

高等职业教育建筑类专业学校教材

土木工程测量

主编 王根虎



黄河水利出版社

高等职业教育建筑类专业学校教材

土 木 工 程 测 量

主 编 王根虎(内蒙古建筑职业技术学院)

副主编 黄炳龄(江西建设职业技术学院)

主 审 熊明安(江西建设职业技术学院)

黄 河 水 利 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量 / 王根虎主编. — 郑州: 黄河水利出版社, 2005.2

ISBN 7-80621-869-6

I.工… II.王… 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(2004)第 132268 号

出版社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话及传真: 0371-6022620

E-mail: yrcp@public.zz.ha.cn

承印单位: 河南省瑞光印务股份有限公司

开本: 787 mm × 1 092 mm 1 / 16

印张: 22

字数: 540 千字

版次: 2005 年 2 月第 1 版

印数: 1—3 000

印次: 2005 年 2 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7-80621-869-6 / TB · 10

定价: 28.00 元

前 言

本书是根据现行土建类测量教学大纲要求，按照高等职业教育的特点编写而成的。随着测绘技术及建筑业的发展，在内容选编上，力求对电子测量仪器及其在地形图测绘和施工放样中的应用等技术介绍得详尽些。

本书适用于建筑工程、建筑学、城镇规划、给水与排水、供热与通风、市政道路工程、房地产管理等专业。

本书共十四章，由内蒙古建筑职业技术学院王根虎任主编，江西建设职业技术学院黄炳龄任副主编，江西建设职业技术学院熊明安主审。参编人员有：北京城建总公司职工学院刘王晋，天津市政工程学校阎景行，北京水利水电学校赵世雨，广西建设职业技术学院江思义，山东黄河河务局魏志忠，内蒙古建筑职业技术学院李映红、董岱、张国辉。各章节编写分工如下：第十、十一章由王根虎编写，第二、三章由赵世雨编写，第四、十三章由阎景行、李映红编写，第五、六章由刘王晋、张国辉编写，第一、七、十二章由魏志忠编写，第八章由黄炳龄编写，第九章由江思义编写，第十四章、测量实习指导由董岱编写。

本书在编写过程中得到了内蒙古建筑职业技术学院、江西建设职业技术学院的大力支持，在此致以谢意。

由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误，恳请使用本书的教师及读者批评指正。

编 者

2005 年 1 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 测量学的任务和分类	(1)
第二节 测量学在土木工程中的作用	(2)
第三节 地面点位的确定	(3)
第四节 测量工作的基本内容	(9)
第五节 测量工作的组织原则和基本要求	(10)
第二章 水准仪与高程测量	(12)
第一节 水准测量的原理	(12)
第二节 水准测量的仪器及工具	(14)
第三节 水准仪的使用方法与注意事项	(19)
第四节 普通水准测量的方法和要求	(21)
第五节 微倾式水准仪的检验与校正	(27)
第六节 水准测量的误差分析	(30)
第七节 自动安平水准仪与精密水准仪	(31)
第三章 经纬仪与角度测量	(36)
第一节 角度的概念及测量原理	(36)
第二节 光学经纬仪的构造	(37)
第三节 经纬仪的使用方法	(41)
第四节 水平角的观测方法	(43)
第五节 竖直角观测的方法	(44)
第六节 经纬仪的检验与校正	(47)
第七节 角度测量的误差分析	(50)
第四章 距离测量与直线定向	(53)
第一节 直线丈量的工具	(53)
第二节 直线定线	(55)
第三节 一般直线丈量的方法	(56)
第四节 钢尺检定	(58)
第五节 精密直线丈量的方法	(60)
第六节 直线丈量的误差分析	(63)
第七节 直线定向	(64)
第八节 电磁波测距简介	(67)
第九节 测绘新技术简介	(69)
第五章 误差的基本知识	(81)
第一节 测量误差概述	(81)
第二节 衡量精度的标准	(83)

第三节	算术平均值及其中误差	(85)
第四节	观测值函数的中误差	(87)
第六章	小地区控制测量	(95)
第一节	控制测量概述	(95)
第二节	导线测量的外业工作	(96)
第三节	导线测量的内业计算	(100)
第四节	高程控制测量	(110)
第七章	大比例尺地形图的基本知识	(117)
第一节	地形图的比例尺	(117)
第二节	地形图的图名、图号和图廓	(119)
第三节	地形图的图式	(121)
第八章	大比例尺地形图测绘	(130)
第一节	小平板仪的构造及其使用	(130)
第二节	测图前的准备工作	(133)
第三节	碎部测量	(135)
第四节	地形图的绘制	(144)
第九章	地形图的应用	(149)
第一节	地形图的阅读	(149)
第二节	地形图应用的基本内容	(150)
第三节	地形图在场地平整中的应用	(155)
第四节	地形图在建筑设计中的应用	(161)
第五节	地形图在管线设计、施工中的应用	(162)
第六节	地形图在道路规划、设计中的应用	(163)
第七节	地形图在城镇规划中的应用	(164)
第十章	测设的基本工作	(168)
第一节	测设的基本内容	(168)
第二节	点的平面位置测设	(172)
第三节	已知坡度线的测设	(174)
第四节	已知直线的测设	(176)
第五节	激光定位仪器及其使用	(178)
第十一章	建筑施工测量	(185)
第一节	施工测量概述	(185)
第二节	施工控制测量	(187)
第三节	民用建筑的施工测量	(193)
第四节	高层建筑物的轴线投测与标高传递	(208)
第五节	工业厂房的施工测量	(215)
第六节	烟囱(水塔)的施工测量	(221)
第七节	建筑物的变形观测	(223)
第八节	竣工总平面图的编绘	(230)

第十二章 管道工程测量	(233)
第一节 管道工程测量概述	(233)
第二节 管道中线测量及纵横断面测量	(233)
第三节 管道施工测量	(240)
第四节 顶管施工测量	(247)
第五节 管道竣工测量	(249)
第十三章 道路与桥涵施工测量	(252)
第一节 概 述	(252)
第二节 道路中线测量	(253)
第三节 道路施工测量	(263)
第四节 桥涵施工测量	(269)
第十四章 房产测量	(275)
第一节 房产测量的任务和作用	(275)
第二节 房产平面控制测量	(276)
第三节 界址点测量	(277)
第四节 房产调查	(280)
第五节 房产图测绘	(285)
第六节 房产面积量算与房产变更测量	(292)
参考文献	(295)

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务和分类

测量学就是研究应用测量仪器和工具度量地球或地球局部区域的形状、大小和地表各种物体的几何形状及其空间位置，并把度量结果用数据或图形表示出来的科学。它的实质就是确定地面点的位置，其主要任务是为各种工程建设及科学研究服务。

对工程建设而言，按其性质可分为测绘和测设。所谓测绘是指使用测量仪器和工具，通过实地观测和计算得到一系列的观测数据，或把地球表面的地物和地貌用规定的符号和按一定比例尺缩绘成地形图，供规划设计、工程建设、国防建设和科学研究使用。测设是指把图纸上设计好的建(构)筑物的位置，按设计要求，以一定的精度在施工场地上标定出来，作为施工的依据。

对科学研究而言，在广泛的领域内都离不开测量工作。例如：测定地球的形状、大小、重力场的运动状态及变化规律；监测和控制人造卫星、航天飞机、导弹等空间飞行器的飞行轨道和起降点；宇宙空间开发及对月球的探索；海岸线的变迁；地震预报以及地极周期性运动；等等。以上领域都以大量的测量数据作为研究必不可少的重要资料。

测量学因研究的范围和对象不同，故产生了许多分支学科。

当研究的对象仅是地球自然表面上的一个小区域，且将这个区域投影到地球曲面上时，由于地球的半径很大，故可以把该区域的投影球面当作平面，而不考虑其曲率。研究这类小区域地球表面形状和大小的学科称为地形测量学或普通测量学。它研究的内容可以用文字、数字或符号记录下来，按一定的比例缩小并描绘在图纸上成为与地面保持相似的地形图。

当研究的对象是地球表面上一个较大的区域甚至整个地球时，就必须考虑地球的曲率。这种以研究广大地区为对象的学科称为大地测量学。它的基本任务是建立国家大地控制网和控制点，测定地球的形状、大小和研究地球重力场的理论、技术与方法。

利用摄影像片来研究地球表面形状和大小的学科称为摄影测量学。按获得照片的方式不同，摄影测量学又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学、水下摄影测量学和航天摄影测量学等。

为了满足城市建设、大型厂矿建设、水利枢纽、农林、道路修建等方面在勘测设计、施工放样、竣工验收和工程保养等各阶段所需要的测量工作的理论、技术和方法的学科称为工程测量学。

利用测量所提供的成果资料，研究如何投影缩绘成地图，以及地图制作的理论、工艺、技术和应用等方面的学科称为制图学。

近年来，由于人造卫星的发射及电子技术的发展，测量内容已由常规的大地测量发展到全球卫星定位系统(简称GPS)。这一技术已应用到大地控制测量、工程定位、军事测量等

方面。由地面摄影测量和航空摄影测量发展到遥感系统(简称 RS),它已广泛应用于防洪抗灾、森林防火、土地调研等领域。由光电仪器及计算机等学科的综合应用,发展到电子平板测图及自动收集、处理测量数据的地理信息系统(简称 GIS)。测量的对象也由地球表面扩展到外围空间,由静态发展到动态,测量仪器已由传统的光学仪器向电子化、智能化发展。

本书的主要内容包括普通测量学和部分工程测量学,着重介绍常规测量仪器的构造与使用、大比例尺地形图的测绘与应用以及一般工程的施工测量。

第二节 测量学在土木工程中的作用

土木工程的各个阶段都离不开测量工作。

在工程规划设计阶段,首先要测绘地形图,为设计提供详细、准确的各种比例尺图件和测绘资料,以便确定布局合理、经济实用的设计与规划方案。

在工程施工阶段,根据设计图纸的要求,将设计好的建(构)筑物的位置在场地上标定出来,作为施工位置的依据。

在施工过程中,及时为施工提供所需的轴线及标高,以保证按图施工,实现设计理念,也要对施工和安装工作采用测量的方法进行几何尺寸、平面位置及标高等检验、校核,以满足设计要求、保证结构安全,同时也是评定施工质量的依据之一。

在运营管理阶段,对某些大、中型的建(构)筑物以及重要结构的地基稳定情况,还要定期地进行变形观测,以保证建(构)筑物的安全运营,也为改进设计提供重要依据。

由此可见,在土木工程中自始至终都需要测量工作。而测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量与进度。因此,土木工程测量对指导工程设计、要求按图施工、鉴定工程质量、保证工期及安全运营管理等都具有十分重要的意义。

特别是近年来,随着城市建设的不断发展,建(构)筑物的结构、功能、规模以及施工的新方法、新工艺相继出现。在结构形式上,从原来的四五层砖混结构发展到二三十层的钢筋混凝土结构,甚至高度达百米的钢结构;在功能上,从住宅楼、办公楼、教学楼等发展到大型公用建筑物、高级饭店、写字楼、公寓、俱乐部等。这些变化使建筑物平面和立面的造型由直角和直线的轮廓向任意角度和曲线变化;在规模上,从单幢建筑物发展为建筑群或建筑小区;在施工方法上,由于机械化程度提高,已不只是现场砌筑,而常采用预制构(部)件现场安装,加快了施工速度;在施工工艺上,从传统的砌筑、倒模向升板、大模和滑模发展。各种立交桥、高速公路、地下交通等工程的建设,都对测量工作在方法、精度和速度上提出了新的要求。为此,对于建筑工程、城镇规划与建设、给水与排水、供热与通风、建筑设备安装、市政道路工程等土木建设类专业的学生,在掌握相关测量知识上提出如下要求。

- (1)掌握测量学的基本理论、基本知识及基本技能。
- (2)能熟练操作各种测量仪器。
- (3)会使用各种测量仪器进行角度、高程、距离等基本的测量工作。
- (4)能够由已知数据及观测数据计算出所求点位的坐标、高程、方位等。
- (5)能进行各种地形图、平面图的测绘与使用。
- (6)能应用所学的测量知识,进行土木工程施工中的定位、放线、抄平等工作。

第三节 地面点位的确定

一、测量的基准面

测量工作研究的对象是地面点。这些连续不断的地面点组成了起伏不平、极其复杂的地球表面，有高山、丘陵、平原和海洋。描述这样一个复杂表面上各点的位置，就要选择一个基准面作为依据。由于地球表面上海洋的面积约占 71%，而陆地面积仅占 29%，因此人们很自然地把理想静止的海水表面选为基准面。静止的(海)水面称为水准面，与水准面相切的平面称为水平面。海水表面有涨有落，因此水准面不是惟一的。但是，某一点多年平均海水面位置基本上是稳定的。所以，人们就选取经过本国或本地区某一点的平均静止的海水面为惟一的基准面，称为大地水准面。它穿过大陆与岛屿延伸所形成的一个闭合曲面所包围的形体称为大地体。

由于地球的自转运动，地球上任一点都要受到离心力和吸引力的作用，这两个力的合力称为重力。重力的作用线为铅垂线，铅垂线是测量工作的基准线，而静止的水表面处处与铅垂线垂直，所以，大地水准面也就必然保持这一特征。但是，由于地球内部质量分布不均匀，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不规则的复杂曲面，如图 1-1 (a) 所示，它不能用一个规则几何形体和数学公式表达。若把地球的自然表面投影到这个曲面上，就很难进行测量的计算与制图工作。为此，人们就采用一个与大地水准面非常接近的规则几何表面来代替它，以表示地球的形状与大小，这个规则的几何表面就称为地球椭球面，它所包围的形体称为地球(参考)椭球体，如图 1-1 (b) 所示，作为测量工作和制图工作的基准面。地球(参考)椭球体由椭圆 NESW 绕其短轴 NS 旋转而成，如图 1-2 所示。它的形状与大小，通常以其长半径 a ，短半径 b 和扁率 α 来表示。我国目前采用的元素值为 $a=6\,378\,140\text{ m}$ ， $b=6\,356\,755\text{ m}$ ， $\alpha=\frac{a-b}{a}=\frac{1}{298.257}$ ，并选择陕西省泾阳县永乐镇某点为大地原点，进行大地定位。由此而建立起的国家坐标系，就是现在使用的“1980 年国家大地坐标系”。

由于地球(参考)椭球体的扁率很小，在小范围内可近似地把它作为圆球体，其半径为

$$R=\frac{1}{3}(2a+b)=6\,371(\text{km})$$

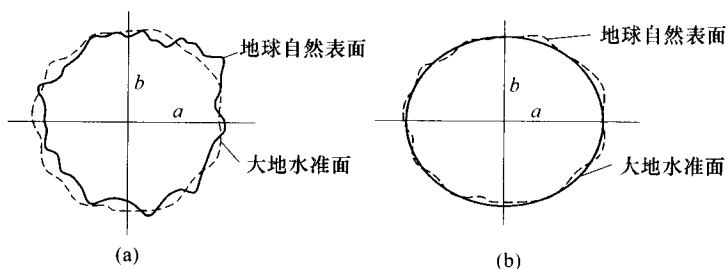


图 1-1

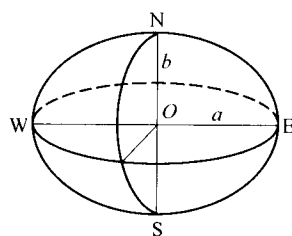


图 1-2

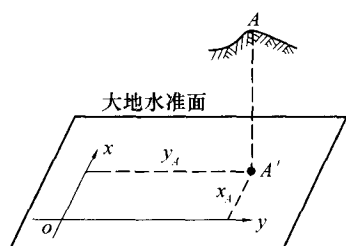


图 1-3

二、确定点位的方法

从几何学中知道, 一个点的空间位置, 需要用三个量来确定, 即三维空间坐标。同样, 在确定地面点位时, 也采用三维空间坐标来表示。在大范围内, 用球面坐标系的两个坐标表示地面点投影到椭球体表面上的位置; 在小范围内, 用平面直角坐标系中两个坐标表示地面点投影到水平面上的位置, 第三个坐标用高于或低于大地水准面铅垂距离来表示。如图 1-3 所示。

(一)地面点在投影面上的坐标

1. 地理坐标

在大区域内或从整个地球范围内来考虑点的位置, 常采用经度 λ 和纬度 φ 表示, 称为地理坐标。如图 1-4 所示, N、S 为地球北极和南极, NS 称为地轴, O 为地球的中心。

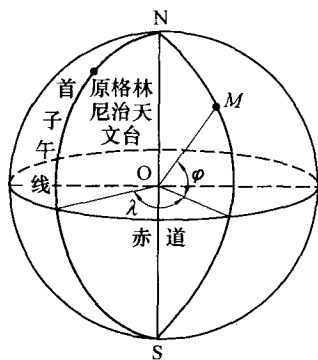


图 1-4

通过地球的中心且垂直于地轴的平面称赤道面。它与地球表面的交线就是地球赤道线。

经过地轴所作的平面称为子午面。子午面与地球表面的交线称为子午线。其中通过原格林尼治天文台(国际协议原点 C_1O)的子午面和子午线, 分别为称首子午面和首子午线。

地面上某一点 M 的经度, 就是通过该点的子午面与首子午面间的夹角, 用 λ 表示。经度从首子午线起向东自 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经, 向西自 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。

M 点的纬度, 就是该点的铅垂线与赤道平面间的夹角, 用 φ 表示。纬度从赤道起向北自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬, 向南自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。

地面上每一点都有一对地理坐标。例如位于呼和浩特市某点的地理坐标为东经 $111^\circ 42'$, 北纬 $40^\circ 52'$ 。知道了某一点的地理坐标, 就可以确定该点在大地水准面上的投影位置。

2. 高斯平面直角坐标

地理坐标是球面坐标, 在国家的中、小比例尺地图绘制中常采用。在工程建设设计、施工中使用的大比例尺地形图, 则用高斯平面直角坐标来确定地面点的平面位置。

由于地球表面是曲面, 要把曲面上的点投影到平面上, 就必须采用适当的投影方法。为了叙述方便, 把地球看做圆球, 并设想把投影面卷成圆柱体套在地球上, 那么就有一条子午线与圆柱体内壁相切, 如图 1-5 所示。

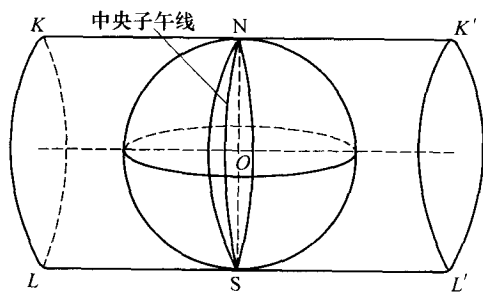


图 1-5

投影时, 可以假想在地球中心有一点光源, 由点光源发出的光线, 把相切子午线及其两边的点、线投影到圆柱体上。在该子午线上长度没有变形, 离开该子午线愈远的点、线投影变形就愈大。在一定的经度差内, 就可以控制投影变形的大小。因此, 就可把该范围的点、线投影到圆柱

体上。由于两侧对称，这条相切的子午线就称为该投影范围的中央子午线，此线作为投影后的纵坐标轴—— x 轴；将赤道面扩大，并与圆柱体相交，则得到赤道在柱面上的投影，它也是一条直线，但长度有变形，此线作为投影后的横坐标轴—— y 轴；两轴的交点作为坐标原点。然后，将圆柱体沿过南极、北极的母线 LL' 、 KK' 剪开并展开成平面，如图 1-6 所示。此平面称为高斯投影平面。

高斯平面直角坐标系建立的要点如下所述。

(1) 把地球表面每隔一定的经度差 6° 划分一带，整个地球分为 60 个带；并从首子午线开始自西向东编号，如图 1-7 所示，东经 $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第 1 带， $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第 2 带……位于每带中央的子午线为中央子午线。如第 1 带中央子午线的经度为 3° ，任一带的中央子午线经度为

$$\lambda_0 = 6^\circ N - 3^\circ \tag{1-1}$$

式中 N ——带的编号。

(2) 以每条带的中央子午线为坐标系纵轴 x ，赤道为横轴 y ，其交点为坐标系原点 O ，从而构成使用于这一带的高斯平面直角坐标系，如图 1-8 所示。在这个投影面上的每一点的位置，就可用直角坐标 x 、 y 值来确定。

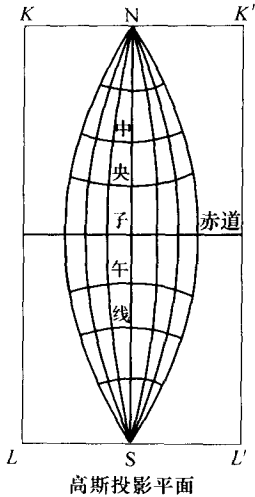


图 1-6

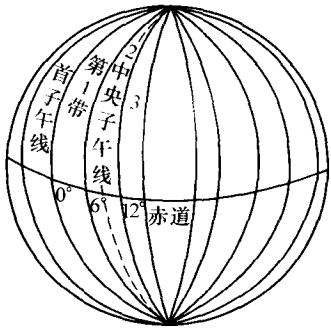


图 1-7

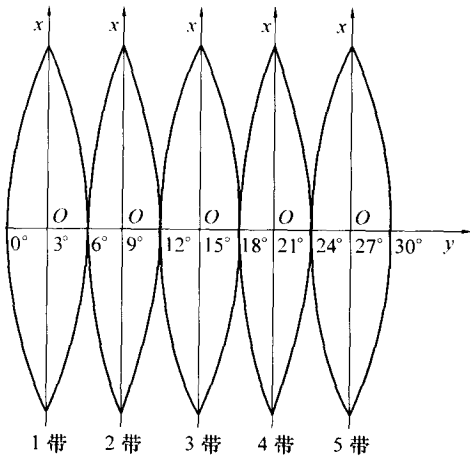


图 1-8

(3) 由于我国位于北半球，所以在我国范围内所有点的 x 坐标值均为正值，而 y 坐标值则有正值也有负值。为了使 y 坐标不出现负值，人为地把坐标纵轴向西平移 500 km，即把实际 y 坐标值上加上 500 km 作为使用坐标。如图 1-9 所示。

每一个 6° 带，都有其相应的平面直角坐标系。为了表明某点位于哪一个 6° 带，规定在横坐标值前面加上带号，例如：

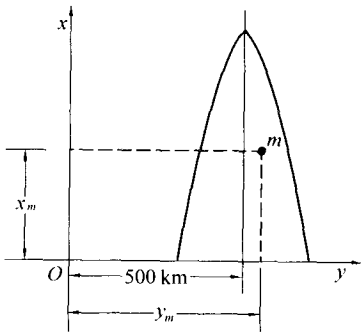


图 1-9

$$x_m = 3\,218\,643.98\text{ m}$$

$$y_m = 20\,587\,307.25\text{ m}$$

此处, y 坐标的前面两位数字“20”, 表示该点位于第 20 带。

高斯投影中, 离中央子午线近的部分变形小, 离中央子午线愈远变形愈大, 两侧对称。因此, 要求投影变形更小时, 应采用 3° 带。 3° 带是从东经 $1^\circ 30'$ 起, 每隔经差 3° 划分一个带, 整个地球划分为 120 个带, 每一带按前面所述方法, 建立起各自的高斯平面直角坐标, 如图 1-10 下半部分所示。各带的中央子午线经度为

$$\lambda_0' = 3^\circ n \quad (1-2)$$

式中 n ——带的编号。

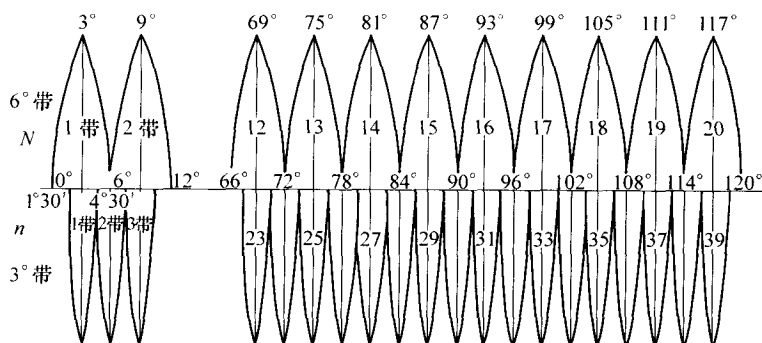


图 1-10

3. 假定(独立)平面直角坐标

在小范围内(一般半径不大于 10 km 的范围内), 把局部地球表面上的点, 以正射投影的原理投影到水平面上, 在水平面上假定一个直角坐标系, 用直角坐标描述点的平面位置。如图 1-11 所示。

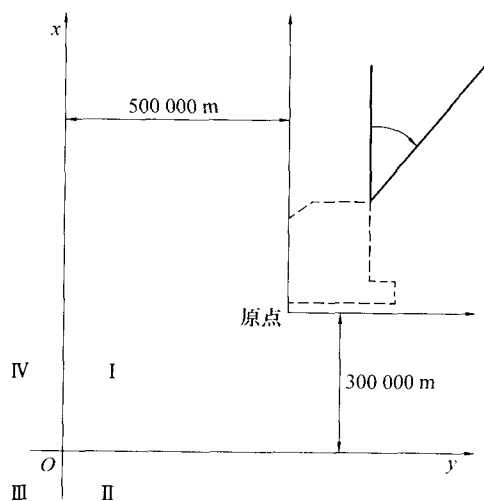


图 1-11

假定平面直角坐标建立方法, 一般是在测区中选一点为坐标原点, 以通过原点的真南北方向(子午线方向)为纵坐标 x 轴方向, 以通过原点的东西方向(垂直于子午线方向)为横坐标 y 轴方向。为了便于直接引用数学中的有关公式, 以右上角为第 I 象限, 顺时针排列, 依次为 II、III、IV 象限。为了避免在测区内出现负坐标值, 原点坐标多定为一个足够大的整数, 如图 1-11 中 $x_{\text{原}} = 300\,000\text{ m}$, $y_{\text{原}} = 500\,000\text{ m}$ 。

直角坐标系建立后, 地面上各点的位置都可以用坐标 (x, y) 表示。即地面点可用坐标反映在图纸上, 图上的点也可以用坐标准确地反映在地面上。假定平面坐标施测完毕以后, 尽量与国家坐标系联测(即进行坐标轴的换算)。

(二)地面点的高程

为了确定地面的点位, 除了要知道它的平面位置外, 还要确定它的高程。

1. 高程

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,简称高程(或海拔),用 H 表示,如图 1-12 所示。地面点 A 、 B 点的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。海水受潮汐和风浪的影响,是个动态曲面,我国在青岛设立验潮站,长期观测和记录黄海海水面的高低变化,取其平均值作为大地水准面的位置(其高程为零),作为我国计算高程的基准面,并在青岛建立了水准原点。

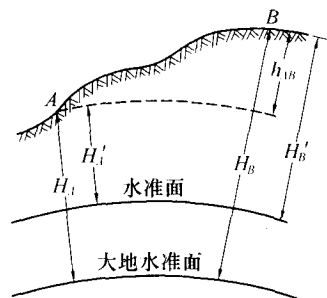


图 1-12

目前,我国采用“1985 国家高程基准”,它是采用青岛验潮站 1953~1977 年验潮资料计算确定的,并能算得青岛水准原点高程为 72.260 m,全国各地的高程都以它为基准进行测算(原 1956 年高程基准和青岛水准原点高程 72.289 m,已由国测发[1987]198 号文件通告废止)。

当个别地区采用绝对高程有困难时,可采用假定高程系统,即以任意水准面作为起算高程的基准面。地面点到任一水准面的铅垂距离称为该点的相对高程或假定高程。如图 1-12 中的 H'_A 、 H'_B 。

在实际工作中,在测区内选择(埋设)一个稳定的点,假定它的高程,测区内其余各点的高程都以它为准进行测量与计算。若有需要,只须与国家水准点联测,即可换算成绝对高程。

在建筑工程中常以第一层室内地坪作为该建筑的高程起算面,称为“ ± 0 ”,建筑各部位的标高都是相对“ ± 0 ”而言的。

2. 高差

地面上两点间的高程之差称为高差,用 h 表示。高差有方向且有正负之分,如图 1-12 所示, A 、 B 两点的高差为

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

由此可见,两点间的高差与高程起算面无关。当 h_{AB} 为正时, B 点高于 A 点;当 h_{AB} 为负时, B 点低于 A 点。

B 、 A 两点的高差为

$$h_{BA} = H_A - H_B = H'_A - H'_B \quad (1-4)$$

由此可见, A 、 B 两点的高差与 B 、 A 两点的高差绝对值相等,符号相反,即 $h_{BA} = -h_{AB}$ 。

三、用水平面代替水准面的范围

如前所述,在小范围测区内,可以用水平面来代替水准面。那么,把水准面看成一个水平面,在测量中将会产生多大的误差影响呢?为了讨论的方便,仍假设地球是一个圆球。

(一)对距离的影响

如图 1-13 所示,设地面上 A 、 B 两点,沿铅垂线方向投影到大地水准面得 A' 、 B' 两点。用过 A' 点与大地水准面相切的平面来代替大地水准面,则 B 点在水平面上的投影为 C 。设 $A'C$ 的长度为 t , $A'B$ 的弧长为 s ,则两者之差即为用水平面代替大地水准面所引起的距离误差,用 Δs 表示,则有

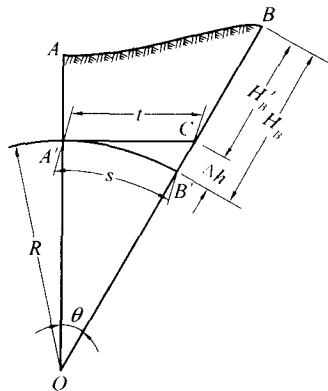


图 1-13

$$\Delta s = t - s = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-5)$$

将 $\tan \theta$ 用级数展开

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{5}{12}\theta^5 + \dots$$

因为 θ 很小, 所以只取前两项代入式(1-5)得

$$\Delta s = \frac{1}{3}R\theta^3$$

又因

$$\theta = \frac{s}{R}$$

所以

$$\Delta s = \frac{s^3}{3R^2} \quad (1-6)$$

或

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{s^2}{3R^2} \quad (1-7)$$

以地球半径 $R=6\,371\text{ km}$ 及不同的距离 s 代入式(1-7)中, 可得到表 1-1 所列的结果。

表 1-1 水平面代替水准面对距离的影响

s (km)	Δs (cm)	$\Delta s / s$
10	0.82	1 : 1 217 600
20	6.57	1 : 304 400
50	102.65	1 : 48 700

由表 1-1 可知, 当水平距离为 10 km 时, 用水平面代替水准面所产生的误差为距离的 $1/1\,217\,600$, 而目前最精密的量距误差为距离的 $1/1\,000\,000$ 。所以, 在半径为 10 km 的测区范围内进行距离测量时, 可以把水准面当作水平面, 不必考虑地球曲率的影响。

(二)对角度的影响

由球面三角学可知, 同一空间多边形在球面上投影的各内角和, 要大一个球面角超值 ε'' 。

$$\varepsilon'' = \rho'' \frac{P}{R^2} \quad (1-8)$$

式中 P ——球面多边形的面积, km^2 ;

R ——地球半径, km;

ρ'' ——1 弧度的秒值, $\rho'' = 206\,265''$ 。

以地球半径 $R=6\,371\text{ km}$, 不同测区面积 P 代入式(1-8)中, 可得到表 1-2 所列结果。

表 1-2 水平面代替水准面对角度的影响

$P(\text{km}^2)$	100	200	400
$\varepsilon (")$	0.51	1.02	2.03

对于面积为 100 km^2 的多边形, 其角度误差很小, 只在精密的测量中才需要考虑这项误差的影响, 一般的测量工作中, 可不予考虑。

由于确定点的平面位置的主要测量工作是距离测量和角度测量, 因此根据以上两项分析, 当测区面积小于 100 km^2 时, 可以把大地水准面当成水平面。在测量精度要求较低的情况下, 这个范围还可以扩大。

(三)对高程的影响

如图 1-13 所示, 地面点 B 的绝对高程为 H_B 。当用水平面代替大地水准面时, 则 B 点的高程应为 H'_B , 其差数即为用水平面代替大地水准面所产生的高程误差, 用 Δh 表示, 可得

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2$$

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R + \Delta h} \quad (1-9)$$

因为 t 和 s 相差较小, 取 $t \approx s$; 又因为 Δh 远小于 R , 取 $2R + \Delta h \approx 2R$, 代入式 (1-9) 得

$$\Delta h = \frac{s^2}{2R} \quad (1-10)$$

以地球半径 $R=6371 \text{ km}$ 及不同的距离 s 值代入式 (1-10) 可得到表 1-3 所列结果。

表 1-3 水平面代替水准面对高程的影响

$s(\text{km})$	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
$\Delta h(\text{cm})$	0.08	0.31	2.0	7.8	31.0	71	126	196

由表 1-3 可以看出, 地球曲率对高程的影响很大。因此, 在较短的距离内, 也应考虑地球曲率对高程的影响。

第四节 测量工作的基本内容

地面点位可以用它在投影面上的坐标和高程来确定。地面点的坐标和高程, 在实际工作中并不是直接测定的, 而往往都是通过测量地面点的相互关系, 经过推算得到的。在图 1-14 中, 如已知 1 点坐标 (x_1, y_1) , 那么通过测量角度 α 、 β_2 、 β_3 、 $\cdots$ 和距离 D_1 、 D_2 、 $\cdots$, 就可以运用几何关系推算出 2、3、 $\cdots$ 点的坐标。应该注意的是, 为了测算地面点的坐标, 要观测的是它们投影到水平面上以后投影点

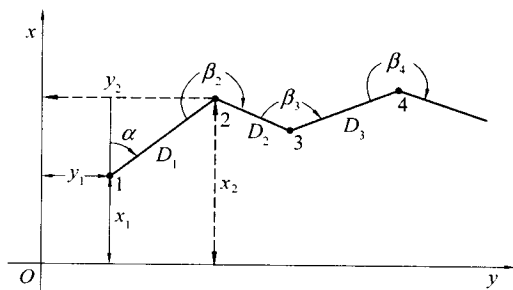


图 1-14

之间所组成的角度和边长, 即水平角和水平距离, 而不是地面点之间所组成的角度和边长。同理, 如果知道 1 点的高程, 又测得了各相邻点间的高差, 那么 2、3、 $\cdots$ 点的高程也可以

推算得到。所以，测量水平角、水平距离和点位之间的高差就是测量工作的三个主要内容，而 x 、 y 、 H 是确定地面点的平面位置和高程的三个要素。

第五节 测量工作的组织原则和基本要求

一、测量工作的组织原则

无论是测绘还是测设，最基本的问题是测定点的位置。为了避免误差的积累与传递，保证测区内一系列点位之间具有必要的精度，测量工作必须遵循“从整体到局部”，“由高级到低级”，“先控制后碎部”的原则。为此，应首先在测区内选定一些起主导作用的点位，组成一定的几何图形，如图 1-15 中 1、2、3 点位等，使用较精密的仪器和科学的测量方法，测量其平面位置和高程。这些点位精度较高，起着整体控制的主导作用，这些点称为控制点。由一系列控制点所构造的几何图形称为控制网。测量控制点平面位置的工作称为平面控制测量，测量控制点高程的工作称为高程控制测量。在控制点的基础上，测量控制点与其周围碎部点间的相对位置，称为碎部测量或地形测量。

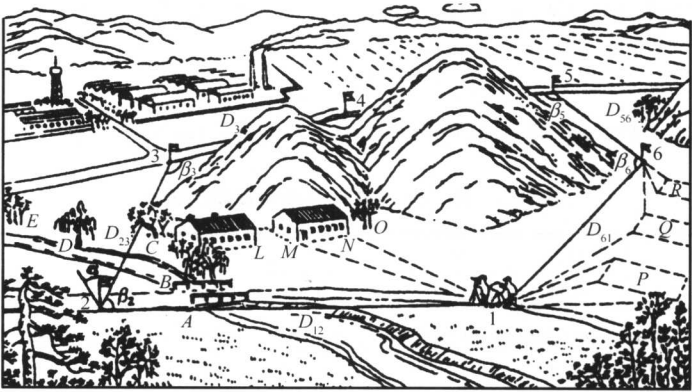


图 1-15

例如在控制点 1 测绘其周围的碎部点 L 、 M 、 N 等，在控制点 2 测绘其周围的碎部点 A 、 B 、 C 等。由于控制点之间相互联系成一体，所以全测区内碎部点的相对位置也相互联系成一体。这样碎部测量的精度虽然比控制点测量的精度低，但是碎部点的位置都是从控制点测定的，所以误差不会从一个碎部点传递到另一个碎部点。在一定的观测条件下，使各个碎部点能保证它应有的精度。这种“从整体到局部”，“先控制后碎部”的测量工作的组织原则，无论是地形图测绘还是施工测量工作都是本着这一基本原则进行的。它既可以保证全测区的整体精度，不致使碎部测量的误差累积起来，同时还可以根据控制网把整个测区划分成若干个局部，展开几个工作面同时施测碎部，加快测量进度。

测量工作有内业和外业之分。为了确定地面点的位置，利用测量仪器和工具在现场进行测角、量距和测高差等工作，称为测量外业。将外业观测数据、资料在室内进行整理、计算和绘图等工作，称为测量内业。测量成果的质量取决于外业，但外业又要通过内业才能得出成果。因此，不论外业还是内业，都必须坚持“边测量边校核”的原则，这样才能