1792.81	1861.48	1930.85	36 40
37 0	1328.90	1393.68	1458.92	1524.66	1590.92	1657.75	1725.16	1793.19	1861.87	1931.23	37 0
37 20	1329.26	1394.04	1459.28	1525.03	1591.29	1658.12	1725.54	1793.57	1862.25	1931.62	37 20
37 40	1329.62	1394.40	1459.64	1525.40	1591.66	1658.49	1725.92	1793.95	1862.63	1932.01	37 40
38 0	1329.98	1394.76	1460.01	1525.76	1592.03	1658.87	1726.29	1794.33	1863.02	1932.40	38 0
38 20	1330.34	1395.12	1460.37	1526.13	1592.40	1659.24	1726.67	1794.71	1863.40	1932.79	38 20
38 40	1330.70	1395.48	1460.73	1526.50	1592.77	1659.61	1727.05	1795.09	1863.78	1933.18	38 40
39 0	1331.06	1395.84	1461.10	1526.86	1593.14	1659.98	1727.42	1795.47	1864.17	1933.56	39 0
39 20	1331.42	1396.20	1461.46	1527.23	1593.51	1660.35	1727.79	1795.85	1864.55	1933.95	39 20
39 40	1331.78	1396.56	1461.82	1527.60	1593.88	1660.72	1728.16	1796.23	1864.93	1934.34	39 40
40 0	1332.13	1396.93	1462.19	1527.96	1594.25	1661.10	1728.54	1796.61	1865.32	1934.72	40 0
Lat.	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	

民國三十三年十一月發行
民國三十七年五月再版

地文航海術（全一冊）

定價國幣六元八角
（郵運匯費另加）

著者　蔣鳳翥

發行人　中華書局股份有限公司代表　李虞杰

印刷者　中華書局永寧印刷廠　上海澳門路八九號

發行處　各埠中華書局

（一二七二八）（天）