

全国矿政管理系列教材

矿山测量 与矿图

吴蕴珉 主编



地质出版社

TD17
W-924

全国矿政管理系列教材

矿山测量与矿图

吴蕴珉 主编

地质出版社

· 北 京 ·

《全国矿政管理系列教材》编委会

主 任 傅鸣珂

副主任 许绍倬 朱思贵 李万亨 陈庆寿

委 员 孟澍森 李世法 杜国银 曾键年 金愉中 叶志斌

秘 书 胡鹏兴

图书在版编目(CIP)数据

矿山测量与矿图/吴蕴珉主编. -北京:地质出版社,1998.5

全国矿政管理系列教材

ISBN 7-116-02559-6

I. 矿… II. 吴… III. ①矿山测量②矿山测量-制图 IV. TD17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 07033 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:郑长胜

责任校对:田建茹



北京市朝阳区小红门印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:8.5 字数:200000

1998 年 5 月北京第一版·1998 年 5 月北京第一次印刷

印数:1~3000 册 定价:16.00 元

ISBN 7-116-02559-6

P·1887

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1—1 测量学与矿山测量的任务.....	(1)
§ 1—2 地球的形状和大小.....	(2)
§ 1—3 地面点位的确定.....	(3)
第二章 方向、距离与角度测量	(12)
§ 2—1 方向测量	(12)
§ 2—2 距离测量	(14)
§ 2—3 角度测量及视距测量	(16)
第三章 水准测量	(28)
§ 3—1 水准测量的原理	(28)
§ 3—2 水准测量的仪器和工具	(28)
§ 3—3 水准仪的使用	(30)
§ 3—4 水准测量的作业与计算	(30)
§ 3—5 水准测量的检核	(31)
第四章 小地区控制测量	(34)
§ 4—1 控制测量概述	(34)
§ 4—2 经纬仪导线测量	(34)
第五章 地形图的认识和应用	(42)
§ 5—1 地形图的基本知识	(42)
§ 5—2 地形图的应用	(50)
第六章 矿井联系测量	(56)
§ 6—1 矿井联系测量概述	(56)
§ 6—2 一井定向	(58)
§ 6—3 两井定向	(61)
§ 6—4 高程联系测量	(63)
第七章 井下经纬仪导线测量	(66)
§ 7—1 概述	(66)
§ 7—2 矿用经纬仪的构造	(67)
§ 7—3 井下经纬仪导线测量的作业方法	(67)
§ 7—4 井下悬挂罗盘仪导线测量	(70)
§ 7—5 井下高程测量	(72)
第八章 井巷施工测量	(75)
§ 8—1 巷道开切的测量工作	(75)
§ 8—2 巷道中线点的测设	(76)

§ 8—3 曲线巷道中线的测设	(77)
§ 8—4 巷道腰线点的测设	(79)
第九章 贯通测量	(83)
§ 9—1 概述	(83)
§ 9—2 水平巷道的贯通	(84)
§ 9—3 倾斜巷道的贯通	(84)
§ 9—4 竖井的贯通	(85)
§ 9—5 贯通后实际偏差的测定及中、腰线的调整	(86)
§ 9—6 地质勘探工程中的贯通测量	(88)
第十章 矿山测量图及其应用	(90)
§ 10—1 概述	(90)
§ 10—2 矿图的标高投影	(91)
§ 10—3 采掘工程图	(98)
§ 10—4 主要巷道平面图	(104)
§ 10—5 井底车场平面图	(105)
§ 10—6 井上下对照图	(105)
第十一章 露天矿山测量	(107)
§ 11—1 露天矿山测量控制网	(107)
§ 11—2 露天矿山生产测量工作	(114)
§ 11—3 露天矿山的线路测量	(120)
§ 11—4 露天矿山测量图	(128)
主要参考文献	(132)

第一章 绪 论

§ 1—1 测量学与矿山测量的任务

一、测量学的任务

测量学是研究地球的形状及大小,并确定地球表面点位关系的科学,属于应用技术科学。简言之,测量学是告诉我们怎样利用一些测量工具、方法来测定地球表面上一些点与点之间的方向、距离、角度和高差,从而确定整个地球或地球表面局部地区的形状、大小。测量学的主要任务是:

1. 研究确定地球的形状和大小——属大地测量学;
2. 测绘各种平面图或地形图——属地形测量学(即测量学);
3. 将图上各种设计测设到现场(简称放样),或将地面设施测绘到图上——属工程测量学;

测量学是矿山测量的基础,也是矿山测量的必要组成部分,即从地面通过井筒测量到井下,所以矿山测量是测绘、地质及采矿三者的交叉边缘学科。它既是采矿学的一部分,又是工程测量学的分支,主要为矿山建设、地质勘探、掘进工程和采矿生产直接服务。

二、矿山测量的任务

矿山测量工作是矿山建设和生产时期的全部测绘工作,其任务有:

1. 进行矿区地面测量和地形图的测绘;
2. 进行地面和井下的联系测量和井下各种施工测量;
3. 测绘各种矿山专用图和反映采掘进展的工程图;
4. 对矿区岩层和采空区地表移动的观测与研究;
5. 对矿产储量的计算与管理。

为了完成上述任务,地质及采矿掘进工程技术人员以及矿山管理者,就必须了解和掌握基本测量工作(即如何定方向、量距离、测角度、测高差)、地形图的测绘过程和应用、地面、井下在同一坐标系统的联系测量,以及一切井下工程测量。尤其要重视测量基本技能的训练,要理论结合实际地学习,才能真正指导和解决矿井生产中的各种实际问题。

三、测量工作的作用

测量工作在社会主义建设中非常重要,如在城市规划,矿山建设,铁路、公路、桥梁、房屋的修筑,河流的综合治理等方面,都需要测量资料、图纸进行规划、设计和施工。在军事上,如国界划分、军事战略部署、作战方案制定等均需用地形图。在农业方面,如农村综合规划、平整土地及农田水利规划等均需通过测量工作来完成。在科学研究方面,如研究地壳升降、陆地变迁、地震预报等均可通过精密测量来实现。总之,测量工作在人们心目中是“建设的尖兵”,“军队的眼睛”。

§ 1—2 地球的形状和大小

测量学是确定地球表面点位关系的科学,测量工作是在地球表面进行的。因此,首先需要了解地球总的形状和大小。地球表面是高低起伏不平的,有高山、深谷、河流、平原、海洋;但这些高低起伏与地球总体相比是微不足道的。通过长期的测量工作和科学调查得知,地球的陆地面积只占全球表面的 29%,海洋面积约占全球表面的 71%,亦即地球表面有 2/3 以上被海水面所覆盖。因此,可把地球总的形状看作是被海水包围的球体。对于地球实体的形状和大小,可粗略地看作为一个扁球体。长轴半径为 6378km,短轴半径为 6357km。当研究面积不大时,可把地球看作为圆球,其平均半径约为 6370km,而世界最高峰——我国的珠穆朗玛峰高出海平面 8848.13m。世界最深海渊——太平洋西部的马里亚纳海渊,低于海平面约 11022m。这样的高低起伏,相对于地球的平均半径而言,当然是微不足道了。

既然地球总体形状可看作被海水面包围的球体,我们把处于静止状态的水面称为水准面。在地球重力场中,水准面上各点处处均与该点的重力方向相垂直,即同一水准面上各点的重力位相等,故水准面又称重力等位面。在测量工作中,仪器的整置,均以水准气泡为依据,所以水准面是测量的基准面。它可通过在海边设观测站,经长期观测而得。由于观测站可以有无数多个,导致选用的水准面也有无数多个。我们可设想:由于重力的影响,平静的海水面无限扩展、延伸,穿过大陆岛屿而形成自行闭合的曲面,这个面称为大地水准面,用它来表示地球的形状最为理想。由大地水准面所包围的闭合形体称为大地体。大地水准面是水准面之一,也是一个由于地球引力和地球自转时所产生离心力(两者合力称为重力)的重力等位面,即大地水准面上的重力位处处相等,并与其上的重力方向成正交。由于地球内部质量分布不均匀,而引力的大小与此有关,以致引起地面各点的重力方向产生不规则的变化。所以实际上大地水准面是一个不规则的曲面,它不能用简单的几何形状和数学公式来表达。

关于大地水准面的更确切的定义,目前尚在研究中。当我们还不能唯一地确定它时,在历史上各国(或地区)均选择一个平均海水面来代替它。例如,我国就在青岛设立了观测站,通过长期测定潮汐运动的结果,采用 1956 年测定的黄海平均海水面来代替大地水准面。所以有“与平均海水面相吻合的水准面,称为大地水准面”的习惯说法。

由上所述可知:大地体表面存在着不规则的起伏,这主要是由于地壳的物质分布不均匀所引起的,而地壳的质量仅占地球总质量的 1/65,所以,从整体上看,这种起伏并不很大。故

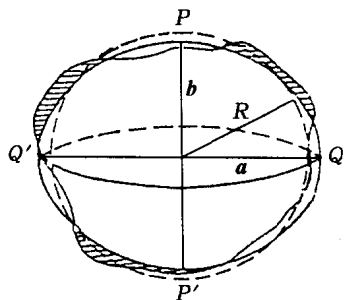


图 1—1

大地体还是一个相当接近于地球形状的形体,但这只是一个不能用数学公式来表示的复杂形体。如果把地球表面的形状投影到大地体上,将无法进行测量计算工作。为此,我们选择了一个具有微小扁率、非常接近于大地体的又可用数学式表达的几何形体来代替大地体。我们通常称它为参考椭球体,或称旋转椭球体。旋转椭球体是一个规则的数学曲面(按其长半径 a , 扁率 α 两个参数即可确定之)用来代替大地水准面,以表示地球的形状,并可作为测量工作的基准面。我们就在这个曲面上建立大地坐标系。

旋转椭球体是以椭圆 $PQP'Q'$ 绕其短轴 PP' 旋转而成(见图 1—1),其形状和大小可由长半径(赤道半径) a ,短半径(地轴半径) b ,及扁率 $\alpha\left(=\frac{a-b}{a}\right)$ 三元素来确定。几个世纪以来,国内外许多测量学者曾多次测算出椭球体的元素值。我国从 1953 年起采用原苏联克拉索夫斯基椭球体元素值,即:

$$a = 6\,378\,245\text{m}$$

$$b = 6\,356\,863\text{m}$$

$$\alpha = 1/298.3$$

实际的测量工作就是在克拉索夫斯基椭球体上建立坐标网,并把实地测得的各种数据归算到这个椭球体面上来处理。

1979 年,第 17 届国际大地测量与地球物理联合会通过,并推荐椭球体元素值为:

$$a = 6\,378\,137\text{m}$$

$$b = 6\,356\,752\text{m}$$

$$\alpha = 1/298.257$$

目前,我国正利用人造卫星的观测成果和全国大地测量资料,计算适应我国实际的椭球体元素值。

当测区面积不大时,由于参考椭球体扁率很小,在普通测量中,可把椭球体当作圆球来看待,其半径为 R : $R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6\,370\text{km}$

最近,根据人造卫星资料推算出,地球呈一个南、北半球不对称的梨形。对于椭球体来说,北半轴长了 19m、南半轴短了 26m。随着科学技术日新月异地发展,相信人们对地球的形状和大小的认识也将日臻完善。

§ 1—3 地面点位的确定

选择参考椭球体的目的之一是为了在其上建立统一的坐标系统,以确定地面点的空间位置。它是用坐标和高程来表示的,犹如数学上用的 x 、 y 、 z 三个量表示一样。但在测量工作中,根据不同的需要,可以采用不同的坐标和高程系统。

一、地理坐标

当研究和测量整个地球的形状、大小,或进行大面积的工作时,可采用地理坐标来确定地面点在大地水准面上的投影位置坐标。地理坐标有两种表示方法:

(一) 天文地理坐标(简称天文坐标)

用天文经度、纬度来表示地面某点位置的坐标,称为天文地理坐标。其前提是把地球近似地当作一个圆球体,见图 1—2。图中,NS 为地球的自转轴,也称地轴。它与地球表面交于 N(为北极)、S(为南极)点。

通过地轴的任一平面称为子午面。子午面与地球表面的交线称为子午线,也称经线。其中,通过英国原格林尼治天文台(因为伦敦的浓雾和拥挤,迫使天文台自 1959 年起已迁至 75km 以外的赫斯特莫尼尤克斯,国际上已改为以平均天文台为准)的子午线,称为首子午线。通过地球中心,并与地轴正交的平面称为赤道面。它与地球表面的交线称为赤道,其他不通过球心(但也与地轴正交)的平面和地球表面的交线称为纬线。

从图1-2中可见, P 点的位置可由其经度和纬度来确定。经度是过 P 点的子午面与首子午面间所夹的两面角, 以 λ 表示。从首子午线向东计, 由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经; 从首子午线向西计, 由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。地球上东经 180° 与西经 180° 是同一个子午面。我国各地的经度都是东经。纬度是过 P 点的铅垂线与赤道面在该子午面内的夹角, 以 φ 表示。从赤道面向北计, 由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬; 从赤道面向南计由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。我国疆域全部在赤道以北, 各地的纬度都是北纬。例如北京某地的地理坐标为: 东经 $116^\circ 28'$, 北纬 $39^\circ 54'$ 。武昌某地的地理坐标为: 东经 $114^\circ 27'$, 北纬 $30^\circ 31'$ 。

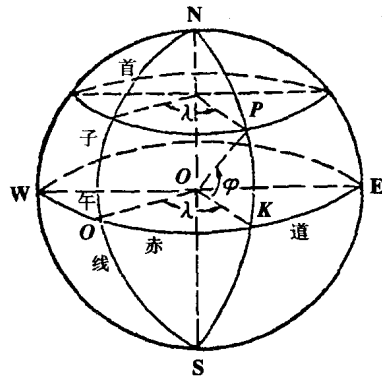


图 1-2

由于地球自转一周为 24h, 相当于经度 360° , 所以经差 15° , 时差为 1h。若纬差 1° , 其弧长约为 111km。

表示天文地理坐标的经度和纬度, 是用天文测量的方法来测定的。

(二) 大地地理坐标(简称大地坐标)

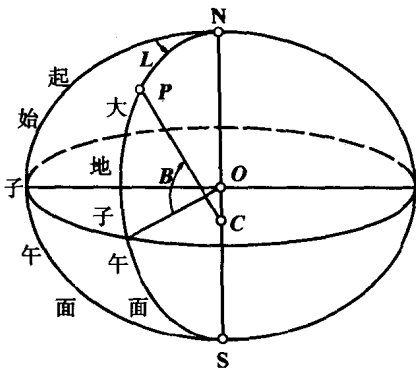


图 1-3

大地坐标与天文坐标的差异, 主要在于: 它是用旋转椭球体来代替地球形状。这样, 天文坐标是以地球的垂线为准, 而大地坐标则以旋转椭球体的法线为准。

图 1-3 为一旋转椭球体。椭球体面上 P 点的位置可由其大地经度和大地纬度来确定。大地经度是过 P 点的大地子午面与首子午面间所夹的两面角, 以 L 表示; 大地纬度是过 P 点的法线 PC 与赤道面在该子午面内的交角, 以 B 表示。

由于地壳内部物质分布不均匀, 地面各点的垂线和法线的方向不一致, 其间的夹角称为该点的垂线偏差, 一般为 $2'' \sim 6''$; 在重力异常区, 可达 $10'' \sim 30''$ 。这方面的问题将由大地测量学来解决。

天文坐标与大地坐标可以通过下式来换算。即:

$$L = \lambda - \frac{\eta}{\cos \varphi}$$

$$B = \varphi - \xi$$

式中: η ——东西方向上的垂线偏差分量;

ξ ——南北方向上的垂线偏差分量。

二、平面直角坐标

由上所述, 大地水准面是曲面。要把曲面展开成平面就会产生变形, 这就需要通过地图

投影的方法来解决。当测量区域较小时,曲面可认为近似于平面,并可用测区中心点 a 的切平面 p 来代替曲面(见图 1—4)。则地面上的点 A 在投影面 p 上的位置 a 就可以用平面直角坐标来确定。在测量工作中采用的平面直角坐标与数学上是不同的。习惯以南北方向为纵轴,定为 X 轴,向北为正,向南为负;以东西方向为横轴,定为 Y 轴,向东为正,向西为负(见图 1—5)。象限按顺时针方向依次注记为 I、II、III、IV。这种平面直角坐标系的特点是,所有直线方向都是从纵坐标轴北端起,顺时针量测其方位的。任何一点 P 的位置可用 x_p, y_p 来表示。要确定 x_p, y_p 只需测出角度 α 、距离 S ,就可用三角公式计算出来。目前,我国采用的是高斯-克吕格平面直角坐标。它是用高斯-克吕格投影方法得到的。

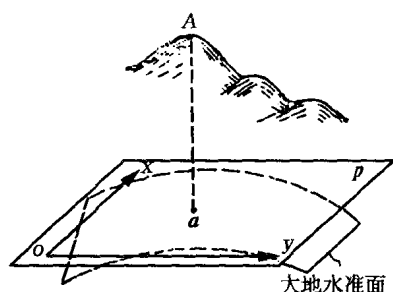


图 1—4

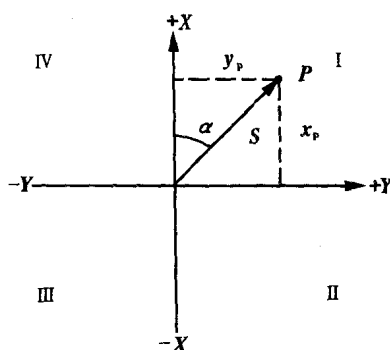


图 1—5

三、高斯-克吕格投影

当测区范围较小时,可以把大地水准面当作平面看待。但当测区较大,其范围为半径大于 10km 的面积时,再把球面当作平面,必然会发生各种变形。因此,必须用地图投影的方法来解决。地图投影方法很多,我国就采用了高斯投影方法,用高斯平面直角坐标表示地面点在投影面上的位置。

(一) 高斯-克吕格投影的概念

高斯-克吕格投影是一种等角投影,即投影后,角度不变,保持图形相似。这种投影方法从几何意义上来看,就是设想用一个椭圆柱套在地球椭球体外面,使椭圆柱的中心轴线通过地球的中心,并使球面上某一条子午线与椭圆柱相切,这条子午线称为中央子午线,如图 1—6 所示。按其等角投影条件,将中央子午线东西两侧各一定范围投影带内的经纬线投影到椭圆柱面上。然后将椭圆柱面沿着通过地球南北极的母线 $A-A$ 切开,并展成平面,即得该投影带内的经纬线在平面上的投影所形成的经纬线格网,如图 1—7 所示。

其投影结果是:

1. 中央子午线 NDS 的投影为一条直线,且投影后长度无变形,其余经线的投影为凹向 NDS 的对称曲线。
2. 赤道的投影也是一条直线,其余纬线的投影是凸向赤道的对称曲线;
3. 经纬线投影后,仍然保持互相垂直的关系,即投影后角度无变形;
4. 中央子午线和赤道的投影为互相垂直的直线,成为其它经纬线投影的对称轴。

若以中央子午线的投影为 X 轴,赤道投影为 Y 轴,其交点为坐标原点 O ,即形成高斯平面直角坐标系。

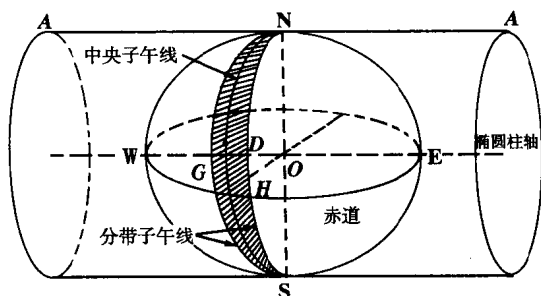


图 1—6

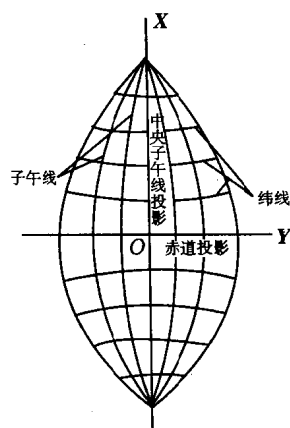


图 1—7

(二) 高斯投影分带和编号

如上所述,虽然高斯投影其角度无变形,但在长度变形上,除中央子午线无变形外,离中央子午线愈远,其变形就愈大。这对测图、用图均不利,为了限制这种变形,采用缩小投影区域的分带投影法。

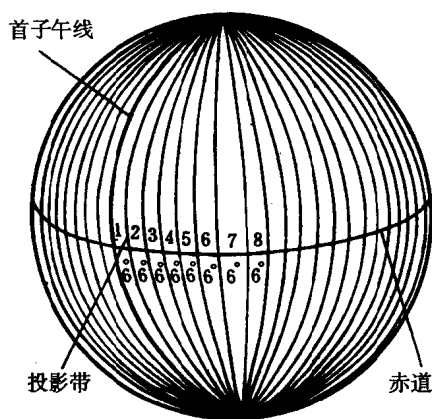


图 1—8

高斯投影分带是从首子午线开始,自西向东,按经差 6° 为一带(称为 6° 带),将整个地球分为 60 个条带,逐一分别投影,带的编号依次为 1、2、3、……60,如图 1—8 所示。位于各投影带正中间的子午线,称为该带的中央子午线,其经度 λ_0 的计算式为: $\lambda_0 = 6^\circ n - 3^\circ$ (n 为投影带编号)。各投影带以中央子午线为对称轴,东西经差为 3° ,这就是 6° 分带法。 6° 带两条边界经线之间的宽度,在赤道上约为 660km。

根据投影长度变形分析, 6° 分带能够满足 1:25000 及更小比例尺测图的精度要求。但如进行 1:10000 以上的大比例尺测图时,要求投影变形更小,再采用 6° 分带就不能满足测图的精度要求,则应采用 3° 分带法。即将投影带的宽度缩小为 3° 的条带,

再逐一分别投影。 3° 分带法是从东经 $1^\circ 30'$ 起算,每经差 3° 划分为一带,将整个地球划分为 120 个条带,其编号为 1、2、3、……120。每投影带中央子午线的经度 λ'_0 的计算式为: $\lambda'_0 = 3^\circ n'$ (n' 为 3° 带的编号)。在此情况下, 3° 带的中央子午线一部分与 6° 带的中央子午线重合,一部分则与 6° 带的边界子午线重合,如图 1—9 所示。

例如:北京某地经度为 $E116^\circ 28'$,则它所在的 6° 带编号为 20,其 3° 带编号为 39。武昌某地经度为 $E114^\circ 27'$,它所在的 6° 带编号也为 20,而 3° 带编号则为 38。

(三) 高斯平面直角坐标

上述由高斯投影所形成的以中央子午线的投影为 X 轴,赤道的投影为 Y 轴,两轴的交点为原点而建立起来的坐标系,叫做高斯平面直角坐标系,如图 1—10 所示。

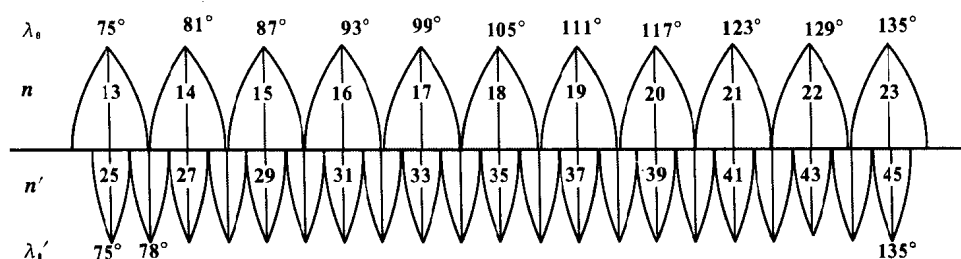


图 1—9

为了便于应用,在每一投影带内,用一系列平行于 X 轴和 Y 轴的直线,组成直角坐标格网,其间隔一般为 1km ,故此格网称为公里格网。

按照直角坐标系的规定,其横坐标值 y 位于中央子午线以东为正,以西为负;纵坐标值 x 位于赤道以北为正,以南为负。由于我国位于北半球,全部领土位于赤道以北,故 x 坐标值均为正,而 y 坐标值则有正有负。为了避免横坐标 y 出现负值,统一规定将每一带的纵坐标轴往西移 500km (见图 1—10)。同时,为了能区别点的坐标属于哪个投影带,规定在横坐标 y 值前冠以投影带的编号。例如:我国某点的横坐标 y 值为 19236325.02m ,因为我国投影带号均为两位数,故知 19 表明该点位于第 19 投影带,其横坐标值 y 为 236.32502km ,实际上由于坐标纵轴已西移 500km 。故真正横坐标 y 值应为 $236.32502\text{km} - 500\text{km} = -263.67498\text{km}$,即表示该点位于中央子午线以西 263.67498km 处。

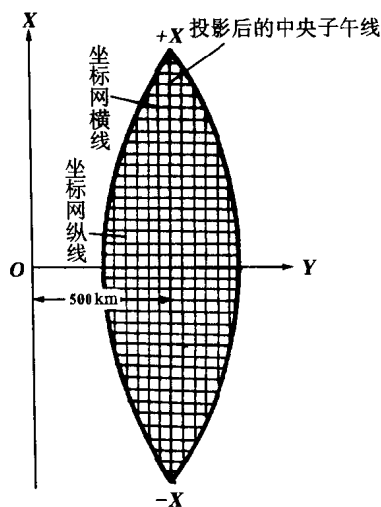


图 1—10

四、我国的新旧两种坐标系

(一) 1954 年北京坐标系

我国从 1954 年开始采用的“1954 年北京坐标系”,是利用我国东北地区部分一等三角锁进行局部平差后确定的。平差时采用克拉索夫斯基椭球体参数。

1953 年,我国东北地区一等三角锁与原苏联进行过联测,再以联测的呼玛、吉拉林、东宁三个基线网端点为起点,推向全国各地。其大地原点位于原苏联列宁格勒的普尔科伐天文点圆形大厅中央。所以,实际上“1954 年北京坐标系”和原苏联 1942 年坐标系有一定的关系,但又不完全是原苏联的坐标系。例如,其中高程异常是以原苏联 1955 年大地水准面重新平差结果为起算值,按我国天文水准路线推算出来的;大地点高程则以 1956 年青岛观测站求出的黄海平均海水面为基准的。

40 多年来,我国按“1954 年北京坐标系”完成了大量的测绘工作,进行了天文大地网局部平差,通过高斯-克吕格投影,得到点的平面坐标,测制了各种比例尺的地形图。在我国经济、国防建设中发挥了巨大作用。在今后一个相当长时期内,该坐标系在一些部门中,可能将继续使用。

但是,由于这一坐标系还存在着一些缺点,随着科学技术的不断发展及各部门对测绘成果的广泛使用,显然难以满足要求。这是因为:

1. 确定“1954年北京坐标系”时,没有我国的资料,所采用的参考椭球面与适用于我国大地水准面的差距较大,存在由西向东系统性的倾斜,尤其在东部地区,最大可达几十米。而我国东部地区地势平坦,经济发达,系测制较大比例尺地图的地区,故对经济建设而言,要求参考椭球面与大地水准面较好地密合。然而,实际情况恰与此相反,而且克拉索夫斯基椭球参数长半径 a 的误差达 $\pm 60\text{m}$;而现在确定 a 时,除了采用几何法外,还采用激光、多普勒定位和卫星测高等新手段,一般认为误差仅在 $\pm 2\text{m}$ 左右。

2. 1954年北京坐标系,在定向上和当前国际与国内所采用的方向不相一致,如地轴的指向并不是我国目前使用的1968.0 JYD(中国科学院所属单位,根据1949年至1977年地极长期运动的研究,确定我国的地极原点为“JYD 1968.0”)。其首子午面也不是格林尼治平均天文台子午面,但在其附近。

3. 过去均采用逐级控制,局部平差的方法。一等锁平差的次序是从东北开始,经东部、中部,到西北和西南地区,由起算点推至新疆地区,再符合至与原苏联联测点时,坐标闭合差达14m。

4. 各种归算缺乏严密、统一的要求;不同等级平差区域衔接不一;加上传算距离长,误差积累较大,影响成果质量,致使局部地区存有明显的裂缝,造成三角点间的相对误差较大。

5. 名不符实,引起一些误解。如有些文献认为“1954年北京坐标系”原点在北京,有的又没有交待清楚,致使产生概念上的混乱。应该认为,“1954年北京坐标系”和原苏联1942年坐标系既有一定的关系,又有一定的差异。

鉴于“1954年北京坐标系”存在以上一些弊病,在全国天文大地网平差前,必须考虑建立一个更合适的新的坐标系。为此,国家测绘总局和中国人民解放军总参谋部测绘局于1978年4月,联合在西安召开的“全国天文大地网整体平差会议”决定:通过天文大地网整体平差计算,建立新的国家大地坐标系,并定名为“1980年国家大地坐标系”。

(二) 1980年国家大地坐标系

大地坐标系的大地原点,一般应该选择在国家中部附近,这样可以缩短推算大地坐标和大地水准面差距的路程,以减少推算误差的积累。大地原点的点位要稳固,便于长期保存。1980年国家大地坐标系的大地原点就设在处于我国中心位置的陕西省泾阳县永乐镇。它位于西安市西北方向约60km处,简称西安原点。

平差时,地球椭球体采用了国际大地测量与地球物理联合会于1975年第十六届大会上推荐的参数(简称IAG^①-75),即:

$$a = 6\,378\,140\text{m}$$

$$b = 6\,356\,755\text{m}$$

$$\alpha = 1/298.257$$

1980年国家大地坐标系有以下的优点:

1. 由于所采用IAG-75的参数是一个完整的系统。它既有几何参数,又有物理参数;既确定几何形状,又表明地球的基本物理特征,并将大地测量学和大地重力学的基本参数统一

^① IAG; INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY & GEOPHYSICS.

起来。新的定位系统,使椭球面和我国大地水准面有了较好的吻合,在全国范围内的大地水准面差距约在 20m 以内,零线有 2 条。

2. “1980 年国家大地坐标系”相应的地球椭球的短轴平行于由地球地心指向 1968.0 地极原点的方向。其首子午面平行于格林尼治天文台子午面,椭球面与大地水准面在我国境内最为密合。

3. 起算数据和观测元素都作了严格的统一处理,消除了原来大地网逐级控制、局部平差所产生的缝隙,提高了成果精度。

4. 为我国国民经济建设、国防建设和地学科学研究,以及测制各种比例尺地形图提供了统一、可靠的高精度控制基础。

五、用水平面代替水准面的范围

当测区范围较小,用水平面来代替水准面(如图 1—11)时,其允许范围究竟有多大? 设地面点 A、B、C 在大地水准面上的投影为 a、b、c 点,如用与该区域中心点相切的水平面代替大地水准面,则地面点 A、B、C 在水平面上的投影为 a'、b'、c' 点。现分析由于水准面的曲率对水平距离的影响。

因为大地水准面是一个复杂的曲面,所以在普通测量学中推导公式时,均近似地把它当作半径为 R 的球面来处理。

设 A、B 两点在大地水准面上的距离为 D,在水平面上的距离为 D',两者之差为 ΔD,此即用水平面代替水准面所引起的距离误差:

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \tag{1-1}$$

根据三角函数的级数公式,知: $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$, 且因 θ 角值一般很小,故可略去五次方以上的各项,只取其前两项代入式(1-1),从而得:

$$\Delta D = R\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta\right) = \frac{R}{3}\theta^3 \tag{1-2}$$

又因 $\theta = \frac{D}{R}$, 故有 $\Delta D = \frac{R}{3} \cdot \left(\frac{D}{R}\right)^3 = \frac{D^3}{3R^2}$, 即:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1-3}$$

将地球平均半径 R = 6 371km,以及不同的距离 D 代入式(1-3),便得表 1—1 所示结果。

表 1—1

D/km	ΔD/cm	ΔD/D
10	1	1 : 1 000 000
20	7	1 : 300 000
50	102	1 : 49 000
100	821	1 : 12 000

由表中可以看出,当 D = 10km 时,用水平面代替水准面所产生的距离误差为 1cm,只是距离的 1/1 000 000 这样小的误差,就是现在最精密的距离丈量,其精度要求也是允许

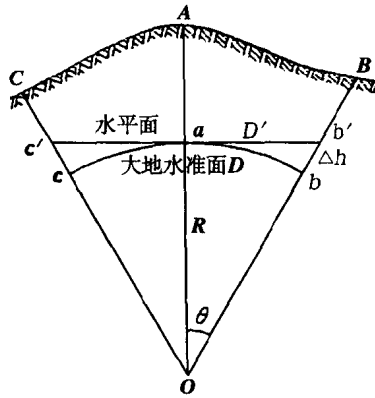


图 1—11

的。因此,可得出结论:在半径为 10km 的圆面积范围内进行长度测量工作时,可以不考虑地球曲率的影响,而把水准面当作水平面看待。

为了表明用水平面代替水准面对高程的影响,我们仍以图 1—11 来说明:

地面点 B 的高程应是铅垂距离 bB ,用水平面代替水准面后, B 点的高程为 $b'B$,两者之差为 Δh ,此即用水平面代替水准面所引起的高程误差:

$$\Delta h = bB - b'B = ob' - ob = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \quad (1-4)$$

同样,已知 $\sec \theta = 1 + \frac{1}{2}\theta^2 + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$,因 θ 角值很小,只取其前两项代入式(1-4)而得:

$$\Delta h = R \left(1 + \frac{1}{2}\theta^2 - 1 \right) = \frac{R \left(\frac{D}{R} \right)^2}{2} = \frac{D^2}{2R} \quad (1-5)$$

若用不同的距离代入式(1-5)中,便可得如表 1—2 所示的结果。

表 1—2

D/km	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h/\text{cm}$	0.31	2	8	31	71	125	196

从表中可以看出:用水平面代替水准面,引起的高程误差还是很大的,距离 200m 就有 0.31cm 的误差,这是不能允许的。因此,在高程测量时,即使距离很短,也应考虑地球曲率对高程的影响。

六、高程与高差

以上所述,均为确定空间某点在基准面上的投影位置。除此而外,尚需确定该点沿投影方向到基准面的垂直距离,即该点的高程。

如图 1—12 所示, $H_A, H_B, \dots$ 等为 A, B, C, D, E 等点的高程。若已知该点的坐标位置,这样,该点的空间位置才算最终确定。

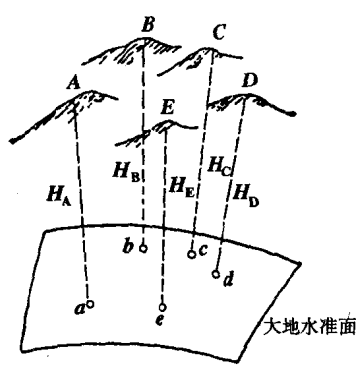


图 1—12

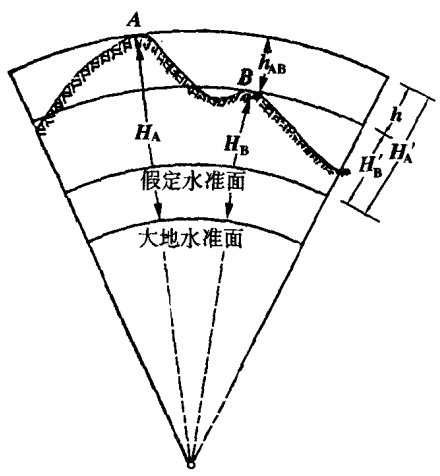


图 1—13

高程按起算的基准面不同而有绝对高程和相对高程之分:

(一) 绝对高程

地面某点至大地水准面的垂直距离称为该点的绝对高程或海拔。图 1—13 中 H_A, H_B 分

别为 A 、 B 两点的绝对高程。我国的绝对高程是以青岛港所设立的观测站,经长期观测和记录黄海海水面的高低变化,取其平均海水面的高程为零,作为大地水准面的位置,并作为我国计算高程的基准面。在青岛市内一个山洞里,建立了水准原点,其高程为 72.289m。全国各地的高程都是以它为基准测算出来的。这就是我国规定的 1956 年黄海高程系统。

1975 年我国登山队登上珠穆朗玛峰,测得其高程为 8 848.13m,这就是指珠峰峰顶距黄海平均海水面间的垂直距离。

(二) 相对高程

当有些地区引用绝对高程有困难时,可以采用假定高程系统,即采用任意水准面为起算高程的基准面。在该地区内,地面某点至任一假定水准面的垂直距离,称为该点的相对高程或假定高程。图 1—13 中的 H'_A 、 H'_B ,分别为 A 、 B 两点的相对高程。

(三) 高差

两个地面点之间的高程差称为高差。地面点 A 、 B 之间的高差为 h_{AB} 如图 1—13 所示:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-6)$$

由此可见,两点间的高差与起算的水准面无关。

思 考 题

1. 什么叫做大地水准面?其作用是什么?什么叫做绝对高程和相对高程?
2. 天文坐标和大地坐标有何区别?
3. 用水平面代替水准面,对距离和高差有什么影响?在多大范围内允许用水平面代替水准面?
4. 矿山测量的任务是什么?

第二章 方向、距离与角度测量

§ 2—1 方向测量

一、地面点的标志

要进行测量工作,首先应在地面上设立需要测定点的标志,共有两种:

(一) 永久性标志

要求精度较高,如需长期保留时,用水泥桩或金属标埋入地下,上刻十字或圆点作为点位。

(二) 临时性标志

要求精度不高,无需长期保存时,用木桩打入地面露出桩顶,钉一小钉作为点位。

为便于照准目标,在永久性标志点上需架设钢或木制觇标。在临时性标志点上可临时树立标杆。

二、标准方向

在测量工作中,当量出任两点间的水平距离后,该两点的相对位置仍未确定,如圆周上的所有点均与圆心成等距离,因此还必须知道该直线的方向,这就需要有一标准方向作为依据。测量工作常用的标准方向有三种:

(一) 真北方向

通过地球表面某点,指向地球北极的方向即为真北方向(或称真子午线方向)。它是用天文测量方法测定的,一般指向北极星的方向可以近似地作为真北方向。由于它在长时期内变化微小,故作为标准方向较为理想。

(二) 磁北方向

在地球表面某点的磁针静止时,磁针北端所指的方向即为磁北方向(或称磁子午线方向),它可用罗盘仪来测定。由于地球磁场的南北极与地球的南北极并不一致,而使磁北方向偏离真北方向某一角度,该角称为磁偏角,以 Δ 表示。磁北方向偏离真北方向以东叫东偏, Δ 取正号。磁北方向偏离真北方向以西叫西偏, Δ 取负号(见图2—1)。由于各种因素对地磁场的影响,各地区的磁偏角随时间、地点而不同,少则几分,多则几度。我国绝大部分地区的磁偏角为西偏,只有乌鲁木齐、南沙群岛、曾母暗

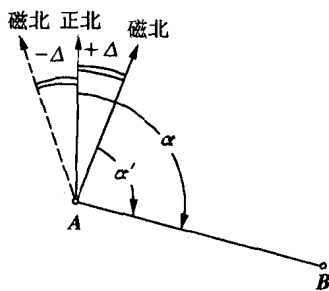


图 2—1

沙群岛的磁偏角为东偏。因此,选用磁北方向作标准方向,精度是不高的,只能作粗略依据。其唯一优点是近于真北方向,看起来方便,在测区不大,精度要求不高的工程及地质勘探工作中可采用之。对全国性大地区测量精度要求高时,则仍应选用真北方向作为标准方向。