

实用天文测量学

张树森著

實用天文測量學

張樹森著

中國科學圖書儀器公司

出版

序

昔日余在前中大教授大地測量時，對於天文觀測，學者不易了解，每感扞格不入，故於大地測量學中特闢專編，詳述原理與測法，學者稱便。抗日軍興，版毀於火，存書盡失，不及與學者見面十有餘年。余任教之大及浙大時，祇得仍用西籍。而天文測量則摘自原書，印成講義，授之學者。解放後部定加授實用天文學，余乃重整舊稿，用作教本。兩年試用，幾經精簡，以期適合於部定之標準，頗切實用，名曰實用天文測量學。本書先述天文測量應用之原理，定義及坐標以及各種時間之變化。次述經緯度，方位角，及時之測法。理論務求簡明，測法重在實用，舉例切合實際，使學者易於了解。凡學天文測量者須先習球面三角，特闢專編附於其後，每章均附習題，以便練習。惟自揣學識譾陋，錯誤難免，尚祈傾學鴻儒教而正之。本書插圖均承蔣協中君整繪，並此誌謝。

張樹森誌於浙江大學 1951-8-15

目 錄

第一章 緒 論

1. 實用天文測量學.....	1	5. 地球旋轉及四時之分.....	3
2. 天球.....	1	6. 太陽之視位.....	4
3. 天球視動.....	2	7. 歲差及章動差.....	5
東西之分.....	2	8. 光行差.....	7

第二章 定義及坐標

1. 定義.....	9	7. 天極高度與觀測點緯度之 關係.....	16
2. 球面坐標.....	11	8. 子午圈上點之高度及赤緯 與觀測點緯度之關係.....	19
3. 地平制.....	12	9. 天文三角形.....	20
4. 赤道制.....	12	10. 赤經與時角之關係.....	25
5. 黃道制.....	15	習題.....	26
6. 觀測點之坐標.....	16		

第三章 時

1. 時之種類.....	28	9. 標準時.....	32
2. 恒星時.....	28	10. 恒星時赤經與時角之關係.....	34
3. 視太陽時.....	28	11. 平時間與恒星時間之關係.....	35
4. 平太陽時.....	29	12. 平時與恒星時之關係.....	37
5. 時差.....	29	13. 天文曆書.....	41
6. 平時與視時之變化.....	30	14. 間插法.....	41
7. 地方時.....	30	15. 重間插法.....	44
8. 經度與時之關係.....	31	習題.....	45

第四章 觀測之改正

1. 地球之形狀	46	5. 半徑	50
2. 緯度種類	46	6. 海平面之俯角	50
3. 視差	47	7. 儀器差誤	52
4. 蒙氣差	49	習題	53

第五章 星 座

1. 星座	54	4. 近赤道之星座	55
2. 星之等級	54	5. 行星	56
3. 繞極星座	54		

第六章 儀 器

1. 經緯儀	57	4. 記時儀	61
2. 天文經緯儀	57	5. 天頂儀	62
3. 時計	59	6. 太陽儀	64

第七章 緯 度 測 法

1. 北極星在中天時	63	5. 隨時觀測北極星	72
2. 太陽在中天時	67	6. 天頂儀之測法	75
3. 南方星在中天時	69	7. 海平面之改正	75
4. 日星近子午圈時	69	習題	76

第八章 時 之 測 法

1. 星在中天時	77	9. 太陽在中天時	83
2. 天文經緯儀之測法	78	10. 觀測太陽高度	85
3. 水準改正	79	11. 觀測星之高度	88
4. 視線改正	80	12. 星在北極星之垂直圈時	89
5. 方位角改正	81	13. 觀測等高度之一星	93
6. 光行差	82	14. 觀測等高度之二星	93
7. 速率改正	83	習題	96
8. 星之選擇	83		

第九章 經度測法

1. 時計之比較	97	3. 時號法	98
2. 電報法	97	4. 月在中天時	98

第十章 方位角測法

1. 觀測標號	101	9. 觀測等高度之一星	118
2. 北極星在最大離角時	101	10. 觀測等高度之太陽	118
3. 觀測太陽高度	105	11. 太陽近中天時	120
4. 觀測星之高度	109	12. 太陽在中天時	121
5. 隨時觀測北極星	110	13. 太陽儀定子午線	122
6. 曲度改正	115	14. 太陽儀測緯度	124
7. 水準改正	117	15. 海平面之改正	125
8. 光行差	117	習題	125

附 編

球面三角法

第一章 直角三角形

1. 定義及性質	127	6. 奈比爾法則	131
2. 極三角形	128	7. 角與邊大小之關係	133
3. 直角三角形	129	8. 等腰三角形及象限三角形	134
4. 角與邊之關係	129	9. 解直角三角形	135
5. 重要公式	131	習題	136

第二章 斜角三角形

1. 正弦定理	138	5. 奈比爾相似式	143
2. 餘弦定理(兩邊及夾角)	138	6. 球面三角形之面積	144
3. 餘弦定理(兩角及夾邊)	140	7. 解斜角三角形	145
4. 半角公式	140	習題	147

附 錄

表一	化恒星時爲平時.....	149	表六	$m = \frac{2 \sin^2 \frac{\delta}{2}}{\sin 1''}$ 之值	158
表二	化平時爲恒星時.....	150	表七	中天時觀測改正之因數	162
表三	(A)視差 (B)半徑 (C)俯角	151	表八	周日光行差.....	163
表四	平均蒙氣差.....	152	表九	赤緯之蒙氣差改正值 (太陽儀測量用).....	164
表五	觀測日星近子午圈之高 度以求緯度.....	153			
中英名詞對照表.....					167-169

第一章

緒論

1. 實用天文測量學 實用天文測量學乃敘述儀器之用法與測法，以及觀測所得之算法。其重要之目的為定地球上各點及直線之位置，是為定經緯度及方位角。其測法僅測日月星體之方向及位置，至於日月星體之遠近與性質及真實之轉動非所詳也。

2. 天球 天球者乃空幻之圓球，球心為觀測者之眼，半徑為無限之距離，各星體之位置則假定處於天球之表面。天球上各星體之

位置為人眼與該星體之幻線，或延長此線與天球

相交處是也。如圖 1-1，

$S_1', S_2', S_3', S_4', S_5', S'$ ，為

天球， S_1 之在天球上之位置為 S_1' ； S_2, S_3, S_4, S_5, S ，

為 $S_2', S_3', S_4', S_5', S'$ 。於是各星體之角距及平面

所夾之角度均可依球面

三角公式解之，蓋星體距

地球極遠，人眼所見似乎同在一球面也。然觀測者所處地位不同，

則天球亦異；但地上之距離與諸星離地球之距離之比，則渺乎其小，

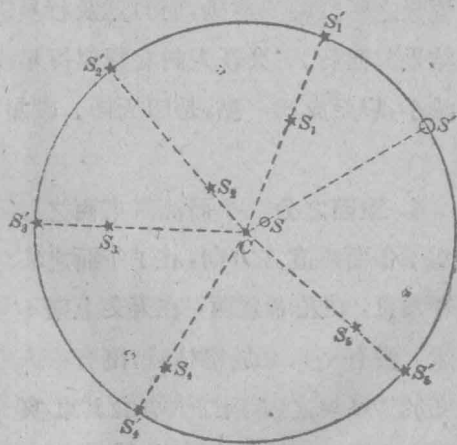


圖 1-1

無關於計算。若太陽系之直徑假定爲一里，其最近之星約爲五千里；至於地球直徑與太陽系直徑爲 12,700 公里與 9,000,000,000 公里之比，約爲七十萬分之一。

3. 天球視動 吾人仰觀天象，衆星東升西降，天球則自東向西轉動，實則地球之旋轉也。設吾人處身天球之外，自北向南觀望，將見地球與諸行星繞日而行，其方向爲自西向東。地球每日依其軸旋轉一周（自西向東），月球則繞地球旋轉，與地球同其方向，由是吾人處於地球之上，則見天球領衆星與日月每日依地球軸旋轉一周，其方向爲自東向西，是曰視動。諸星之移動遲緩，須經長久觀察始覺其移動者曰恆星，其移動速者曰行星。太陽向東行，每日約一度，一年繞地球一週；月球則移動較速，陰曆一月繞地球一週。太陽及恆星之轉動純爲視動，而月球及行星之轉動合乎真動及視動，故其結果向西行。又吾人向北觀望恆星視動之徑爲圓形，其圓徑逐漸減小，以至成爲一點，是曰天極。設星處於天極，則不復有移動。

4. 東西之分 平面測量東西之分爲子午面垂直之方向，在子午面之右者爲東，在左者爲西，在天文上則不然。設有一人立於格林威，復有一人立於 180 度之處，則二人各在其東，實則二人各指天空之相反方向。如圖 1-2，矢頭所指均爲各該處之東，故東西云者乃示旋轉之方向耳。於是

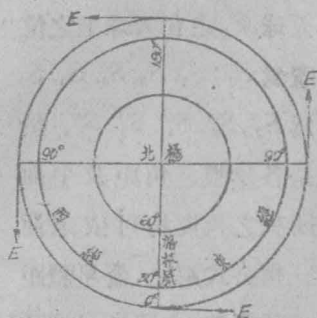
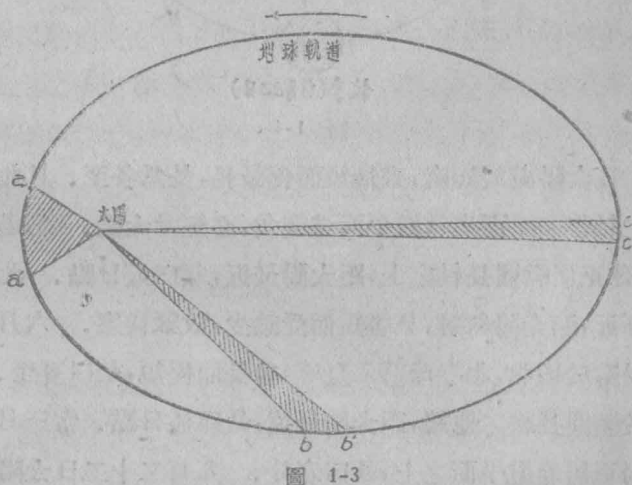


圖 1-2

格林威之經度爲零，分地球爲兩半球，在格林威之東者爲東經，在西者爲西經。

5. 地球旋轉及四時之分 地球繞太陽而行，每年旋轉一週，其軌道爲橢圓形，太陽則處於橢圓之焦點。地球因受重力吸引方不離軌道，然離日有遠近，其行動應有快慢，方得調和重力之平衡，故無論在軌道何處，同一時間移動同一面積，即太陽與地球相連線所含之面積。如圖 1-3，陰影之部份其面積相等，其弧 aa' ， bb' ， cc' ，雖



不等，而行動之時間則相等。地球旋轉軸與軌道平面所含之角爲 $66\frac{1}{2}$ 度，即赤道平面與軌道平面所含之角爲 $23\frac{1}{2}$ 度，此角是爲黃赤交角。其旋轉軸所指之方向殆一定，故所指天球上之位置歷年幾不變。四時氣候寒熱之分，則因地球軸之傾斜；蓋地球旋轉之軸常平行，運行於軌道上，地面受太陽之直射者則熱，反是則寒。如圖 1-4，當地球在軌道上，若其軸北端背日，故北半球爲冬季。十二月

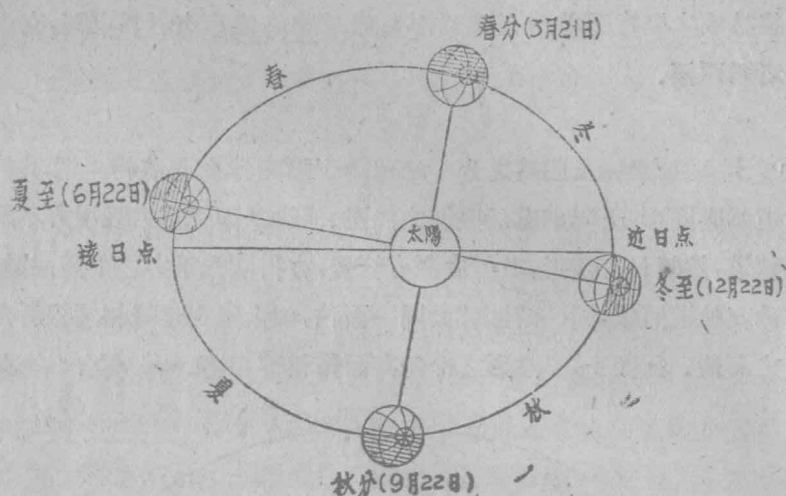


圖 1-4

二十二日太陽處於極南，晝最短而夜最長，是爲冬至。且此時經過地球之軸作一平面與軌道平面成直角，必經過太陽。約過十日之後，地球正居橢圓長軸之上，距太陽最近，是曰近日點。此時雖距太陽極近，而太陽斜射，且晝短而受熱少，故氣候寒。六月二十二日太陽處於極北，北半球將入夏季，晝長而夜短，是曰夏至。當地球居於橢圓長軸之他端，距太陽最遠，是曰遠日點。當三月二十一日太陽正居赤道平面之上，是曰春分。九月二十二日太陽復居赤道平面上，是曰秋分。當此二日，地球上無論何處，晝夜長短均相等。

6. 太陽之視位 太陽在天球上之視位，如圖 1-5 所示。太陽每日東升西降，旋轉一周，且依黃道軌跡逐日東行，則太陽與赤道之角距逐日改變，故太陽半年居赤道之北，半年居赤道之南。六月二十

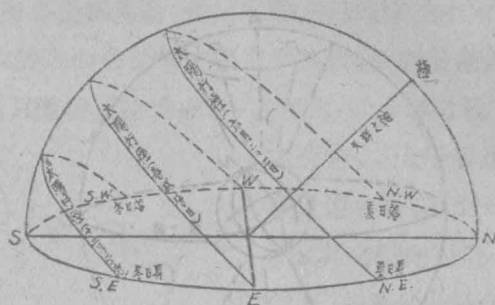


圖 1-5

二日太陽居赤道之極北處，故北半球晝長而夜短；十二月二十二日則居赤道之極南處，故夜長而晝短。太陽每達極北處則向南行，達極南處則向北行，每年行徑交赤道二次，在三月二十一日及九月二十二日，故太陽之行徑為螺旋形。太陽逐日東行改變其位置，可觀察恆星以參證。苟每日太陽西沉時，觀察東方出現之星，當逐月不同，一年之末復見最初之星。

7. 歲差及章動差 前述地球之軸指一定之方向，實則略有變動，其變動極緩者曰歲差，其變動速而有週期性者曰章動。

地球非正圓球而為迴橢體，即赤道直徑大於兩極直徑，而赤道與黃道相交成 $23\frac{1}{2}$ 度之角。太陽與月球約在黃道平面上，其吸力施於地球之赤道處，欲使赤道與黃道平面相合。然地球旋轉速度極大，雖足以抵抗此吸力，但地球軸依黃道之極旋轉成圓錐形，向西轉動一周需二萬五千八百年。如圖 1-6， CD 為黃道平面， A, B 為黃道之極， P, P', P'' 為地球軸北極所指之位置。地球軸既向西轉動，則赤道平面亦略傾斜，其與黃道之交點（即分點）亦略向西移，

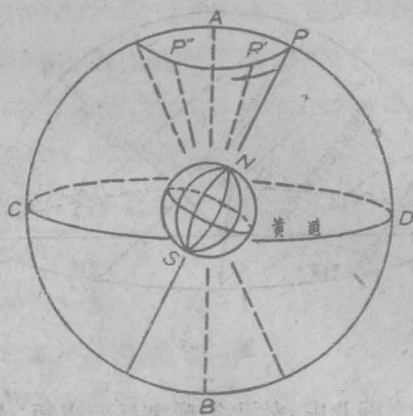


圖 1-6

是曰分點歲差，故太陽經過赤道年早一年。如圖 1-7， A, B 為黃道 CVD 之極， P 為赤道 EVQ 之北極，赤道與黃道之交點為 V 。經數世紀後，若北極西移至 P' ，赤道平面為 $E'V'Q'$ ，其交點則為 V' 。 VV' 弧為在此期間分點西移之歲差，平均每年為 50.2 秒。

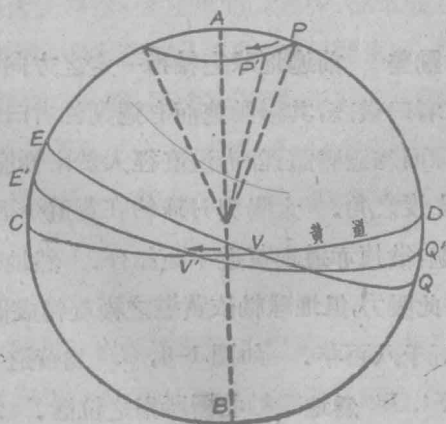


圖 1-7

歲差之外尚有週期變動，是曰章動。月球雖體小而吸力亦小，但距地球近，對於地面各部份之吸力則甚大，故對於歲差之效力則倍於太陽。且月道與黃道約成 5° 之交角，即與赤道成 $18\frac{1}{2}^\circ$ 至 $28\frac{1}{2}^\circ$

因歲差而往之行徑

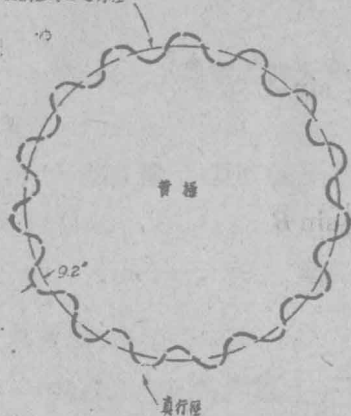


圖 1-3

之交角。太陽吸引月球使月道與黃道相合，猶如日月吸引地球然，其交點向西移與分點歲差同。於是地球所受日月吸力無常，北極復依歲差圓形行徑之平均位置，成橢圓形轉動，而生章動差，為期約十九年，其最大章動差在行徑之兩側約 9.2 秒。合此二差，北極之行徑成波紋形，如圖 1-8。星體本諸春分點及赤道以定位置者，亦因之而時異也。

8. 光行差 光行差者乃因地球迅速之轉動，使星光發生變位之差。如圖 1-9，星光自 C 至 B ，觀測者同時自 A 至 B ，則觀測 C 之方向為 AC 。

光行差可分為二：(1) 周年差，及 (2) 周日差。周年差因地球在軌道上之轉動，故各處相同。周日差則因地球每日之旋轉，因緯度不同而異；蓋地球表面之點轉動之速度，在赤道為最大，在兩極則等於零。茲命 v 為地球在軌道上轉動之速度， V 為光

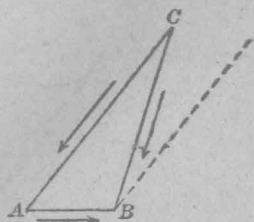


圖 1-9

行速度。當 CB 與 AB 成直角時，其差為最大，得下式：

$$\tan \alpha_0 = \frac{v}{V}$$

α_0 為星之變位角，特稱曰光行差常數，其值約為 20.5 秒。設 CB 與 AB 不成直角得下式：

$$\sin \alpha = \frac{v}{V} \sin A$$

但 α 之值極小，其近似式為

$$\tan \alpha = \sin \alpha = \frac{v}{V} \sin B$$



第二章

定義及坐標

1. 定義 下列定義為天文學所常用，而為定天球星體位置之用者。

(1) 垂直線 垂直線者乃地面上一點所作之重力垂直線，如圖 2-1, OZ 。

(2) 天頂——天底 垂直線向上延長與天球相交之點曰天頂，

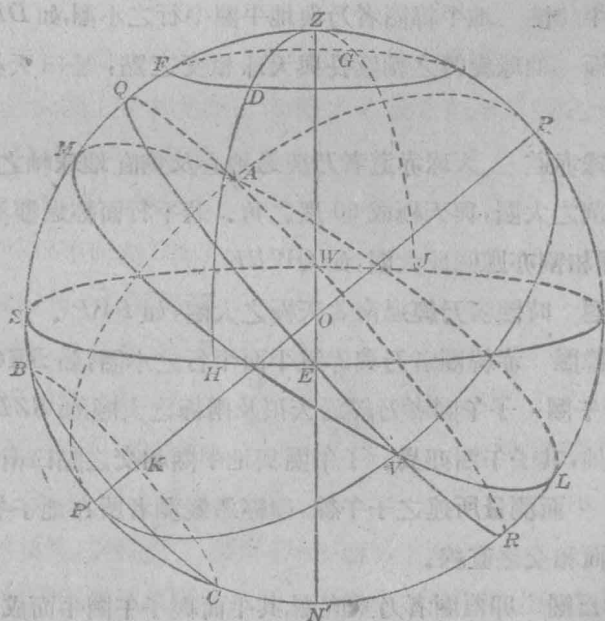


圖 2-1

如 Z ，此點極為重要，蓋表示地球上觀測者之位置。向下延長與天球相交之點曰天底，如 N' 。

(3) 地平圈 地平圈者乃經過地心及與垂直線成直角之平面，與天球相割之大圈，如 $NESW$ 。天頂及天底與地平圈之角距為 90 度。但天球之徑為無窮大，故經過觀測者之目與垂直線作直角之平面與天球相割之圈，應同為大圈也。又觀測者立於海濱，遠望海際，海天相連，所見之地平圈曰視地平圈，與前所謂地平圈平行而較小，因地為球形，且觀測者高出海平面也。

(4) 垂直圈 垂直圈者乃經過天頂及天底之大圈，與地平圈相交成直角，如 HZJ 。

(5) 地平緯圈 地平緯圈者乃與地平圈平行之小圈，如 DFG 。

(6) 天極 地球旋轉之軸延長與天球相交之點，是曰天極，如 P, P' 。

(7) 天球赤道 天球赤道者乃經過地心及垂直地球軸之平面，與天球相割之大圈，與天極成 90 度之角。若平行面經過觀測者之目，與天球相割亦應同此大圈，如 $QWRE$ 。

(8) 時圈 時圈者乃經過南北天極之大圈，如 PVP' 。

(9) 赤緯圈 赤緯圈者乃與赤道平面平行之小圈，如 BKC 。

(10) 子午圈 子午圈者乃經過天頂及兩極之大圈，如 $SZPL$ 。在不同之地，其子午圈亦異。子午圈與地平圈相交之點曰南北點，如 S, N 。平面測量所述之子午線，即經過觀測者所在地子午圈平面與地平面相交之直線。

(11) 卯酉圈 卯酉圈者乃垂直圈，其平面與子午圈平面成直角，如 EZW 。與地平圈相交於東西二點，如 E, W 。