

实用天文测量学

R. 魯罗佛斯著

測繪出版社

实用天文测量学

(应用于土地测量)

R. 鲁罗佛斯著

黄继汉 高更新 合译

测绘出版社

1959·北京

BY

R. ROELOFS

PROFESSOR OF SURVEYING AND PHOTOGRAMMETRY
AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF DELFT, HOLLAND

ASTRONOMY APPLIED TO LAND SURVEYING

MCML

N.V. WED. J. AHREND & ZOON · AMSTERDAM

本書系根据荷蘭德爾佛特工業大學航空攝影測量與測量學教授 R. 魯羅佛斯著的 1950 年英文版翻譯的。

本書敘述相當於二等以下的天文經緯度及方位角觀測的理論和方法，並介紹了一些目前中文本中所未見的新儀器。對於觀測誤差的分析和成果精度的評定都詳加討論。書末附有列綫圖及算例，實為本書的特色，列綫圖是由德爾佛特工業大學講師 N. D. 哈斯布羅克所設計。

本書可作為土建學院及測繪學院工程測量專業中實用天文學的教學參考書，並可供各測量專業學生及天文測量工作者的參考。

實用天文測量學

著者 R. 魯羅佛斯

譯者 黃繼漢 高更新

出版者 測繪出版社

北京宣武門外永光寺西街3號

北京市書刊出版業營業許可証出字第 081 號

發行者 新華書店

印刷者 北京市印刷一廠

西便門大街乙一號

印數(京) 1—2500 冊 1959年6月北京第1版

開本 787×1092 1/16 1959年6月第1次印刷

字數 330 000 印張 13 1/2 插頁

定價 (10) 1.75 元

譯者的几点說明

1. 本書原文名为 *Astronomy applied to Land Surveying*, 書中也多处提到 *Land Surveyor*。今將 *Land Surveying* 及 *Land Surveyor* 譯为土地測量及土地測量師。但必須指出这两个名詞不同于土地丈量或地籍測量員。在欧美土地測量的涵义頗广, 它仅与大地測量或航空測量不同而已。

2. 本書在翻譯过程中承原著者魯罗佛斯教授来信补充修改。因此譯本已較1950年原著第一版有所增減。对其中难解的句子或内容則加以譯者註, 以便讀者参考。

3. 关于本書中所用記号的一些說明:

(a) 原書节次未用符号, 每节齐起。但譯本中則加上“§”符号, 每段开始縮进兩格以資醒目。

(b) 所有公式的号数原書按頁次分, 譯本則改按章次分, 以免紊乱不清。

4. 本書中所有的譯名基本上均采用1952年科学院編訂的天文学名詞。

5. 本書中所采用的主要的縮写或符号有:

λ = 天文經度	q = 星位角
φ = 天文緯度	U.C. = 上中天
Φ = 天文余緯度	L.C. = 下中天
NP = 北極	T' = 錶面时
SP = 南極	$\Delta T'$ = 錶差
Z = 观测者的天頂	t = 时段
α = 星的赤經	G.M.S.T. = 格林威治平恆星时
δ = 星的赤緯	L.M.S.T. = 地方平恆星时
p = 星的極距	G.A.S.T. = 格林威治視恆星时
h = 高度角	L.A.S.T. = 地方視恆星时
z = 天頂距	G.M.T. = 格林威治平太陽时
a = 星的方位角	G.A.T. = 格林威治視太陽时
A = 某綫的方位角	L.M.T. = 地方平太陽时
t = 时角	L.A.T. = 地方視太陽时。

原 序

測量者明显地看到最近發展起来的电子方法对于定位問題的应用，这个問題的解决在以前是依靠着天文的观测；这种方法的重要性虽然有逐漸降低的趋向，但是，它仍然是一个有价值而可信賴的方法，到現在还没有人有过摒棄应用天文观测的想法。

天文观测的主要应用是：

(a) 在沒有建立三角網的地区測定控制点及方位角，以供地形測量或航空攝影測量之用。

(b) 測定一个三角網的边的方位角及点的大地体坐标（即天文坐标）。

前者，天文方法的应用是不顧及垂綫偏差的，而后者，則作为測定垂綫的偏差。測定垂綫偏差的目的为：

(b.1) 确定大地水准面的形狀，

或(b.2) 作为建立在三角網的平差中的拉伯拉斯条件方程式。

在(b.2)的情形中所需的精度非常高，以期符合三角測量的要求。适合于这种目的的特殊方法和仪器不在本書討論範圍之內。

在(b.1)的情形中，实际上是在少数的三角点上用上述的精密方法与仪器以及在大多数的鄰近点上用較低的精度（容許的測站誤差約为 $1''-2''$ ）測定垂綫偏差。欲得后面一种的精度則可用本書中所述的方法。在(a)种情形中，緯度、經度或方位角的天文測定仅需要中等的精度；它与測区的垂綫偏差的或是值有关。本書將叙述应用于这种目的之最适宜的方法。

本書以相当大的篇幅討論了观测的經濟問題，这个問題在以前很少引起人們的注意。如果观测的数目太多必会浪費時間和費用。但是如果观测太少而成果不佳則勢將重測，那么也許更加不經濟。为要避免这种浪費，就必须准确地知道要多少的观测数量才能滿足所需要的精度。因此有几节專門討論系統和偶然誤差的各种来源，提出了詳細的規則，以决定观测的数目和星体的选择。

上述的原則对于广泛应用的等高仪定位測量法更显得特別重要。由于应用等高仪进行观测較为容易，致有許多观测者总是喜欢“为了保險的緣故”而做了过多的观测。一个著名的国外地理研究所的計算室曾經被这些大部分不必要的工作所牽累。

明显的补救办法便是适当的选星来限制观测的数目，使其为最小。这个方法最好是由观测者来施行，而在某些情况下（例如上面所提到的研究所的情形，或者因为在野外工作沒有选星的机会）可以在观测后由計算者进行选择。

本書主要作为教本和土地測量师的参考書，但亦可供工業学校之用。为便于測量工作者的使用，对于各方面的工作、准备、实施以及計算均詳加討論，并插入很多的列綫圖、附表和算例。为要使得本書有助于学生，著者对于基本原理尽力給予直接明白的叙述。

致 謝

著者对下列諸位致以衷心的感謝。德尔佛特(Delft)大学講師 N. D. 哈斯布洛克精細的設計了列綫圖 (仅列綫圖 5 为著者所設計)。如果沒有这些列綫圖，則本書未臻完善且对于土地測量的实际用途亦將为之減少。

用外国文字編写一本書，錯誤之处在所难免。著者深感荣幸能得倫敦大学講師 C. A. 畢多尔中校修訂全部原稿，除此寶貴的幫助外，畢多尔中校还提出了許多重要的建議，使本書得到改进与增色。

著者深深地感謝巴黎国立地理研究所 G. A. 拉克拉維亞上校及其同僚，因为曾有机会參閱他們的一些报告和研究报告。

在本書算例中所采用的观测数据大部分为工作于荷屬几安那(Guiana)荷蘭皇家航空公司的土地測量师 P. de 威塞所供給。由于他的熟練技术，得到了很高的精度。德尔佛特大学研究助理員兼土地測量师 J. 罗尔佛曾校对了一些公式的推演，并續密的做出例子。

萊登(Leiden)天文台台長 G. 馮·赫尔克博士及印度尼西亞土地測量师 H. 梅西尔曾审阅过前几章，荷蘭海道測量局 W. 冷格拉中尉曾校閱全部原稿；他們均提出許多寶貴的建議。

本書承蒙公用部測量局繪圖員 C. 馮·德·赫尔姆精細的繪制附圖，德尔佛特大学書記 A. 馮·德·烏义尔女士仔細的打字。

· R. 魯罗佛斯

德尔佛特，1950年4月

目 录

第一章 地理坐标

§ 1.1 概述	13
§ 1.2 定义	14

第二章 天文坐标

§ 2.1 定义	16
§ 2.2 天文坐标的变化	17
§ 2.3 自行	17
§ 2.4 日月、行星的岁差与章动	17
2.4.1 概述	17
2.4.2 日月岁差	18
2.4.3 行星岁差	18
2.4.4 章动	19
§ 2.5 周年视差	19
§ 2.6 周年光行差	19
§ 2.7 视天文坐标与平天文坐标	20
§ 2.8 天文坐标的化算	21
2.8.1 概述	21
2.8.2 从某年岁首的平坐标化算到观测年岁首的平坐标	22
2.8.3 从观测年岁首的平坐标化算到观测时刻的视坐标, 但不包括章动的短期项	22
2.8.4 视坐标的章动短期项之改正计算	24
2.8.5 另一种的化算法	27
2.8.6 实用的天文坐标化算法	27
§ 2.9 地方的天文坐标	31
§ 2.10 星等	34

第三章 时

§ 3.1 概述	35
§ 3.2 恒星时	36
§ 3.3 太阳时	37
§ 3.4 恒星时与太阳时的关系, 及其相互换算	40
§ 3.5 标准时、日、年	48

第四章 观测值的改正

§ 4.1 概述	49
§ 4.2 折光差	49
§ 4.3 周日光行差	54

§ 4.4 太陽視差	55
§ 4.5 太陽的偏心瞄准	56

第五章 守时、測时、記錄及其校核

§ 5.1 守时	62
5.1.1 計时器及其应用	62
5.1.2 天文鐘的錶差和錶速	63
5.1.3 系統誤差	64
5.1.4 偶然誤差	64
5.1.5 关联观测值平差的一些說明	65
§ 5.2 时的观测与記錄	67
5.2.1 概述	67
5.2.2 呼記法	68
5.2.3 耳目法	68
5.2.4 停錶法	69
5.2.5 記时仪法	69
5.2.6 精度	71
§ 5.3 时的校核	71
5.3.1 概述	71
5.3.2 国际式时号或ONOGO 式时号	72
5.3.3 新国际式时号或改良后的ONOGO 式时号	73
5.3.4 美国授时信号	73
5.3.5 科学式、游标式或符合式时号	73
5.3.6 美国国家标准局时号	77
5.3.7 無綫电时号的改正	77
5.3.8 無綫电时号的記錄	79
5.3.9 天文鐘的比較	79

第六章 利用观测平均值的計算法及其附加的改正值

§ 6.1 概述	81
§ 6.2 在望远鏡的一位置上，恒星經過数根蛛絲	81
6.2.1 平均天頂距的第一改正值	81
6.2.2 平均天頂距的第二改正值	82
§ 6.3 在数个望远鏡位置上，恒星經過一根蛛絲。平均天頂距的改正值	84

第七章 基本观测值的精度

第八章 方位角的測定

§ 8.1 概述	87
§ 8.2 恒星时角法測定方位角	88
8.2.1 观测与計算	88
8.2.2 系統誤差	89

8.2.3	偶然誤差。顧及所假設緯度的可能誤差与时角的常差时的选星法。精度估算	90
8.2.4	偶然誤差。容許有时角常差时的选星法。精度估算	94
8.2.5	精度計算	95
§ 8.3	太陽时角法測定方位角	95
8.3.1	观测与計算	95
8.3.2	系統誤差	96
8.3.3	偶然誤差。精度估算	98
§ 8.4	恒星高度法測定方位角	99
8.4.1	观测与計算	99
8.4.2	系統誤差	99
8.4.3	偶然誤差。星的选择。精度估算	100
8.4.4	精度計算	103
§ 8.5	太陽高度法測定方位角	103
8.5.1	观测与計算	103
8.5.2	系統誤差	104
8.5.3	偶然誤差	104
§ 8.6	方位角表	104
8.6.1	北極星的方位角	104
8.6.2	太陽及恒星的方位角	106

第九章 緯度的測定

§ 9.1	概述	107
§ 9.2	恒星中天高度法測定緯度	107
9.2.1	基本公式	107
9.2.2	系統誤差	108
9.2.3	选星	110
9.2.4	將望遠鏡安置在子午圈上	111
9.2.5	观测	113
9.2.6	精度估算	115
9.2.7	精度計算	115
§ 9.3	近子午圈高度法測定緯度(一)(已知地方恒星时的錶差)	115
9.3.1	概述	115
9.3.2	計算	116
9.3.3	限差	117
9.3.4	系統誤差	118
9.3.5	偶然誤差。精度估算	118
9.3.6	精度計算	120
§ 9.4	北極星高度法測定緯度	120
9.4.1	概述	120
9.4.2	計算	120
9.4.3	系統誤差	121
9.4.4	偶然誤差。精度	121
§ 9.5	近子午圈高度法測定緯度(二)(未知地方恒星时的錶差)	122

9.5.1	概述	122
9.5.2	計算	122
9.5.3	圖解平差	124
9.5.4	精度估算	124
9.5.5	精度計算	125

第十章 經度測定

§ 10.1	概述	127
§ 10.2	恒星天頂距法測定經度	127
10.2.1	概述	127
10.2.2	系統誤差。星的选择	128
10.2.3	計算	129
10.2.4	观测	130
10.2.5	精度計算	131
10.2.6	精度估算	131

第十一章 經度与緯度的測定

§ 11.1	概述	133
§ 11.2	观测多星的天頂距同时測定經緯度法	134
11.2.1	观测值的化算	134
11.2.2	解析平差法 (数值平差法)	135
11.2.3	精度計算	137
11.2.4	圖解平差法 (定位綫法)	138
11.2.5	星的选择。精度估算	139
11.2.6	系統誤差	140
§ 11.3	多星等高法測定經緯度 (高斯方法)	141
11.3.1	解析平差法	141
11.3.2	精度計算	144
11.3.3	圖解平差法 (定位綫法)	144
11.3.4	系統誤差	145
11.3.5	星的初步选择	146
11.3.6	星的最后选择	149

第十二章 恒星等高測定經緯度的特殊仪器

§ 12.1	概述	156
§ 12.2	60°稜鏡等高仪	156
12.2.1	概述	156
12.2.2	等边稜鏡	156
12.2.3	用于經緯仪上的附加稜鏡	157
12.2.4	稜鏡的校正	158
12.2.5	稜鏡等高仪	158
§ 12.3	摆式等高仪	159

12.3.1 構造原理.....159
 12.3.2 自动改正的特性.....160
 § 12.4 45°稜鏡等高儀161
 12.4.1 概述.....161
 12.4.2 構造原理.....161

附 表

号数 頁数

时

1a, 1b, 1c 时的换算 45

折 光 差

2. R 表164
 3. R' 表165

太 陽 觀 測

4. 微折光表 58

利用多个观测的平均值

5. 因子 $Q=(1+2 \Delta_1 T)$, 及 $Q=(1.00548+2 \Delta_1 T)$ 84

恒星子午圈高度法测定緯度

6. 安置仪器的最大允許誤差110
 7. 利用控制星安置望远镜—經度的最大允許誤差112
 8. 利用北極星安置望远镜—經度的最大允許誤差113

恒星近子午圈高度法测定緯度

9. m 表166
 10. 最大与最小的赤緯118
 11. 子午圈与恒星間的方位角差125

观测天頂距测定經緯度法

12a, 12b 单独一組的方位幅限度139

等高法测定經緯度

13. 观测的星数150
 14. $10:4Nm_2P$ 表152
 15. 单独一組的方位幅限度155

列 綫 圖

号数 頁数

折 光 差

1. 折光差168

太陽觀測

2. 時差與太陽的赤緯。內插的第二項 169
3. 太陽視差角 170
4. 太陽半徑的改正 171
5. 太陽觀測高度角或視地方時的換算 172

利用多個觀測的平均值

6. 平均或標準天頂距的改正 ($z \approx 30^\circ$); 因子 C_1 173
7. 平均天頂距或標準天頂距的改正 ($z \approx 45^\circ$); 因子 C_1 174
8. 平均天頂距的改正 ($z = 45^\circ$); 因子 C_2 175
9. 平均天頂距的改正 ($z = 45^\circ$); 因子 C_3 176

近子午圈高度法測定緯度

10. 第二項: Bn 177
11. 最大的允許時段 τ 178

北極星高度法測定緯度

12. 第二項 179

多星高度 (等高) 法測定經緯度

13. g 與 $g \cos^2 a'$ 180
14. 方位角計算 ($z = 30^\circ$) 181
15. 方位角計算 ($z = 45^\circ$) 182
16. 時角計算 ($z = 30^\circ$) 183
17. 時角計算 ($z = 45^\circ$) 184

算 例

號數

方位角測定

1. 近子午圈恒星時角法 186
2. 近大距恒星時角法 188
3. 太陽時角法 190
4. 近大距恒星高度法 192
5. 太陽高度法 194

緯度測定

6. 恒星子午圈高度法 196
7. 恒星近子午圈高度法 (已知錶差) 198
8. 恒星近子午圈高度法 (未知錶差) 200
9. 恒星近子午圈高度法; 圖解平差 203

經度測定

10. 近卯酉圈恒星天頂距法 204

同时测定经纬度

11. 恒星天顶距法	206
12. 恒星天顶距法; 图解平差	209
13. 多星等高法	210
14. 多星等高法; 图解平差	214
中英名词对照表	215

第一章 地理坐标

§ 1.1 概 述

天文学在测量上的应用是根据天文观测以确定点在地球面上的位置以及连接这些点的大地线的方位角。

在实施天文观测时，我们把测站上的重力方向当做基本方向；当用水准器安置观测的仪器时，其旋转轴的位置与重力的方向或相一致或相垂直。任何其他微小水平误差均可用水准器来量测，并在计算中加以顾及。施加改正之后，用仪器测得的一切数值，便是以重力的方向为依据的了。要清楚的了解在某些区域中的重力方向，必先介绍水准面的概念。

水准面是一个曲面，在其上任意一点的重力均垂直于此面。很显明，存在着无穷个的水准面；其中的一个特别重要：那就是通过平均海水面的水准面，叫做大地水准面。

各水准面既不平行也不相交而是互相包围着的。从这一点便可看出，一条垂直于所有水准面的线——叫做铅垂线——并非直线而是曲线。我们必须认识到在一点上的铅垂线和垂线的区别。垂线是切于铅垂线并代表在该点上的重力方向。

在图 1 中， P' 为位于地球表面上且在大地水准面之上某一距离的测站。 P 为 P' 在大地水准面上的投影。由于水准面与大地水准面不相平行，故 P' 的垂线与向大地水准面的垂直线 PP' 也不吻合，而交成 θ 角。在图中此角已经放大；实际上它是非常小的，通常可以略而不计；因此 P' 的垂线与垂直线 PP' 可设想是吻合的。也就意味着测站 P' 可以设想是同 P 吻合，亦即是在不考虑到 P' 对于大地水准面的高程时， P' 便位于大地水准面（它代替了地球的表面）上。因为这个高程在大地天文测量上是不太重要的，因此我们便在此采用了这个假设。

大地水准面虽然没有像地球表面形状那样的不规则，但是仍然不可能利用作为大地计算的基础。因此，我们采用旋转椭球体以代替大地水准面，此椭球体的短轴则平行于地球的旋转轴。

椭球体的形状大小及其定位的选择必须保证它与测区的大地水准面最为密合。海福特氏从美国的天文和大地测量所求得的椭球体，可能是目前最佳的一个^①，这个椭球体曾被国际大地测量与地球物理协会在 1924 年的马德里会议上采用作为

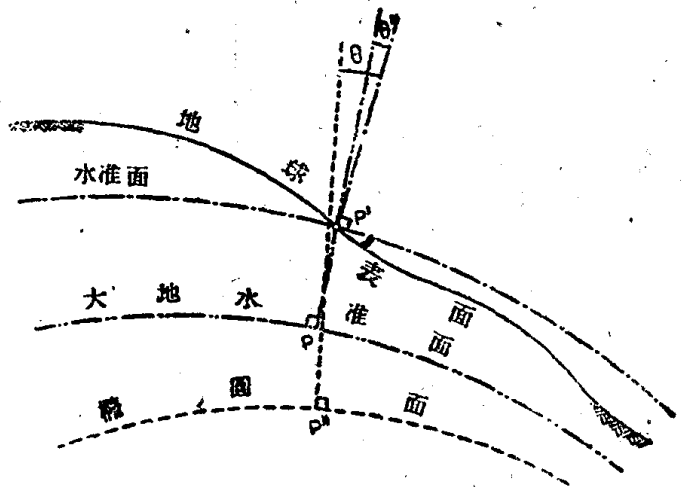


图 1. 大地水准面与椭圆面。垂线偏差

① 目前据我们了解，海福特椭球体的导出有许多缺点，而克拉索夫斯基椭球体应认为是现代最佳的参考椭球体。其形状与大小为 $a=1:298.3$ ， $a=6378245$ m ——译者注。

国际椭圆体，其大小为：

赤道半径 = 6,378,388 公尺， 扁率 = 1:297.0。

大地测量工作者通常将椭圆体如此定位，使得在测区的中央点所作的椭圆体的法线与铅垂线相一致（译者按：就是说在此点上相对的垂线偏差为零）。但在计算了一段连接该中央点与一地面点 P' 的三角锁之后，得出 P' 在参考椭圆面（作为计算依据的）上的相应点为 P'' （图 1）。此 P'' 上的椭圆体的法线通常不与 P' 的垂线相一致，而构成夹角 θ ，此角名为垂线偏差。垂线偏差常较天文观测和大地测量的误差为大；在平坦地区其值较小（数弧秒），而在某些个别地区较大，在最大的情形下（例如南美洲哥伦比亚）其值几乎可达 $1'$ 。

今假设有一无穷大半径的球体，它与大地体同心；名为同地心天球，或简称为天球。在大地水准面上某点的垂线与天球的交点便是该点的天顶。大地水准面到处都呈凸形，没有一个地方是凹形的，在大地水准面上所有点子的垂线方向均不相同，因此这些点子的天顶没有一个相吻合的。于是乎大地水准面上任何一点的位置便可以很明确的为它的天顶位置所决定。因此确定某点在大地水准面上的位置的问题便可用确定某点的天顶在天球上的位置的问题来代替了。

§ 1.2 定 义

图 2 表示一个有限大的天球，所以这个图的比例尺是非常的小。在这种比例尺上，大地体可以用一点表示之，它与天球的球心相吻合。 NP （北极）与 SP （南极）为地球的旋转轴（或极轴）与天球的交点。经过 NP （与 SP ）的大圆都叫做子午圈。

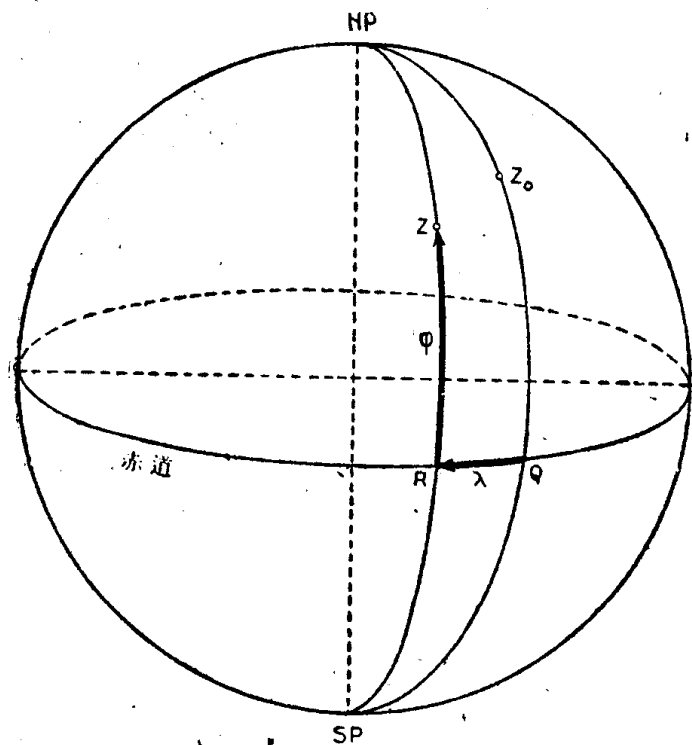


图 2. 天顶的直角坐标

角，叫做地理经度

$\Phi = Z$ 与 NP 之间的球面距离，叫做余纬度

显然： $\Phi = 90^\circ - \varphi$ 。

地理经度可以时间单位或角度单位表示之。这些单位间的关系是：

大地体可以用一点表示之，它与天球的球心相吻合。 NP （北极）与 SP （南极）为地球的旋转轴（或极轴）与天球的交点。经过 NP （与 SP ）的大圆都叫做子午圈。

垂直于 $NP-SP$ 的大圆名为赤道。 Z 为大地水准面上任意一点的天顶； Z_0 为格林威治的天顶。

Z 的位置是用球面直角坐标来确定的：

$\lambda = Z_0$ 子午圈与 Z 子午圈之间的赤道距离，名为地理经度；

$\varphi = Z$ 与赤道间的球面距离，名为地理纬度。

除了直角坐标外，我们也可以采用球面极坐标（图 3）：

$\lambda = Z_0$ 子午圈与 Z 子午圈间的夹

1 时(1^h) = 15 度(15°)

1 分(1^m) = 15 分($15'$)

1 秒(1^s) = 15 秒($15''$)

地理坐标通常可视为常数。只有在需要高精度的情形下，才有必要考虑到由于地球绕其旋转轴移动而产生的微小变化。很显然，这种现象改变了地面一点的天顶对于北极的位置，因此也就改变了坐标（参看图 2 及图 3）。在实用上采取平均地理坐标，这种坐标是根据地球对其旋转轴的理论上的平均位置。由于纬度的变化不超过 $0''.2$ ，经度变化不超过 $0''.2 \operatorname{tg} \varphi$ ，所以它们通常可以略而不计。

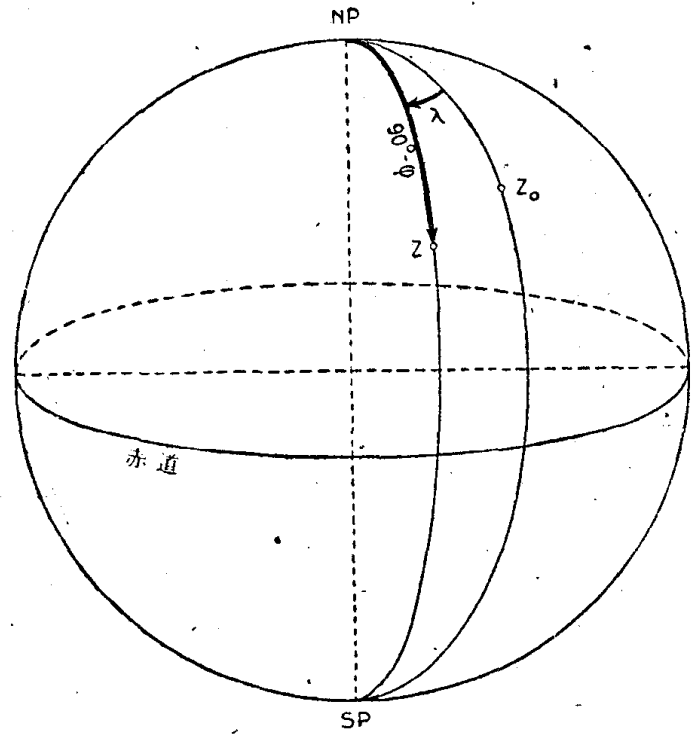


图 3. 天顶的极坐标

第二章 天文坐标

§ 2.1 定 义

在大地天文学中，一颗星的位置系以其在天球上的相应点的位置确定之。如果连接地球中心与恒星的瞬时中心（就在它放射出为地球上所观测到的光线的瞬时）（在§2.6中将详细讨论此问题），则此连线与天球相交之点即可近似地认为是该星的相应点。虽然该点是一个数学概念，它通常还是叫做一颗星。因此为了避免混乱，便称这个天体为一物理星。为着表示恒星在天球上的位置，便采用了非常相似于地理坐标系统的一种坐标系统——天文坐标。

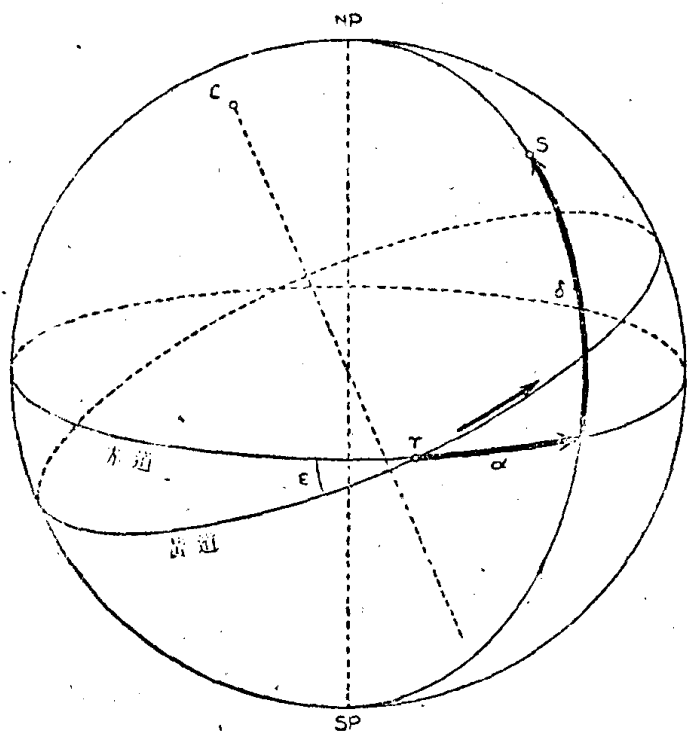


圖 4. 恒星的直角坐标

們对于星的定义，“太陽”是连接太陽中心和地球中心的直线与天球相交的交点。根据这种方法所解释的太陽似乎在一个大圆上运动，此大圆为太陽的軌道平面与天球的交线，名为黄道（圖 4）；它与赤道面之间的倾角 ε ——黄赤交角——约为 $23^\circ.5$ 。黄道的北極 C 距离赤道的北極 NP 大约为 $23^\circ.5$ 。

圖 4 中，沿着黄道所画的一个箭头是表示太陽視运动的方向。太陽的赤緯显然在 $+23.5^\circ$ （大約在 6 月 21 日）与 -23.5° （大約 12 月 21 日）之間变化着。一年之中有兩次（約 3 月 21 日和 9 月 21 日）太陽的赤緯为零；这种情形即發生在太陽到达黄道与赤道的兩交点之时。在此兩個位置之一（3 月 21 日），太陽赤緯从負变到正，是为春分点 γ ；赤經便是从这一个参考点量起。

除直角坐标之外，極坐标也可用来表示恒星的位置（圖 5）：

圖 4 表示一星 S 的球面直角坐标：

α = 参考点 γ （随后即將解釋）与 S 的子午圈之間的赤道距离，名为赤經；

δ = S 与赤道間的球面距离，名为赤緯。 δ 的正負号視其為北赤緯或南赤緯。

确定参考点 γ 的方法需要一些解釋。地球是繞着太陽以每年一周的速度在一个橢圓的軌道上旋轉。运动是一个相对的观念。如果假設地球是固定在空間，其結果太陽便好像在运动着，这是地球运动的反映。作为一个物理体的太陽于是便好像圍繞着地球以每年一周的速度在一橢圓的軌道上旋轉。在大地天文的意义上，根据我