

(第二版)

公路施工测量手册

GONGLU SHIGONG CELIANG SHOUCHE

聂让
付涛
编著



人民交通出版社

China Communications Press

要 目 录

Gonglu Shigong Celiang Shouce 公路施工测量手册

(第二版)

聂 让 涛 编 著

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本手册共分二十章,内容包括公路施工测量的基础知识、水准仪、经纬仪、平板仪、罗盘仪、陀螺经纬仪、全站仪等测量仪器的构造、操作、使用及检验校正;距离测量;水平角测量;方位角的测定;水准测量;三角高程测量;测量误差的基本知识;导线测量;地形图的测绘与应用;施工放样的基本方法;公路路线施工测量;桥涵施工测量;隧道施工测量及 GPS 卫星定位测量。

本手册内容全面、系统,实用性强。可供公路施工测量人员使用,亦可供大专院校相关专业师生学习参考。

公路施工测量手册

(第二版)

图书在版编目(CIP)数据

公路施工测量手册 / 聂让, 付涛编著. —2 版. —北京:
人民交通出版社, 2008.5
ISBN 978-7-114-07068-6

I. 公… II. ①聂…②付… III. 道路工程—施工测量—
手册 IV. U415.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 044706 号

书 名: 公路施工测量手册 (第二版)

著 者: 聂 让 付 涛

责任编辑: 丁润铎

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 26

字 数: 662 千

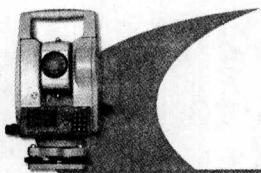
版 次: 2008 年 5 月 第 1 版

印 次: 2008 年 5 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07068-6

定 价: 65.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



前 言

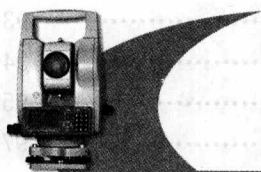
本手册(第一版)自 2000 年出版以来,深受读者的欢迎和支持,但在使用过程中,也显露出其中的不足。因此,借再版之机,对原手册内容作了较大幅度的修改和调整,增加了导线测量、地形图测绘和应用等章节,使内容更为系统、全面,更突出了本手册的实用性。

本书共分二十章、第二、三、四、五、六、七、八、九、十、十一、十二、十四、十五章由付涛编写;其余由聂让编写。全书由聂让统一校订。

由于作者水平所限,书中难免有不妥、疏漏和错误之处,敬请读者批评指正。

作者

2008 年 4 月



目 录

第一章 公路施工测量的基础知识	1
第一节 地球的形状和大小	1
第二节 测量的基准面	1
第三节 坐标系统和高程系统	3
第四节 用水平面代替水准面的限度	7
第五节 平面直角坐标的换算	8
第二章 水准仪	13
第一节 DS ₃ 水准仪和水准尺	13
第二节 自动安平水准仪	20
第三节 DS ₁ 精密水准仪	22
第四节 电子数字水准仪	34
第三章 经纬仪	44
第一节 DJ ₆ 光学经纬仪	44
第二节 DJ ₂ 光学经纬仪	52
第三节 光学经纬仪竖盘指标自动归零装置	54
第四节 电子经纬仪	55
第四章 平板仪	59
第一节 大平板仪	59
第二节 小平板仪	62
第五章 罗盘仪	64
第一节 罗盘仪的构造	64
第二节 罗盘仪的使用	65
第六章 陀螺经纬仪	66
第一节 陀螺经纬仪的构造	66
第二节 陀螺经纬仪的使用方法	67
第七章 全站仪	71
第一节 全站仪及其分类	71
第二节 红外测距原理	71
第三节 全站仪的结构及其辅助设备	73
第四节 全站仪的操作与使用	76
第五节 全站仪红外测距误差分析	79
第六节 全站仪测距部的检验	81
第七节 全站仪使用的注意事项及维护	84



第八章 距离测量	86
第一节 钢尺量距	86
第二节 钢尺的检定方法	93
第三节 钢尺量距的误差分析	94
第四节 距离的归化	95
第九章 水平角测量	97
第一节 水平角测量方法	97
第二节 水平角测量误差	101
第十章 方位角的测定	106
第一节 方位角的概念	106
第二节 用联测的方位获取起始方位角	110
第十一章 水准测量	112
第一节 水准测量原理	112
第二节 水准测量的实施及成果整理	114
第三节 三、四等水准测量的方法	120
第四节 跨河水准测量	123
第五节 水准测量误差	125
第十二章 三角高程测量	128
第一节 竖直角测量	128
第二节 三角高程测量	132
第三节 大气折光系数 K 的测定方法	135
第四节 三角高程测量的精度分析	137
第十三章 测量误差的基本知识	139
第一节 测量误差的来源及其分类	139
第二节 偶然误差的特性	140
第三节 衡量精度的标准	141
第四节 误差传播定律	143
第五节 直接观测平差	147
第十四章 导线测量	157
第一节 导线的布设形式	157
第二节 导线测量的外业工作	158
第三节 导线坐标计算中的基本公式	170
第四节 导线以角度、边长为观测量的坐标计算	174
第五节 导线以坐标为观测量的平差计算	180
第十五章 地形图的测绘与应用	182
第一节 地形图的基本知识	182
第二节 地形图的分幅与编号	185
第三节 视距测量	189
第四节 测图前的准备工作	190
第五节 碎部测量的方法	191

第六节	地形图的拼接、检查和整饰	194
第七节	地形图的应用	195
第十六章	施工放样的基本方法	207
第一节	测设已知水平距离的直线	207
第二节	测设已知水平角	209
第三节	测设已知高程	210
第四节	测设已知坡度线	211
第五节	测设点的平面位置	212
第十七章	公路路线施工测量	218
第一节	中线测量概述	218
第二节	路线交点和转点的测设	218
第三节	路线转角的测定	221
第四节	中线里程桩的设置	222
第五节	圆曲线主点的测设	223
第六节	测设里程桩的基本要求	225
第七节	圆曲线的测设方法	225
第八节	虚交圆曲线的测设	232
第九节	缓和曲线	235
第十节	圆曲线带有缓和曲线的曲线测设元素的计算及主点测设	237
第十一节	圆曲线带有缓和曲线的曲线测设方法	238
第十二节	圆曲线两端缓和曲线不等长的测设方法	247
第十三节	复曲线的测设	249
第十四节	回头曲线的测设	251
第十五节	公路中线逐桩坐标的计算	252
第十六节	用全站仪测设公路中线	257
第十七节	路线纵断面测量	260
第十八节	路线横断面测量	265
第十九节	竖曲线的测设	268
第二十节	路基施工测量	270
第二十一节	路面施工测量	272
第二十二节	挡墙施工测量	273
第十八章	桥涵施工测量	274
第一节	桥轴线长度的测量方法	274
第二节	桥梁三角网的布设形式	277
第三节	桥梁三角网的外业	278
第四节	桥梁三角网平差与坐标计算	279
第五节	桥梁施工的高程控制	289
第六节	施工前桥梁控制网的复制、检查及施工控制点的加密	290
第七节	桥梁墩、台定位	292
第八节	桥梁墩、台纵、横轴线的测设	311



第九节	桥梁基础的施工放样	312
第十节	涵洞的施工放样	323
第十一节	桥(涵)台锥坡放样	324
第十二节	桥梁架设施工测量	327
第十三节	桥梁的竣工测量	329
第十九章	隧道施工测量	331
第一节	隧道贯通误差	331
第二节	地面控制测量误差对贯通误差的影响	333
第三节	地面控制测量	339
第四节	隧道三角锁的平差与坐标计算	343
第五节	测量坐标与施工坐标的变换	356
第六节	路线进洞测量和进洞关系数据的计算	357
第七节	竖井联系测量	364
第八节	竖井传递高程的方法	370
第九节	洞内控制测量	372
第十节	隧道贯通误差的测定与调整	376
第十一节	隧道洞内中线的测设	379
第十二节	隧道施工放样	380
第十三节	隧道竣工测量	384
第二十章	GPS 卫星定位测量	385
第一节	概述	385
第二节	GPS 系统的组成	386
第三节	GPS 定位的坐标系统	387
第四节	GPS 卫星信号	390
第五节	GPS 定位原理	391
第六节	GPS 接收机	394
第七节	GPS 测量的实施	397
第八节	GPS 测量误差	400
第九节	GPS 实时动态测量	404
参考文献		408



第一章 公路施工测量的基础知识

第一节 地球的形状和大小

由于一切测量工作都是在地球上进行的,因此,必须了解地球的形状和大小。地球表面是不规则的,有高山、丘陵、平原、峡谷、海洋、湖泊和河流等。其中最高的珠穆朗玛峰高出海面 8 844.43m;最低的太平洋西部马里亚纳海沟最深点低于海面 11 022m。虽然这样的高低起伏很大,但相对于半径为 6 371km 的地球而言,还是微小的。此外,考虑到地球表面海洋的面积约占地球总面积的 71%,陆地面积只占 29%,因此设想将由静止的海水面延伸到陆地围成封闭的曲面作为地球的形状。自由静止的海水面称为水准面,水准面处处与铅垂线相垂直。由于海水潮起潮落,时高时低,所以水准面会有无数个,将其中通过平均海水面的一个称为大地水准面。大地水准面所围成的形体称为大地体。用大地体表示地球形状是恰当的。但是,大地体是一个非常复杂、不规则的形体,其表面为物理面。为便于处理成果,测量上通常以非常接近于大地体的旋转椭球体作为地球的形状。这是一个可以用数学公式表示的几何形体,称为地球椭球体或参考椭球体。地球椭球体是两极之间略为扁平的椭球体,若分别以 a 、 b 表示地球椭球体的长半轴和短半轴,其扁率 α 约为:

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \approx \frac{1}{298}$$

因为地球的扁率很小,当测压面积不大时,可以把地球当作圆球,其半径取 6 371km。

第二节 测量的基准面

一、水准面和大地水准面

水准面是一个处处与铅垂线垂直的连续曲面。在观测水平角时,整平经纬仪后,仪器的竖轴即位于铅垂线方向上,水平度盘与竖轴垂直,其所在的平面即是水准面的切平面。因此,所测的水平角实际上就是观测方向线在水准面上的投影线之间的夹角。在测量水平距离时,也是以铅垂线为依据的,所以所测的水平距离是指不同高度的水准面上的距离。用水准测量方法测定两点之间的高差,所测高差是指过这两点的水准面的铅垂距离。由此可见,铅垂线和水准面是测量外业所依据的基准线和基准面。

水准面有无数个。为了使测量成果具有共同的基准面,需要选择一个十分接近地球自然表面而又能代表地球形状和大小水准面作为统一的标准,这就是大地水准面。



研究证明,在不同水准面上测得的水平角,将其归化到大地水准面上时改换很微小,完全可以忽略不计,因此在地面上测得的角值均可直接作为大地水准面上的角值。对于地面上测得的直线长度,虽然不能直接作为大地水准面上的长度,但可以根据转换公式将其换算到大地水准面上。地面点的高程则是直接由大地水准面起算的。

二、参考椭球体

大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面,它不是一个光滑的几何面,无法用数学公式将其精确地表示出来,因而也就不能精确地描绘其形状,进而无法在这个面上进行测量成果的计算。所以,必须用一个与大地体十分相近,并能用数学模型表示的规则形体,作为进行测量成果计算的基准面,这就是旋转椭球体。世界各国通常均以旋转椭球体代表地球的形状,称为地球椭球体。地球椭球体的大小和形状以长半轴 a 和短半轴 b 或扁率 α 来表示,与大地体最接近的地球椭球体称为总地球椭球体。总地球椭球体必须以全球范围的天文测量、大地测量和重力测量资料为依据才有可能确定,然而目前尚难以获得占地球面积 71% 的海洋面的测量资料,所以许多国家只能根据本区域局部的测量资料推算出与本国或本区域大地水准面密切配合的地球椭球体,并将其作为测量计算的基准面。这种地球椭球体称为参考椭球体。由此可见,参考椭球体有许多个,而总地球椭球体只有一个。

我国从 1949 年起采用前苏联的克拉索夫斯基椭球,其长、短半轴及扁率分别为:

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

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

$$\alpha = \frac{1}{298.3}$$

目前我国所采用的参考椭球为 1980 年国家大地测量参考系(1975 年国际椭球),其长、短半轴及扁率分别为:

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

$$b = 6\,356\,755.3\text{m}$$

$$\alpha = \frac{1}{298.257}$$

全球定位系统(GPS)所使用的坐标系为 WGS—84。WGS—84 椭球采用国际大地测量与地球物理联合会第十七届大会大地测量常数推荐值:

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

$$b = 6\,356\,752.314\,2\text{m}$$

$$\alpha = \frac{1}{298.257}$$

由于大地水准面是一个不规则的曲面,用任何一个参考椭球面与大地水准面进行配合,都不可能使两个曲面完全重合,因而只能寻求最佳的配合,使各处的差异达到最小。通常表示大地水准面与参考椭球面之间差异的量为垂线偏差和大地水准面差距。垂线偏差是指地面上一点向大地水准面作一铅垂线与该点向参考椭球面作一法线之间的夹角,如图 1-1 所示。而大地水准面差距是指大地水准面超出参考椭球面的高度,如图 1-2 所示。

在实际测量中,都以参考椭球面作为计算的基准面,而外业测量都是以大地水准面(铅垂线)为准的。为此,对于精密测量,必须把以大地水准面为准的测量结果归化到参考椭球面上,然后才能进行计算。



图 1-1 垂线偏差

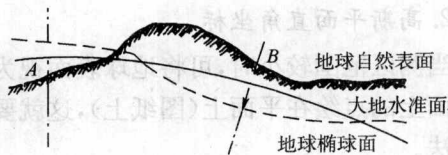


图 1-2 大地水准面差距

第三节 坐标系统和高程系统

地面上的点是空间点,需要三个量来确定。在测量工作中,这三个量通常用地面点在球面或平面上的投影位置以及地面点到大地水准面的铅垂距离来表示,即确定地面点空间位置的坐标和高程。

一、地面点的坐标

根据实际需要,可选用下列三种坐标系统来表示地面点的位置。

1. 地理坐标

地理坐标是以经度和纬度表示的。它可以把整个地球面上的点置于一个坐标系中,称为绝对坐标。由于采用的基准面不同,又可分为天文地理坐标和大地地理坐标。

(1) 天文地理坐标

天文地理坐标是以大地水准面作为基准面,并以铅垂线为依据。坐标以天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。

过地面上任一点的铅垂线并与地轴平行的平面,称为该点的天文子午面。其与地面的交线称为该点的天文子午线。过一点的天文子午面与首子午面(即过英国格林尼治天文台的天文子午面,经度的起算点)所夹的二面角,称为该点的天文经度。首子午线上的点经度为 0° ,向东、向西各 180° ,在首子午线以东为东经,以西为西经。过一点的铅垂线与赤道平面所组成的角度,称为该点的天文纬度。赤道上的点纬度为 0° ,向北、向南各 90° ,在赤道以北为北纬,以南为南纬。

(2) 大地地理坐标(大地坐标)

大地地理坐标是以参考椭球体作为基准面,并以法线为依据。坐标以大地经度 L 和大地纬度 B 表示。

包含参考椭球面的法线及其短轴的平面,称为大地子午面。其与椭球面的交线称为子午线。过一点的大地子午面与首子午面所夹的二面角,称为该点的大地经度,也分东经、西经。过一点的椭球面法线和赤道平面所组成的角度,称为该点的大地纬度,也分北纬、南纬。

大地经度和纬度是根据一个起始的大地点即大地原点的大地坐标,通过大地测量所得的数据推算得到。我国现以位于陕西省泾阳县永乐镇的国家大地原点为起算点,建立了统一坐标系,称为“1980 年国家大地坐标系”,在此之前采用“1954 年北京坐标系”。

由于垂线偏差的存在,地面点的天文地理坐标和大地地理坐标是不相同的。在测量工作

中,地面点的投影位置一般用大地地理坐标 L 和 B 表示。但实际测量时,如测距或测角均以铅垂线为准,因而所测得的数据必须经过换算才能得到大地地理坐标。在一般测量工作中,当精度要求不是很高时,则可不必换算。

2. 高斯平面直角坐标

当测区范围较小时,可将地球表面视为平面,但若测区范围较大,则不能视为平面。如何将球面上的点绘在平面上(图纸上),这就要求选用适当的投影方法。我国通常采用高斯投影的方法。

(1) 高斯投影

高斯投影属于正形投影,即在小区域内,椭球面上的图形投影到平面上,图形与投影保持相似或角度保持不变。正形投影在数学上称为等角投影。

如图 1-3 所示,高斯投影是设想将一个圆柱面横套在地球椭球体的外面,并与椭球面上的一条子午线相切,该子午线称为中央子午线。圆柱体的中心轴线通过椭球体的中心并与地轴正交。按照正形投影,将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到圆柱面上,再将此圆柱面沿过两极的母线切开并展成平面,如图 1-4 所示。这个平面称为高斯投影平面。

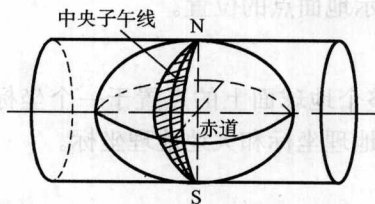


图 1-3 高斯投影

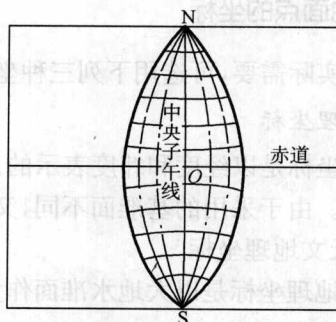


图 1-4 高斯投影平面

在高斯投影平面上,离中央子午线越远,长度变形越大。为了将长度变形限制在测量精度所容许的范围内,必须进行分带投影。通常采用 6° 分带的方法,如图 1-5 所示,即从首子午线起每隔经差 6° 为一带,将椭球面由西向东分为 60 个带,带号依次为 1, 2, 3, ..., 60。我国地处第 13 号带至第 23 号带上,共计 11 带。中央子午线的经度 L_0 可按下列公式计算:

$$L_0 = 6n - 3 \quad (1-1)$$

式中: n —— 带号。

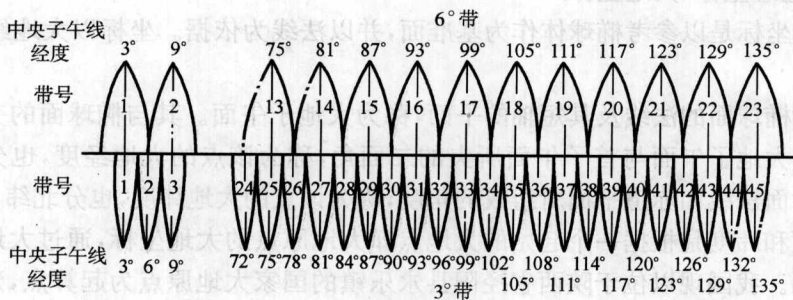


图 1-5 高斯投影带

为满足大比例尺测图和工程测量的精度要求,可采用 3° 带,如图1-5所示。 3° 带是从东经 $1^\circ30'$ 起由西向东每隔经差 3° 分为一带,共分120个带。这样划分就使得 3° 带的中央子午线一部分与 6° 带的中央子午线重合,而另一部分与 6° 带的分界子午线重合。 3° 带的中央子午线经度 L'_0 。可按下式计算:

$$L'_0 = 3n' \quad (1-2)$$

式中: n' —— 3° 带的带号。

(2) 高斯平面直角坐标

在高斯投影平面上,中央子午线和赤道的投影都是直线,而且相互垂直。故以中央子午线与赤道的交点 O 作为坐标原点,以中央子午线的投影为纵坐标轴 x ,向北为正,向南为负;以赤道的投影为横坐标轴 y ,向东为正,向西为负。这样就建立了高斯平面直角坐标系,如图1-6所示。

由于我国领土均在赤道以北,因此 x 值均为正值,但 y 值却有正有负。由于 y 坐标的最大值(在赤道上)约为330km,为了避免出现负值,就将纵坐标轴向西移了500km(图1-7),这样就等于在横坐标上加了500km。此外,为了表明坐标点位于哪一个 6° 带内,在横坐标值的前面再冠以带号。这种坐标称为国家统一坐标。

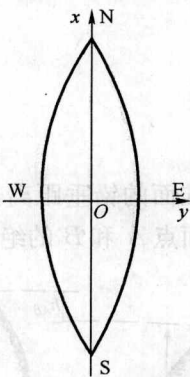


图1-6 高斯平面直角坐标系

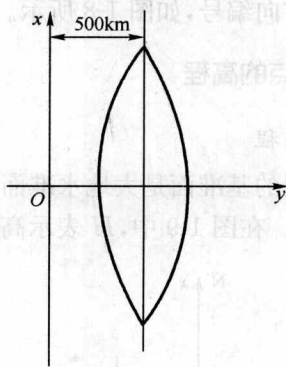


图1-7 国家统一坐标系

【例1】某一地面点的经度为东经 $130^\circ25'30''$,试问该点在高斯投影 6° 带和 3° 带分别位于第几号带? 其中央子午线经度各是多少?

解:该点在 6° 带的带号为:

$$\frac{130^\circ25'30''}{6^\circ} (\text{进为整数}) = 22$$

其中央子午线的经度为:

$$L_0 = 6n - 3 = 6 \times 22 - 3 = 129^\circ$$

该点在 3° 带的带号为:

$$\frac{130^\circ25'30'' - 1^\circ30'00''}{3^\circ} (\text{进为整数}) = 43$$

其中央子午线的经度为:

$$L'_0 = 3n' = 3 \times 43 = 129^\circ$$

【例2】我国某地一地面点的高斯平面直角坐标值为 $x=3\ 234\ 567.78\text{m}$, $y=38\ 342\ 110.88\text{m}$ 。试问该坐标值属于几度投影带的坐标值? 该点位于该投影带的第几号带? 该带中央子午线经



度是多少? 该点位于该带中央子午线的东侧还是西侧? 该点距离中央子午线和赤道各为多少米?

解:我国位于6°带的13号带至23号带,3°带的24号带至45号带。由y坐标值知,该点处在第38号带,故该坐标值属于3°带。第38号带的中央子午线经度为:

$$L'_0 = 3n' = 3 \times 38 = 114^\circ$$

将y坐标值前的带号去掉,再减去500km,得:

$$342\ 110.88 - 500\ 000 = -157\ 889.12\text{m}$$

可知,该点在第38号带的中央子午线的西侧,距中央子午线157 889.12m。根据该点的x坐标值,该点在赤道以北距赤道3 234 567.78m处。

3. 独立平面直角坐标

当测量区域较小(如半径不大于10km的范围)时,可以不考虑地球曲率影响,而把地球面看作平面,因此可以采用独立平面直角坐标。

由于测量中确定直线方向的角度即坐标方位角是从坐标纵轴北端开始按顺时针方向计量的,而数学上的角度则是从坐标横轴开始逆时针方向计量的,为了与数学保持一致,直接应用数学上的三角公式,测量中就以x轴作为纵轴(正向指北),y轴作为横轴(正向指东)。坐标象限按顺时针方向编号,如图1-8所示。

二、地面点的高程

1. 绝对高程

绝对高程的基准面是大地水准面。地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,亦称海拔。在图1-9中,H表示高程, H_A 和 H_B 为地面点A和B的绝对高程。

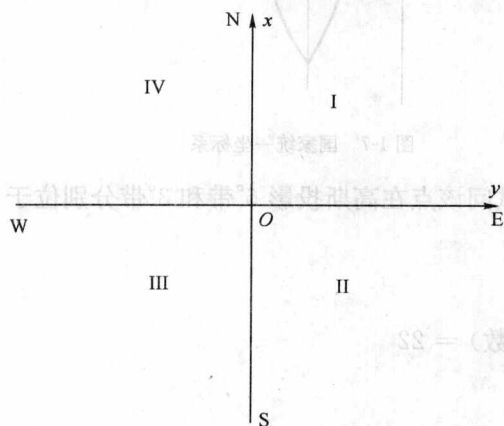


图1-8 独立平面直角坐标系

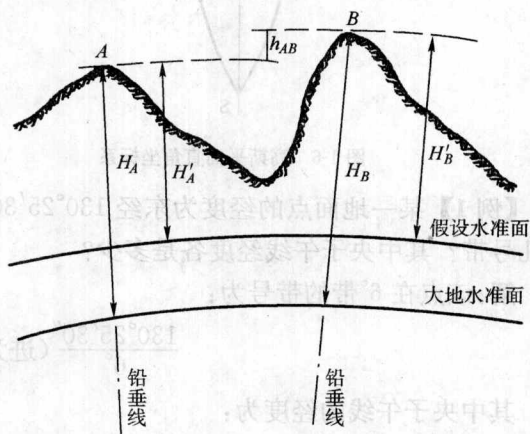


图1-9 绝对高程和相对高程

我国的绝对高程采用青岛验潮站经长年观测求得的黄海平均海水面作为高程基准面,其高程为0,并在青岛观象山设立水准原点。根据1987年开始使用的“1985年国家高程基准”,水准原点的高程为72.260m。在此之前采用“1956年黄海高程系”,水准原点高程为72.289m。

2. 相对高程

在局部地区,如果工程许可,可采用相对高程。即假设一个水准面作为高程的起算面,地

面点到假设水准面的铅垂距离,就是该点的相对高程,也称假定高程。图 1-9 中 H'_A 和 H'_B 分别为 A 点和 B 点的相对高程。

3. 高差

两点高程之差称为高差,一般以 h 表示。图 1-9 中 A、B 两点的高差(B 点相对于 A 点的高差)为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-3)$$

【例 3】某测区采用相对高程,测得 A 点的相对高程 $H'_A = 468.124\text{m}$ 。后该测区与国家水准点 B 进行了联测,测得水准点 B 的相对高程 $H'_B = 482.444\text{m}$ 。已知水准点 B 的绝对高程 $H_B = 497.685\text{m}$ 。试计算 A 点的绝对高程 H_A 。

解:假定水准面的绝对高程为:

$$H_{\text{假}} = H_B - H'_B = 497.685 - 482.444 = 15.241\text{m}$$

则 A 点的绝对高程应为:

$$H_A = 468.124 + 15.241 = 483.365\text{m}$$

检核: $h_{AB} = H_B - H_A = 497.685 - 483.365 = 14.320\text{m}$

$$h_{AB} = H'_B - H'_A = 482.444 - 468.124 = 14.320\text{m}$$

计算无误。

【例 4】1970 年测得 A 点高程为 1210.385m ,属于“1956 年黄海高程系”。1987 年我国开始启用“1985 年国家高程基准”,试计算 A 点在这一高程系统的高程。

解:我国先后执行的两黄海高程系统水准原点的高程相差:

$$h_0 = H_{85} - H_{56} = 72.260 - 72.289 = -0.029\text{m}$$

故 A 点在“1985 年国家高程基准”中的高程应为:

$$H_A = 1210.385 - 0.029 = 1210.356\text{m}$$

4. 大地高系统

大地高系统是以地球椭球面为基准面的高程系统,与大地坐标系属同一系统。如图 1-10 所示, M 点的大地高 H 是指 M 点沿过该点的参考椭球面法线到椭球面的距离。大地高随所选用的参考椭球不同而异。全球定位系统(GPS)采用 WGS-84 椭球,利用 GPS 定位技术,可以直接测定观测站在 WGS-84 中的大地高。

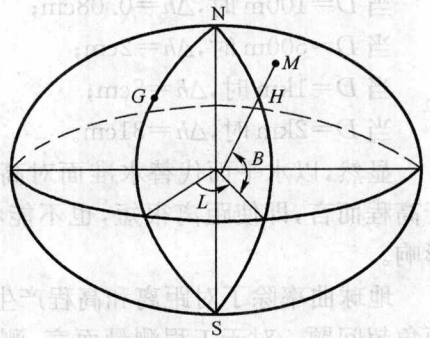
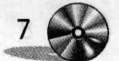


图 1-10 大地高系统

第四节 用水平面代替水准面的限度

从理论上讲,地面点的空间位置均应投影到大地水准面上。若把大地水准面当作平面看待,必然会产生变形。因此,测量及绘图不可避免会产生误差,如果把某一测区范围内的水准面当作平面,其产生的误差不超过测量及制图过程所产生的误差,这样做显然是可以的。测量



误差对距离和高程的影响是不同的。那么误差应该限定在多大的范围之内呢?

一、对距离的影响

以水平面代替水准面对距离 D 的影响,可以用相对误差的形式表示:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \quad (1-4)$$

地球半径 R 取 6 371km,则:

$$\text{当 } D=10\text{km 时, } \frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{1\,220\,000};$$

$$\text{当 } D=20\text{km 时, } \frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{300\,000};$$

$$\text{当 } D=25\text{km 时, } \frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{200\,000}。$$

因此,可得到这样的结论:目前最精密测距的容许误差为其长度的 $\frac{1}{1\,000\,000}$,故在半径为 10km 的圆面积范围内,可不考虑地球曲率,即把水准面当作水平面。如果测距精度仅要求 $\frac{1}{300\,000}$ 或 $\frac{1}{200\,000}$,则可将圆面积半径的限度放宽至 20km 或 25km。

二、对高程的影响

以水平面代替水准面对高程的影响,可以用下式表示:

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

当 $D=100\text{m}$ 时, $\Delta h=0.08\text{cm}$;

当 $D=500\text{m}$ 时, $\Delta h=2\text{cm}$;

当 $D=1\text{km}$ 时, $\Delta h=8\text{cm}$;

当 $D=2\text{km}$ 时, $\Delta h=31\text{cm}$ 。

显然,以水平面代替水准面对高程所产生的误差要远大于测量高程的误差。所以,对于高程而言,即使距离很短,也不能将水准面当作水平面,一定要考虑地球曲率对高程的影响。

地球曲率除了对距离和高程产生影响外,对水平角也会产生影响。这就是数学上的球面角超问题。对于工程测量而言,测区面积不会很大,一般无需考虑地球曲率对水平角的影响。

第五节 平面直角坐标的换算

一、平面直角坐标换算的一般方法

如图 1-11 所示,设 X_P, Y_P 为 P 点在国家控制网坐标系中的坐标; x_P, y_P 为 P 点在工程独立控制网坐标系中的坐标。 X_0, Y_0 为工程独立坐标系原点 O 在国家坐标系中的坐标, $\Delta\alpha$ 为两

坐标系纵坐标轴的交角。如果一条边在国家坐标系中的坐标方位角为 A ，而在工程独立坐标系中的坐标方位角为 α ，则 $\Delta\alpha$ 可按式计算：

$$(1-6) \quad \Delta\alpha = A - \alpha \quad (1-6)$$

当由工程独立坐标系坐标换算至国家坐标系坐标时，其换算公式为：

$$\left. \begin{aligned} X &= x\cos\Delta\alpha - y\sin\Delta\alpha + X_0 \\ Y &= x\sin\Delta\alpha + y\cos\Delta\alpha + Y_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

当由国家坐标系坐标换算至工程独立坐标系坐标时，也可使用式(1-7)，此时应将 X, Y 与 x, y 互换，且 $\Delta\alpha = \alpha - A$ 。

【例 5】 已知 A, B 两点在国家坐标系中的坐标分别为：

$X_A = 92\,562.608\text{m}, Y_A = 72\,049.157\text{m}; X_B = 92\,529.371\text{m}, Y_B = 72\,174.555\text{m}$ 。在工程独立坐标系中的坐标分别为： $x_A = 1\,073.382, y_A = 1\,199.447\text{m}; x_B = 1\,036.841\text{m}, y_B = 1\,323.922\text{m}$ 。试求出两坐标系的换算实用公式。

解：(1) 工程独立坐标系坐标换算至国家坐标系坐标的实用公式

$$A_{AB} = \arctan \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = 104^\circ 50' 42''$$

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = 106^\circ 21' 37''$$

由式(1-6)得：

$$\Delta\alpha = A_{AB} - \alpha_{AB} = -1^\circ 30' 55''$$

将 A 点在两坐标系中坐标 X_A, Y_A, x_A, y_A 以及 $\Delta\alpha$ 之值代入式(1-7)，计算得：

$$\left. \begin{aligned} X_{0A} &= 91\,457.883\,8\text{m} \\ Y_{0A} &= 70\,878.513\,4\text{m} \end{aligned} \right\}$$

将 B 点在两坐标系中坐标 X_B, Y_B, x_B, y_B 以及 $\Delta\alpha$ 之值代入式(1-7)，计算得：

$$\left. \begin{aligned} X_{0B} &= 91\,457.883\,4\text{m} \\ Y_{0B} &= 70\,878.513\,7\text{m} \end{aligned} \right\}$$

说明 X_0, Y_0 值的计算无误，可取 A, B 两点算得的 X_0, Y_0 平均值：

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= 91\,457.883\,6\text{m} \\ Y_0 &= 70\,878.513\,6\text{m} \end{aligned} \right\}$$

将 X_0, Y_0 及 $\Delta\alpha$ 之值代入式(1-7)即得实用公式：

$$\left. \begin{aligned} X &= 0.999\,650\,309x + 0.026\,443\,504y + 91\,457.883\,6 \\ Y &= -0.026\,443\,504x + 0.999\,650\,309y + 70\,878.513\,6 \end{aligned} \right\}$$

(2) 国家坐标系坐标换算至工程独立坐标系坐标的实用公式

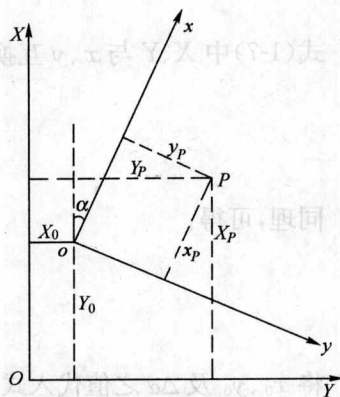


图 1-11 平面直角坐标的换算