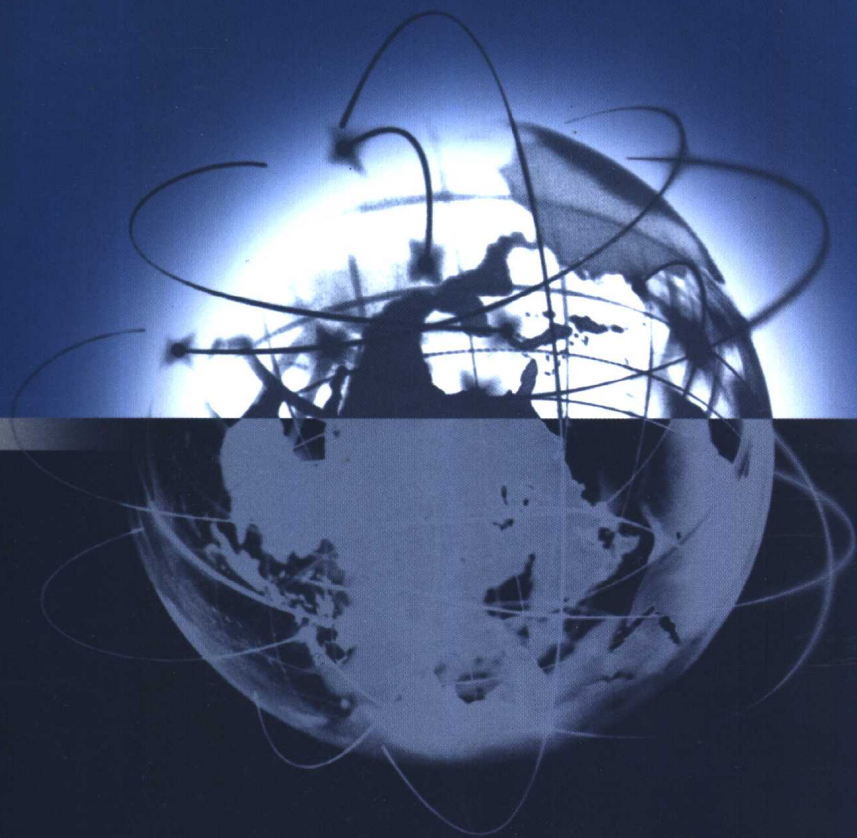


高职高专系列教材

工程测量

主 编：王金玲

副主编：张庆宽 鲁有柱



全国优秀出版社
武汉大学出版社

高职高专系列教材

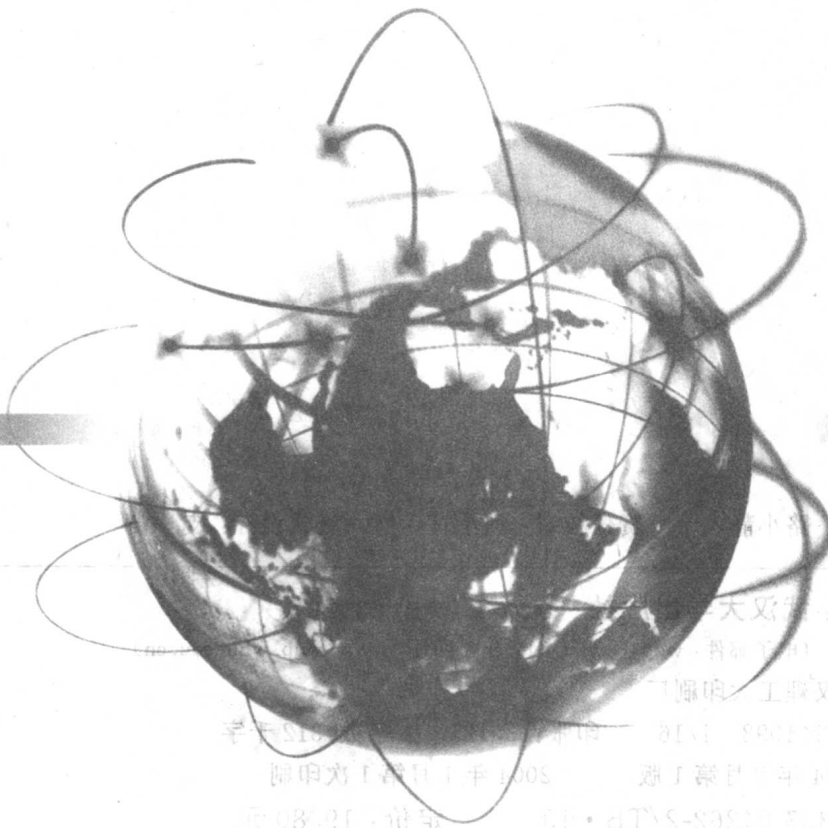
湖北出版集团：武汉大学出版社，地址：武汉市武昌区洪山街，邮编：430079

（机械工业出版社）

（机械工业出版社）

工程测量

主编：王金玲
副主编：张庆宽 鲁有柱



全国优秀出版社
武汉大学出版社

MAZU9/02

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/王金玲主编;张庆宽,鲁有柱副主编. —武汉:武汉大学出版社,2004.1

(高职高专系列教材)

ISBN 7-307-04262-2

I. 工… II. ①王… ②张… ③鲁… III. 工程测量—高等学校:技术学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 127087 号

责任编辑:路小静 责任校对:程小宜 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:武汉理工大印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:13.125 字数:312 千字

版次:2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04262-2/TB·13 定价:19.80 元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

随着新形势下教育事业的飞速发展和现代测量新技术、新设备的不断出现,工程测量课程的要求也在不断变化。我们在有关学校测量教师多次研讨、交流的基础上,结合多年的教学实践并参阅同行专家的有关论述编写了此书。本书从高职高专院校学生的培养目标出发,着重介绍了工程测量的基本知识,同时也充实了现代测绘新技术、新仪器等内容,并采用了最新的测量标准、规范。具有较强的针对性和实用性,适合高职高专院校学生测量基本技能的培养与训练。

参加本书编写的人员皆为在本专业有多年教学经验的教师,参编人员有:湖北水利水电职业技术学院王金玲(第一、二、七章)、李行洋(第八章、第五章第二节)、田福娟(第四章),杨凌职业技术学院鲁有柱(第三、十三章)、张养安(第十五章、第五章第一节)、王稳江(第九章)、杨旭江(第十四章),山东水利职业学院张庆宽(第十、十二章)、董志跃(第十一章),长江工程职业技术学院牛志宏(第六章)。本书的例题和习题部分由董志跃编写,张养安负责插图编绘工作。全书由王金玲统稿。

武汉大学徐方老师对本书进行了细致的审阅,特此致谢。

由于编者业务水平有限以及时间仓促,书中错误难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 测量学的基本内容、任务与作用	1
第二节 地球的形状和大小	3
第三节 地面点位的确定	4
第四节 用水平面代替水准面的限度	7
第五节 测量工作概述	9
第二章 水准测量	11
第一节 水准测量原理	11
第二节 水准仪和水准尺	12
第三节 水准测量的方法	16
第四节 水准测量成果的计算	20
第五节 三、四等水准测量	22
第六节 微倾式水准仪的检验与校正	25
第七节 水准测量的误差分析	27
第八节 精密水准仪和电子水准仪简介	29
第三章 角度测量	32
第一节 角度测量原理	32
第二节 光学经纬仪及其使用	33
第三节 水平角观测	37
第四节 竖直角观测	41
第五节 经纬仪的检验与校正	44
第六节 角度测量的误差分析	47
第七节 电子经纬仪简介	49
第四章 距离测量	52
第一节 钢尺量距	52
第二节 视距测量	57
第三节 电磁波测距简介	59

第五章 测绘新技术简介	62
第一节 全站仪	62
第二节 GPS全球定位系统	69
第六章 测量误差的基本知识	74
第一节 测量误差概述	74
第二节 衡量精度的指标	77
第三节 误差传播定律	78
第七章 定向测量	82
第一节 直线定向	82
第二节 坐标方位角的推算	84
第三节 坐标正、反算	86
第四节 罗盘仪及其使用	87
第八章 小区域控制测量	89
第一节 控制测量概述	89
第二节 导线测量	92
第三节 小三角测量	99
第四节 测角交会定点	104
第五节 全站仪极坐标法导线测量	107
第六节 高程控制测量	108
第九章 地形图的基本知识	111
第一节 地形图的比例尺	111
第二节 地形图的图式	112
第三节 地形图的图外注记	118
第四节 地形图的分幅与编号	119
第十章 大比例尺地形图的测绘	123
第一节 测图前的准备工作	123
第二节 测量碎部点平面位置的基本方法	124
第三节 地形测图方法	125
第四节 地形图的绘制	129
第五节 数字化测图概述	132
第十一章 地形图的应用	134
第一节 地形图应用的基本内容	134

第二节	地形图在工程建设中的应用·····	135
第三节	地形图在平整土地中的应用及方量的计算·····	139
第四节	地形图上面积量算·····	142
第十二章	施工测量的基本知识 ·····	147
第一节	施工测量概述·····	147
第二节	测设的基本工作·····	148
第三节	点的平面位置的测设·····	150
第四节	坡度线的测设 ·····	152
第十三章	水工建筑物的放样 ·····	154
第一节	土坝的施工放样·····	154
第二节	水闸的放样·····	159
第三节	隧洞施工放样·····	161
第十四章	工业与民用建筑施工测量 ·····	168
第一节	施工控制测量·····	168
第二节	民用建筑施工测量·····	171
第三节	工业厂房施工测量·····	174
第四节	建筑物的变形观测·····	177
第五节	竣工测量·····	180
第十五章	线路测量 ·····	183
第一节	线路测量工作概述·····	183
第二节	中线测量·····	183
第三节	纵断面测量·····	190
第四节	横断面测量·····	194
第五节	道路施工测量·····	196
参考文献	·····	201

第一章 绪 论

第一节 测量学的基本内容、任务与作用

一、测量学的基本内容

测量学是研究地球的形状、大小以及确定地面点位的科学,它的内容包括测定和测设两个方面。测定是指使用测量仪器,通过一定的测量程序和方法,把地球表面的形状和大小缩绘成地形图或建立有关的数字信息,为国民经济建设的规划、设计和管理阶段提供资料;测设是指把图纸上设计好的建筑物的平面位置和高程位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

测量学按照研究对象和研究范围的不同,划分为以下几个学科:

(一) 大地测量学

该学科主要是研究整个地球的形状、大小和外部重力场及其变化、地面点的精确定位,解决大范围控制测量工作。大地测量学是整个测绘科学的基础理论学科,它的主要任务是为测制地形图和工程建设提供基本的平面控制和高程控制。

(二) 普通测量学

该学科主要是研究地球表面局部区域的形状和大小,不考虑地球曲率的影响,把地球表面较小范围当做平面看待所进行的测量工作。其主要内容有图根控制网的建立、地形图的测绘及工程的施工测量。

(三) 摄影测量学

该学科主要是利用摄影或遥感技术获取地面物体的影像,进行分析处理后建立相应的数字模型或直接绘制成地形图。根据像片获取方式的不同,摄影测量又分为地面摄影测量和航空摄影测量等。

(四) 工程测量学

该学科主要是研究工程建设在规划、勘测设计、施工和运营管理各阶段所进行的测量工作。按工程建设的对象不同,工程测量又分为:水利、建筑、公路、铁路、矿山、隧道、桥梁、城市和国防等工程测量。工程测量贯穿于工程建设的全过程。

(五) 制图学

该学科主要是利用测量所获得的成果资料,研究如何投影编绘和制印各种地图的测量工作,属于制图学的范畴。

二、工程测量的任务

工程测量是研究各种工程在勘察、设计、施工和管理阶段所进行测量工作的理论和技术学科。其主要任务是：

1. 大比例尺地形图测绘

使用测量仪器,按一定的测量程序和方法,把将要进行工程建设地区的各种地物(如道路、桥梁等)和地貌(地势的高低起伏形态,如山头、盆地、丘陵等)按规定的符号及一定的比例测绘到图纸上,供规划设计使用,这项工作称为地形测图。

2. 施工放样

使用测量仪器,把图纸上设计好的建筑物的平面位置和高程在地面上标定出来,作为施工的依据,也叫测设。

3. 变形监测

在建筑物建成后的运营管理阶段,对建筑物的稳定性及变化情况进行监督测量,以确保建筑物的安全。另外,在建筑物施工过程中,也要进行变形监测,以指导和检查工程的施工。

三、测量工作的作用

测量学是一门历史悠久的学科,随着现代科学技术的发展,测量学的发展也极为迅速,目前在国民经济建设的各个领域都有着广泛的应用。

在国民经济和社会发展规划中,测绘信息是最重要的基础信息之一。各种规划首先要有规划区的地形图,在图上展开各种构思和设想;在工程建设中,测绘更是一项重要的前期工作,有精确的测绘成果和地形图,才能保证工程的选址、选线,才能设计出经济合理的方案;在工程施工中,要通过放样测量把已确定的设计方案精确地落到实地上,以保证施工符合设计要求,这对工程的质量起着相当关键的作用;竣工测绘资料则是工程在交付使用后进行妥善管理的重要依据,竣工图是日后扩建、改建和管理维护的首要资料。对于大型工程建筑,在使用期间定期进行监测,及时发现建筑物的变形和移位,以便采取措施,防止重大事故发生,更是不可忽视的环节。

在国防建设中,军事测量和军用地图是现代大规模的诸兵种协同作战不可缺少的重要保障。至于远程导弹、空间武器、人造卫星或航天器的发射,要保证它精确入轨,随时校正轨道和命中目标,除了应测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关区域的地球重力场资料。

在科学研究方面,测绘工作也有着重要的作用,例如:地壳的形变、地震预报、灾情监视等都离不开测绘资料。

在国家的各级管理工作中,测量和地图资料也是必不可少的。工农业生产建设的组织管理、土地地籍管理以及各种公用设施的管理等都离不开测绘资料。

随着测绘科技的不断进步和发展,在各个行业和人民日常生活中,其必将提供更为全面、准确、及时和适用的测绘成果和技术服务。

第二节 地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面,所以必须知道地表的形状和大小。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地及海洋等起伏状态,世界上最高的珠穆朗玛峰高达 8 848.13 m,最深的马里亚纳海沟深达 11 022m,高低起伏很大。但这种起伏变化相对于地球庞大的体积来说仍可忽略不计。由于地球表面 71% 被海水所覆盖,所以可以把海水所覆盖的地球形体看做地球的形状。

由于地球的自转运动,地球上任意一点都要受到离心力和地球引力的双重作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。设想一个静止的海水面向陆地延伸通过大陆和岛屿形成一个包围地球的封闭曲面,这个曲面就称为水准面。水准面是受重力影响而形成的,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。由于潮汐的影响,海水面有涨有落,所以水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面,称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面所包围的地球形体称为大地体。

大地水准面完全可以代表地球表面的形状和大小,但由于地球内部质量分布不均引起铅垂线的方向产生不规则的变化,致使大地水准面成为一个复杂的曲面(如图 1-1 所示)。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上,将对测量计算和绘图带来很多困难,为此选用一个非常接近大地水准面,并可用数学式表达的规则的几何形体来代表地球的总形状,这个数学形体称为旋转椭球体,包围它的面称为旋转椭球面。

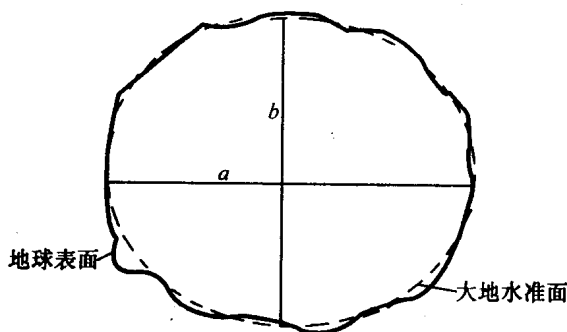


图 1-1

旋转椭球体是由一椭圆绕其短半轴旋转而成的椭球体(如图 1-2 所示)。椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 α 是决定旋转椭球体的形状和大小的元素。随着测绘科学的进步,可以越来越精确地测定这些元素。目前,我国采用国际大地测量协会 IAG-75 参数: $a = 6\,378\,140\text{m}$, $\alpha = 1:298.257$, 推算值 $b = 6\,356\,755.288\text{m}$ 。

采用椭球体定位得到的坐标系为国家大地坐标系。我国大地坐标系的原点在陕西省泾阳县永乐镇。由于地球椭球体的扁率很小,当测量精密度要求不高及测区面积不大时,可将地球当做半径 R 为 6 371km 的圆球。

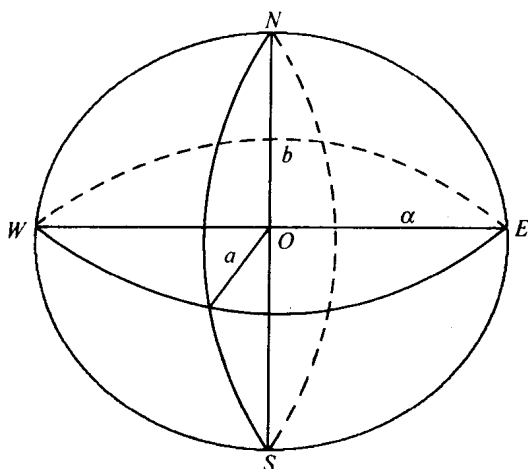


图 1-2 旋转椭球体

第三节 地面点位的确定

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置。确定地面点的空间位置需要三个要素,通常是确定地面点在球面或平面上的投影位置,即地面点的坐标;地面点到大地水准面的铅垂距离,即地面点的高程。

一、平面位置的确定

(一) 大地坐标

在大区域内确定地面点的位置,以球面坐标系来表示,用大地经度和大地纬度表示地面点在旋转椭球面上的位置,称为大地地理坐标,简称大地坐标(如图 1-3 所示)。NS 为椭球的旋转轴, N 为北极, S 为南极。通过椭球旋转轴做的平面称为子午面,过英国格林威治天文台的子午面称为起始子午面,也称本初子午面。子午面与球面的交线称为子午线或经线。球面上 P 点的大地经度是过 P 点的子午面与起始子午面所夹的二面角,用 L 表示。自起始子午面向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经,向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。我国地处东半球,各地的经度都是东经。

垂直于地轴并通过球心的平面称为赤道面。赤道面与球面的交线称为赤道。垂直于地轴且平行于赤道的平面与球面的交线称为纬圈或平行圈。球面上某点的大地纬度是过该点的法线(与椭球面相垂直的线)与赤道面的夹角,用 B 表示(图 1-3 中,过 P 点做子午线的法线,该法线与赤道面的交角 B 即为 P 点的大地纬度)。纬度从赤道起向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬,向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。我国地处北半球,各地的纬度都是北纬。

大地经、纬度是根据大地原点的起算数据,再按大地测量得到的数据推算而得。我国曾采用“1954 年北京坐标系”并于 1987 年废止,现采用国家大地坐标系。

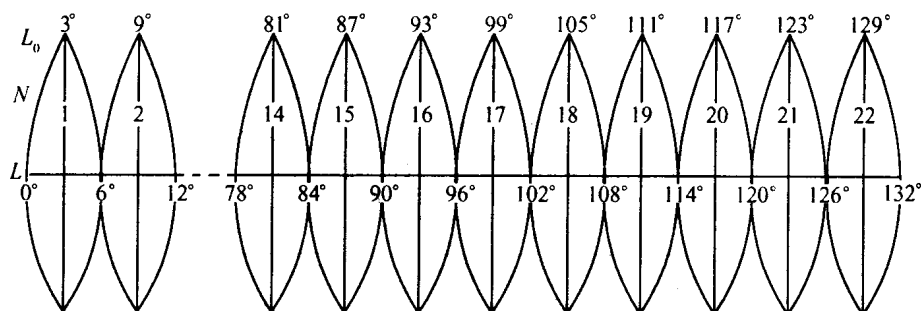


图 1-5

三度带是在六度带的基础上分成的,它的中央子午线与六度带的中央子午线和分带子午线重合,即自东经 1.5° 子午线起每隔经差 3° 自西向东分带,将整个地球分成 120 个投影带。用第 1、第 2、第 3、…、第 120 表示投影带的带号。

三度带中任意带的中央子午线经度 L'_0 为:

$$L'_0 = 3n \quad (1.2)$$

式中, n 为 3° 投影带的带号。

高斯投影的基本方法是:设想用一个圆柱横切套在地球椭球外面(如图 1-6 所示),将中央子午线两侧同一投影带范围内的椭球面投影在圆柱面上,再将圆柱面沿过南北极的母线剪开展平,即得高斯平面。投影后,中央子午线长度不变,离开中央子午线越远,其长度投影变形越大。

投影后,取中央子午线与赤道交点的投影为原点,中央子午线的投影为纵坐标 x 轴,赤道的投影为横坐标 y 轴,即构成了高斯平面直角坐标系(如图 1-7 所示)。

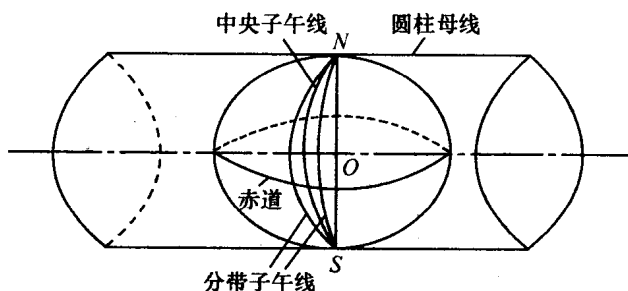


图 1-6

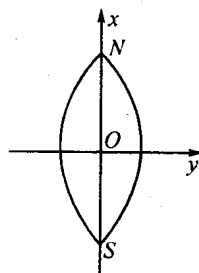


图 1-7

高斯平面直角坐标以赤道为零起算,赤道以北为正,以南为负。我国位于北半球,纵坐标均为正,横坐标有正有负。为了使用方便,避免横坐标出现负值,规定将坐标纵轴西移 500km 当做起始轴。这样带内的横坐标值均加 500km。设 A 点 $x_A = 3\,281\,547.56\text{m}$, $y_A = -298\,541.12\text{m}$, 则横坐标为 $y_A = (-298\,541.12) + 500\,000 = 201\,458.88\text{m}$ 。前者称为自然值,

后者称为统一值。因为不同投影带内的点可能会有相同坐标值,也为了标明其所在投影带,规定在横坐标前冠以带号。例如 A 点位于第 15 带,则横坐标为 $y_A = 15\ 201\ 458.88\text{m}$ 。

二、地面点的高程

(一) 绝对高程

地面上某点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,又称海拔。用 H 表示(如图 1-8 所示)。

A、B 两点的绝对高程为 H_A 、 H_B 。由于受海潮、风浪等影响,海水面的高低时刻在变化,我国在青岛设立验潮站,进行长期观测,取黄海平均海面作为高程基准面,建立“1956 黄海高程系”,其青岛国家水准原点高程为 72.289m,该高程系统自 1987 年废止并起用“1985 国家高程基准”,原点高程为 72.260m。在使用测量资料时,一定要注意新旧高程系统以及系统间的正确换算。

(二) 相对高程

地面上某点到任意水准面的铅垂距离,称为该点的假定高程或相对高程。如图 1-8 中 A、B 两点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。

地面上两点的高程之差称为高差,用 h 表示。A、B 两点的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.3)$$

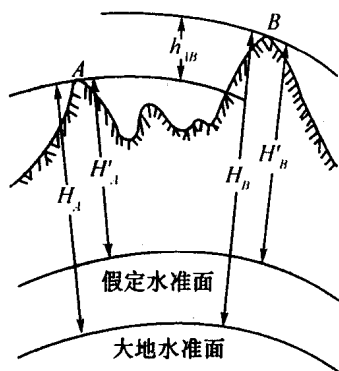


图 1-8

第四节 用水平面代替水准面的限度

在普通测量中,当测区面积不大时,又可把球面视为平面,用水平面代替水准面,使计算和绘图工作大为简化,但是多大范围内才允许用水平面代替水准面。以下就讨论以水平面代替水准面对水平距离和高差的影响,从而明确用水平面可以代替水准面的范围。

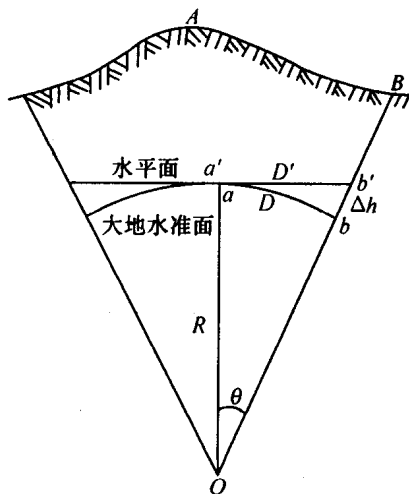


图 1-9

(一) 对水平距离的影响

如图 1-9 所示, A、B 为地面上两点,它们在大地上水准面上的投影为 a、b,弧长为 D 。在水平面上的投影为 a' 、 b' ,其距离为 D' ,两者之差 ΔD 即为用水平面代替水准面所产生的误差。

设地球的半径为 R , AB 所对的圆心角为 θ ,则:

$$\Delta D = D' - D$$

因为, $D' = R \tan \theta$, $D = R \theta$

则有, $\Delta D = R \tan \theta - R \theta = R (\tan \theta - \theta)$

将 $\tan \theta$ 按级数展开,并略去高次项,取前两项得:

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3$$

$$\text{则, } \Delta D = \frac{1}{3} R \theta^3 \quad (1.4)$$

以 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入式(1.4), 得:

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1.5)$$

表示成相对误差为:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1.6)$$

取 $R = 6\,371\text{km}$, 并以不同的 D 值代入式(1.5)和式(1.6), 可求得用水平面代替水准面的距离误差和相对误差(见表 1-1)。

表 1-1 用水平面代替水准面对距离的影响

距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{cm})$	相对误差 $\Delta D/D$	距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{cm})$	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1:1 220 000	50	102.7	1:49 000
25	12.8	1:200 000	100	821.2	1:12 000

当距离为 10km 时, 以水平面代替水准面所产生的距离误差为 1:122 万, 这样小的误差, 就是在地面上进行最精密的距离测量也是允许的。因此, 在 10km 为半径的圆面积范围内, 以水平面代替水准面所产生的距离误差可以忽略不计。对于精度要求较低的测量, 还可以扩大到以 25km 为半径的范围。

(二) 对高差的影响

在图 1-9 中, A 、 B 两点在同一水准面上, 其高差应为零。 B 点投影在水平面上得 b' 点, 则 bb' 即为水平面代替水准面所产生的高差误差, 或称为地球曲率的影响。

$$bb' = \Delta h$$

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

$$\text{化简得: } \Delta h = \frac{D'^2}{2R + \Delta h} \quad (1.7)$$

式(1.7)中, 用 D 代替 D' , 同时 Δh 与 $2R$ 相比可略去不计,

$$\text{则, } \Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1.8)$$

以不同距离 D 代入式(1.8), 得相应的高差误差值列于表 1-2 中。

表 1-2 用水平面代替水准面对高差的影响

$D(\text{m})$	100	200	500	1 000
$\Delta h(\text{mm})$	0.8	3.1	19.6	78.5

由表 1-2 可知, 用水平面代替水准面, 当距离为 200m 时, 高差误差为 3mm, 这对高程测量来说影响很大, 因此, 当进行高程测量时, 即使距离很短也必须顾及地球曲率的影响。

第五节 测量工作概述

一、测量的基本工作

在测量工作中,地面点的三维坐标(X, Y, H)一般是间接测出的。设 A, B, C 为地面上的三点(如图 1-10 所示),投影到水平面上的位置分别为 a, b, c 。如果 A 点的位置已知,要确定 B 点的位置,需要确定 B 点到 A 点在水平面上的水平距离 D_{AB} 和 B 点位于 A 点的方位。图中 ab 的方向可用通过 a 点的指北方向与 ab 的夹角(水平角) α 表示,有了 D_{AB} 和 α , B 点在图中的平面位置 b 就可以确定。由于 A, B 两点的高程不同,除平面位置外,还要知道它们的高低关系,即 A, B 两点的高程 H_A, H_B 或 A, B 两点间的高差 h_{AB} , 这样 B 点的位置就完全确定了。如果还要确定 C 点在图中的位置 c ,则需要测量 BC 在水平面的水平距离 D_{BC} 及 b 点上相邻两边的水平夹角 β 以及 H_C 或 h_{BC} 。

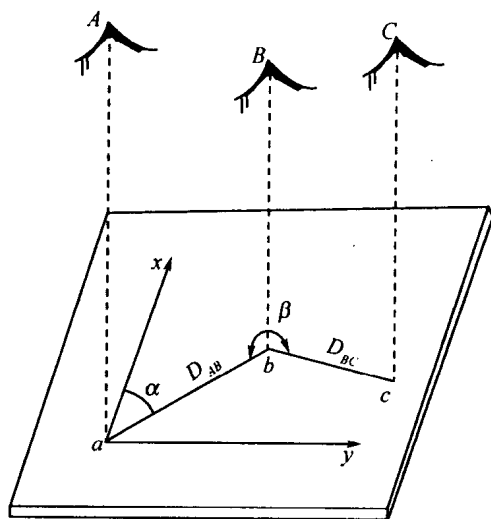


图 1-10

由此可知,水平距离、水平角及高程是确定地面点相对位置的三个基本几何要素。测量地面点的水平距离、水平角及高程是测量的基本工作。

二、测量工作的基本原则

测量工作中将地球表面复杂多样的地形分为地物和地貌两类。地面上的河流、道路、房屋等自然物体称为地物,地势的高低起伏形态称为地貌,地物和地貌统称为地形。要在一个已知点上测绘该测区所有的地物和地貌是不可能的,只能测量其附近的范围,因此,只能在若干点上分区观测,最后才能拼成一幅完整的地形图。施工放样也是如此,但不论采用何种方法、使用何种仪器进行测量或放样,都会给其成果带来误差。为了防止测量误差的逐渐传

递和累积,要求测量工作遵循在布局上“从整体到局部”、在工作程序上“先控制后碎部”、在精度上“从高级到低级”的基本原则进行。同时,测量工作必须进行严格的检核,“前一步工作未作检核不进行下一步测量工作”是组织测量工作应遵循的又一个原则。

(一) 控制测量

遵循“先控制后碎部”的测量原则,就是先进行控制测量,测定测区内若干个具有控制意义的控制点的平面位置(纵横坐标)和高程,作为后面测量工作的依据。

控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量是确定测区中一系列控制点的坐标的测量工作。平面控制测量的方法有导线测量、三角测量及交会定点等,高程控制测量是确定测区中一系列控制点的高程的测量工作。主要方法有水准测量、三角高程测量等。

(二) 碎部测量

根据控制点进行地物、地貌的测量工作称为碎部测量。地物和地貌的形状和大小是由一些特征点的位置所决定的,这些特征点称为碎部点,测图时,主要就是测定这些碎部点的平面位置和高程。碎部测量常用的方法有平板仪测绘法、经纬仪测绘法、全站仪测绘法以及数字化测图等。

习 题

1. 什么叫测设? 什么叫测定?
2. 工程测量的基本任务是什么?
3. 什么叫水准面? 什么叫大地水准面? 它们的特性是什么?
4. 什么叫绝对高程(海拔)? 什么叫相对高程? 什么叫高差?
5. 表示地面点位有哪几种坐标系?
6. 测量学中的平面直角坐标系和数学上的平面直角坐标系有何不同? 为何这样规定?
7. 测量工作的基本要素是什么?
8. 对于水平距离和高差而言,在多大的范围内可用水平面代替水准面?
9. 测量工作的基本原则是什么?
10. 已知点 M 位于东经 $117^{\circ}46'$, 计算它所在投影带的六度带号和三度带号。