

測量和矿山測量 統一坐標系統

苏联 維·格·舒濱著

白振譽譯

煤炭工业出版社

內 容 提 要

本書分为两章。第一章叙述地球的形状和大小、地球上及橢圓体上的計算。第二章講解統一坐标系統的理论、測量結果在平面图上的处理、由大地坐标換算为平面坐标的方法。

本書在論述統一坐标系統方面是一本很完善的書，对于我国統一坐标系統的建立、大地測量工作的改进、地形測繪工作的改进以及矿山測量工作的改进，都有很大的指导意义。

本書可供大地測量工作人員、矿山測量工作人員閱讀，也可供各矿业学校測量专业师生参考。

В. Г. Шубля
ЕДИНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА
КООРДИНАТ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ
И МАРКШЕЙДЕРСКИХ
РАБОТ

Углетехиздат Москва 1954

根据苏联國立煤礦技術書籍出版社1954年版譯

747

測量和矿山測量統一坐标系統

白振譽譯

*

煤炭工業出版社出版(社址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版營業許可証出字第084号

煤炭工業出版社印刷厂排印 新華書店發行

*

開本787×1092公厘 $\frac{1}{32}$ 印張4 插頁3 字數77,000

1958年9月北京第1版 1958年9月北京第1次印刷

統一書号：15035-474 印數：0,001—5,000冊 定价：0.60元

原 则

在苏联国民经济中，煤炭工业占首要地位，煤炭工业的发展能决定许多其他工业部门的发展。

各矿井的矿山测量工作，必需的大地测量工作与地形测绘工作完成的质量和時間，对于煤炭工业的順利发展都有一定影响。

在煤田区域内，有成百矿井以及许多其他采矿工业企业和附属企业处在生产或建設中；它們彼此之間有着密切的經濟关系。因此，在煤田的全部区域内，应进行全面測量工作。

只利用工程測量学的方法，不能在广大地区上完成大地測量工作、地形测绘工作以及矿山測量工作；为了完成这些工作，必須通晓研究地球形状和大小的高等測量学。

若按不同坐标系統来完成同一煤田各矿井的矿山測量工作和大地測量工作，則相邻矿井的采矿工程彼此就很难协调。

工业建設地区以及全国性的平面图和地图若完全按統一坐标編制，則自然条件的研究及其利用便容易得多。因此，矿山測量师必須使矿井地区内的大地控制点与全国性的各級大地網点相連接；在換算測点的坐标及重制平面图时，必須以1942年的全国統一的新坐标系統代替陈旧的坐系統。

当解算这些問題时，一般地說，可以利用輔助測量用表来減輕計算工作。但是，在无測量用表可以利用的情况下，矿山測量师也应会解算这些問題。因此，对于解算大多数的实际例题，本書既說明了利用測量用表的解算方法，也說明了不利用測量用表的解算方法。本書末附有解算測量問題时所应用的几个最主要的測量用表和某些常数值。

本書可作为斯·普·庫茲民斯基所著“矿山三角測量”的繼續和补充，供采矿专科学校矿山測量专业的學員使用。

本書叙述了高等測量学的主要概念（关于地球的形狀和大小的概念以及在橢圓体表面上解算矿山測量和大地測量的問題），叙述了以大地坐标为根据的平面直角坐标系統的理论基础及其計算方法，叙述了由一种坐标系統換算为另一种坐标系統的方法，等等。

作者于此特对技术科学博士弗·弗·巴夫洛夫教授表示衷心感謝，因为他对于本書的編著曾給予很大的帮助。

目 录

原 序

第一章 高等测量学及制图学概論	5
第1节 地球的形状和大小	5
第2节 制图学概論	23
第3节 球体上及椭圆柱上的計算	33
第二章 統一的平面直角坐标系統	51
第4节 坐标系統的理论基础	51
第5节 矿山-大地測量結果在平面上的处理	76
第6节 平面图的图廓尺寸及坐标网	92
第7节 采用的坐标系統的特征	101
第8节 由1932年坐标系統化为1942年坐标系統的換算 及相邻投影帶的坐标变换	105
附录1	116
附录2	117

5

1

第一章 高等測量學及制圖學概論

第1節 地球的形狀和大小

1. 地球形狀和大小在歷史上的概念

在普通測量學研究的是測定地球表面上各點間相互位置的方法以及編制平面圖與地圖的方法。高等測量學還研究整個地球的形狀和大小。

古代人，對於地球的形狀和大小以及地球上大陸的形狀和大小，沒有明確的概念。包圍島嶼和大陸的、幅員遼闊的海洋，時常成為擴大地球知識的障礙。隨著各民族間經濟關係的發展，對於地球的知識也就增加了。

關於地球是球體的思想，都認為首先是由希臘學者畢伐格爾（紀元前 460 年）提出的。

希臘偉大學者及哲學家阿利斯道捷里（紀元前 384～322 年）證明了這種思想；他的證明是以月蝕時地球射到月亮上的陰影永遠是圓形為根據的。

但實際上，只是在麥哲倫於十六世紀初（1519～1522 年）作第一次環球航行以後，才初次確凿地證明了地球是一個球體。

最初企圖測定地球大小的人，是希臘學者埃拉道斯芬（紀元前 200 年）；在位於同一子午綫上的二城市內，觀測太陽對於天頂的偏差；根據二城市間的已知距離（弧長），埃拉道斯芬求出了地球的半徑。他所求得的地球半徑等于

6844公里，誤差为 8 %。

以后，于827年阿拉伯天文学者测量夹角为 1° 的子午綫弧的长度，所求得的数值为 111.8 公里，这一数值与准确值之差仅为 1 %。这就証明了阿拉伯人的测量技术是很高明的。

埃拉道斯芬及阿拉伯人所采用的、以测定子午綫弧的角度和长度为根据的、测定地球大小的方法，称为弧度测量法。这种方法直到现在还应用着。

荷兰人斯涅里烏斯于1613年首先应用了三角测量法，应用这种方法可以在不必直接丈量长度的情况下就能精确地测定地球表面上的大距离。此外，测定角度和长度的仪器也有了改进。由于这种緣故，法国学者毕卡尔于1669~1670年应用了弧度测量法，他测得地球的半径等于6372公里。现在，根据更精确的資料，采取地球的半径为6371.3公里。

于十七世紀及十八世紀之間，由于物理学及其他科学的发展，对于地球形状的概念有了改变；这时，不認為地球是球体，而認為地球是橢圓体。

伊·牛頓(1642~1726)及赫·究根斯(1629~1695)由于考虑到地球的旋轉运动及其半液体状态的質量，証明了地球的形状近于球形、沿旋轉軸方面稍呈扁平。地球体的这种形状被称为二軸橢圓体或旋轉橢圓体（图 1）。

以后多次进行的精确的弧度测量，証实了这些結論。

在这方面的研究工作上，伊·牛頓利用他所发明的万有引力定律（发表于1682年）来观测地心引力的变化，証

明了地心引力由赤道向两极作有规律的增加。

假定地球的质量有均匀的結構，則这一变化只能用地球的椭圆形状来说明，也就是由于愈接近两极則半径愈小的緣故。

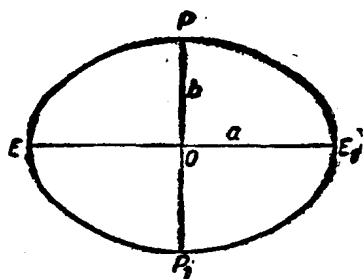


图 1 二轴椭圆体

从 1792 年到 1797 年間，根据法国的革命立法會議的決議，在学者德兰

波尔的领导下，曾进行了大量的弧度測量工作；其主要目的是为了确定新度量单位（公尺）的长度以及地球椭圆体的大小与扁率。按照德兰波尔的計算，地球的长半軸（赤道半径） $a=6375653$ 公尺，短半軸（地球的旋轉軸） $b=6356564$ 公尺，地球的扁率 $\alpha = \frac{a-b}{b} = 1:334$ 。这种椭圆体的子午綫

弧长等于 4000 万公尺。因而采取了一公尺的长度等于整个子午綫弧长的四千万分之一。

德兰波尔所进行的工作是企图以度量方法确定地球为椭圆体的最初尝试之一。

从十九世紀初开始，为了地图測图及地形測图，許多国家大規模地进行了天文測量及三角測量工作，发展了大地控制網。在分析这些积累的測度材料以后，俄国的軍事測量学家弗·弗·舒別尔特几乎在百年以前（1859年）就提出地球的形状更为复杂的思想，然后又用計算方法証明了；他認為地球的形状比双軸椭圆体更为复杂，也就是認

为地球是三轴椭圆体，地球的赤道也是椭圆。这种思想以后已被苏维埃学者弗·恩·克拉索夫斯基及阿·阿·伊卓托夫证实和发展了。

2. 椭圆体的几何要素

根据解析几何学，我们知道，椭圆为一平面曲线（图2），此曲线上的点与二定点 F_1 及 F_2 间的距离（ r_1+r_2 ）之和为定量且等于 $2a$ ，椭圆为具有此种性质之点的轨迹， F_1 及 F_2 称为椭圆的焦点。

$EE_1=2a$ ——椭圆的最大直径，也是椭圆的长轴；

a ——椭圆的长半轴；

$PP_1=2b$ ——椭圆的最小直径，也是椭圆的短轴；

b ——椭圆的短半轴。

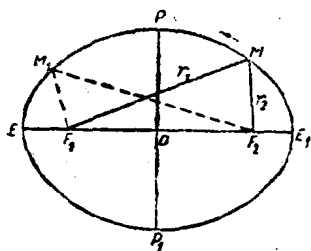


图2 椭圆的要素

沿短轴旋转，椭圆 PEP_1E^1 则组成正几何体；此几何体称为双轴椭圆体或椭圆旋成体。

以通过短轴 PP_1 的任意一平面，切割此椭圆体的表面，则得一平面曲线——子午圈椭圆。所有这些椭圆都具有完全相同的形状和大小。以经过椭圆中心的任意一平面切割椭圆体所获得的曲线，也具有椭圆形状（经过赤道的平面除外）。以平面沿赤道切割椭圆体的表面，则组成圆周。

图3表明了子午圈椭圆的要素。

图中, MN ——子午圈椭圆的曲率半径。

B —— M 点的地理(大地)纬度。

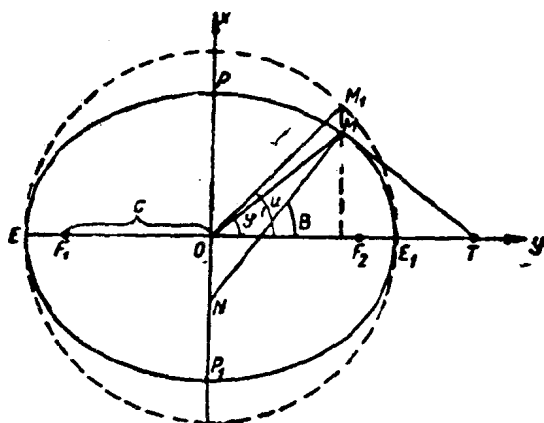


图 3 子午圈椭圆的要素

焦点间的距离:

$$F_1F_2 = 2c = 2\sqrt{a^2 - b^2},$$

关系式:

$$\frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = e. \quad (1)$$

上列比值称为椭圆偏心率, 偏心率表征椭圆的扁率。椭圆的扁率还可以用 α 来表征, α 称为极扁率,

$$\alpha = \frac{a - b}{a}. \quad (2)$$

随着半径 a 及 b 的长度差的减小, 偏心率 e 及扁率 α

漸趨近于零，焦點 F_1 及 F_2 趨近于橢圓的中心；按形狀來說，橢圓本身則趨近于圓周。

在橢圓（圖3）中， e' 稱為第二偏心率，

$$e' = \frac{c}{b} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b} \quad (3)$$

此外，橢圓的半軸、偏心率及扁率之間，有下列關係：

$$e = \frac{e'}{\sqrt{1+e'^2}} \quad \text{及} \quad e' = \frac{e}{\sqrt{1-e^2}}; \quad (4)$$

$$b = a\sqrt{1-e^2} = \frac{a}{\sqrt{1+e'^2}}; \quad (5)$$

$$b = a(1-\alpha); \quad (6)$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1-e^2} \quad \text{及} \quad e^2 = 2\alpha - \alpha^2 \cong 2\alpha. \quad (7)$$

在高等測量大多數問題解算中，要注意到橢圓體表面的曲率半徑。任何曲綫每一點上，都有以一定長度及方向的半徑所表征的曲率。圓周（球）任意一點上，都有恒定的曲率；圓周的一切曲率半徑都有一定的長度，且相交於一點——圓周的中心。

橢圓每一點上的曲率（因而也就是曲率半徑的長度）全不相同。

對於橢圓體的表面來說，每一點上都有兩個可作為特征的主曲率半徑（圖4）：子午圈橢圓曲率半徑及垂直于子午圈的法截弧橢圓曲率半徑（卯酉圈曲率半徑）。

子午圈椭圆曲线在椭圆体表面上表征椭圆体于某点上有最大曲率（半径最小）的方向。

子午圈椭圆的曲率半径可以用 M 代表，并且可以用下列公式求得：

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^{3/2}}; \quad (8)$$

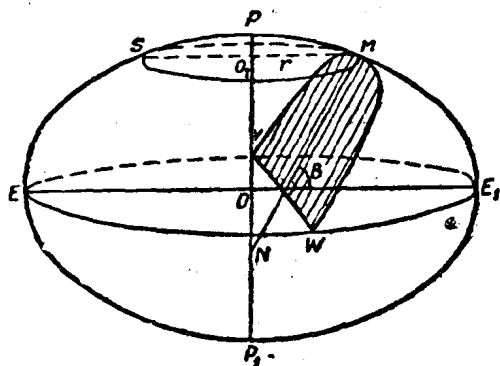


图 4 赤道的及卯酉圈的平面及曲线

在赤道上， $B = 0^\circ$ ，公式(8)可写成下式，

$$M_0 = a(1-e^2); \quad (9)$$

在两极上， $B = 90^\circ$ ，公式(8)可写成下式，

$$M_{90} = \frac{a}{\sqrt{1-e^2}} = \frac{a^2}{b}; \quad (10)$$

$$M_{90} = a(1-e^2)^{-1/2} \approx a \left(1 + \frac{e^2}{2} \right).$$

可見,曲率半徑的長度由兩極向赤道逐漸減小, $M_{90} > M_0$ 。

若通過橢圓體的同一點 M , 利用一個平面切割, 此平面經過 M 點上橢圓體表面的法綫且與所研究的子午圈截面 PEP_1E_1 相垂直, 則得橢圓體表面上的卯酉圈截面的橢圓曲綫 (VMW)。卯酉圈截面橢圓曲綫的曲率半徑 N 表征橢圓體表面上 M 點處曲率最小的方向, 也就是此處有最大的曲率半徑,

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}; \quad (11)$$

在赤道上, 公式 (11) 可以寫成下式,

$$N_0 = a; \quad (12)$$

在兩極上, 公式 (11) 可以寫成下式,

$$N_{90} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2}} = \frac{a^2}{b}. \quad (13)$$

在兩極上, $M = N$, 橢圓體表面的曲率及各個方向的曲率半徑相同。一般地說, 在其他各點上, $N > M$ 。

對於橢圓體表面某點上的平均曲率和平均曲率半徑的概念, 也要加以區別,

$$R = \sqrt{M \cdot N} = \frac{a \sqrt{1 - e^2}}{1 - e^2 \sin^2 B}. \quad (14)$$

當計算子午綫弧長時, 必須知道某些點上的子午綫曲率半徑 M 之值; 當計算平行圈弧長及方位角時, 必須知道卯酉圈曲率半徑 N 之值; 當計算球面角超以及其他量時,

則須知道平均曲率半徑 R 之值。

M 、 N 及 R 之值列于专用的測量用表中，各值的間隔一般为按子午綫計算的每分緯度。

用于弗·恩·克拉索夫斯基橢圓体的各值：

$$\lg(1) = \lg \frac{\rho''}{M}; \quad \lg(2) = \lg \frac{\rho''}{N}; \quad \lg R \quad (15)$$

由緯度 0 至 90° ，列于大地坐标計算用表。

弗·恩·克拉索夫斯基及阿·阿·伊卓托夫的高斯-克呂格坐标对數計算表，在緯度由 30° — 80° 的範圍內，列出了用于弗·恩·克拉索夫斯基橢圓体的 $\lg \frac{1}{(1)}$ 及 $\lg \frac{1}{(2)}$ 各值。

3. 水准面、大地球体

当研究地球的形狀和大小時，伊·牛頓所發明的万有引力定律有非常的作用。有了这个定律，就能更精确地測定地表上个别地区的形狀和大小，也能測定整个地球的形狀和大小。

实际上，若地球为一精确的球体且在每一球状层范围内物質的密度为一定（即使个别层的密度不同），則地球上各处的地心引力也将完全相同。但是，測度的結果証明，重力（地心引力及地球旋轉的离心力的合力）并不是一定的。

重力以加速度的单位来度量，即采用加尔为单位；加

尔等于1达因之力作用于1克的質量^①上所发生的加速度。重力的变化为由赤道上的938加尔变为两极上的978加尔。

以表示牛頓定律的公式 $(F = M \cdot m \cdot \frac{1}{R^2})$ 为根据，

可知地心引力的变化是由下列两种原因引起的。

1. 由于两个相互作用的質量間的距离 R 而引起的变化，此处所指的两个質量为地球的質量 M 及某一質点的質量 m 。地球的質量 M 假定集中于地球的中心，而質点的質量 m 則假定位于地表上，質量 m 与 M 間的距离为 R 。

2. 由于地球質量 M 而引起的变化，更正确地說，是由于同一球状层範圍內地球的物質的密度而引起的变化。

在两极上，地球半径約减小21公里，地心引力約增加40加尔。这是地心引力变化的主要原因。

除此以外，地心引力的变化在某种程度上与地球物質的密度不均匀(自然結構不一致)有关系，特别是与地壳的密度有关系。由于地球的橢圓形状所引起的地心引力的变化，是有規律的，在不同地区可以預先求得；由于地壳物質的密度不一致所引起的变化，是无規律的，变化的大小及分布地点都是偶然的，不能預先計算出来。地貌不一致对于这种变化也起局部的作用。

地壳物質密度的不同以及地貌的变化，都能决定地心引力的变化。这对于测定地球的形狀和大小有很大的意义。

^① 原文为 Macca, 此处系指物理学上的“質量”，并非与“数量”对等的“質量”。——譯者

談到球体和橢圓体的形狀，我們所指的是它們表面的、理想的、正確的形狀；但是，實際的地表形狀非常複雜，有高山、平原和海洋，等等。

考慮到地球表面的絕大部分（71%）被海洋的水所佔據，並且考慮到水面有正確的幾何形狀，因而決定以大洋中靜止的水面作為地球的形狀、以水面作為地球大小的標準。設想，以多數運河貫穿各大陸，使水漫布全部地球表面，則得出一個被水封閉的、由水組成的表面，這一表面即可作為整個地球的形狀。

當研究地球的形狀時，常應用水準面這一概念，所謂水準面是一連續的表面，此表面于其所有點上皆垂直于鉛垂綫。在位於不同水平上的多數水準面中，所利用的是平均水準面，平均水準面與海洋中靜止水的平均水平面相符合。

由平均水準面所形成的地球的形狀，稱為大地球體。按形狀來說，大地球體近于橢圓體。

鉛垂綫的方向與地殼的密度有關係，因而可以說，大地球體表面的形狀，在很大程度上是與該地區的地殼的密度有關係的，並且可以用鉛垂綫的方向來確定。

這就是地球（大地球體）的形狀與其內部自然構造的關係和制約關係。

大地球體的表面及與其形狀最相似的、弗·恩·克拉索夫斯基橢圓體之間的實際高度的差別，表明于圖5中。圖5中所表示的為大地球體沿赤道綫的斷面。可以看出來，以橢圓體的表面為準，大地球體的高度在這一方向上的變化