

“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

建筑施工测量

主 编 林长进

建筑施工测量

主 编 林长进

北京出版集团
北京出版社



扫描二维码
共享立体资源

北京出版集团
北京出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑施工测量 / 林长进主编. — 北京 : 北京出版社, 2014.5 (2020 重印)
高职“十二五”规划教材: 2014 版
ISBN 978-7-200-10690-9

I. ①建… II. ①林… III. ①建筑测量—高等职业教育—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 114152 号

建筑施工测量

JIANZHU SHIGONG CELIANG

主 编: 林长进
出 版: 北京出版集团
北京出版社
地 址: 北京北三环中路 6 号
邮 编: 100120
网 址: www.bph.com.cn
总发行: 北京出版集团
经 销: 新华书店
印 刷: 定州市新华印刷有限公司
版印次: 2014 年 5 月第 1 版 2020 年 10 月修订 2020 年 10 月第 5 次印刷
开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16
印 张: 19.5
字 数: 405 千字
书 号: ISBN 978-7-200-10690-9
定 价: 58.00 元

教材意见建议接收方式: 010-58572162 邮箱: jiaocai@bphg.com.cn

如有印装质量问题, 由本社负责调换

质量监督电话: 010-82685218 010-58572750 010-58572393

单元一 测量基础知识	1
学习任务 1 建筑工程测量的任务	2
学习任务 2 地面点位的确定	3
学习任务 3 测量工作的基本原则	12
学习任务 4 测量误差的基本知识	14
单元二 水准测量	20
学习任务 1 水准测量原理	21
学习任务 2 水准测量的仪器与工具	22
学习任务 3 DS_3 微倾式水准仪的使用	26
学习任务 4 水准测量的实施与成果整理	28
学习任务 5 水准测量的误差及注意事项	36
学习任务 6 自动安平水准仪和精密水准仪	38
学习任务 7 数字水准仪	42
工作任务 8 水准仪的使用与等外水准测量	43
工作任务 9 DS_3 微倾式水准仪的检验与校正	50
单元三 角度测量	57
学习任务 1 角度测量原理	58

学习任务 2 DJ ₆ 型光学经纬仪	59
学习任务 3 DJ ₂ 型光学经纬仪的构造和读数	63
学习任务 4 经纬仪的使用	65
学习任务 5 水平角观测	67
学习任务 6 竖直角观测	71
学习任务 7 角度测量的误差及其消减方法	76
学习任务 8 电子经纬仪简介	79
工作任务 9 经纬仪的使用与水平角观测	80
工作任务 10 竖直角测量及竖盘指标差检验	84
工作任务 11 DJ ₆ 型光学经纬仪的检验与校正	86
单元四 距离测量与直线定向	94
学习任务 1 钢尺量距	95
学习任务 2 普通视距测量	102
学习任务 3 光电测距	105
学习任务 4 直线定向	109
工作任务 5 视距测量	112
单元五 全站仪和 GPS 测量技术	116
学习任务 1 全站仪的认识与使用	117
学习任务 2 全站仪的基本操作	120
学习任务 3 全站仪的检定	131
学习任务 4 GPS 定位技术及应用	135
工作任务 5 全站仪的认识与使用	143
工作任务 6 GPS 接收机静态观测	145

单元六 小区域控制测量 148

学习任务 1 控制测量概述	149
学习任务 2 导线测量	153
学习任务 3 导线测量的内业计算	156
学习任务 4 全站仪导线测量	170
学习任务 5 三、四等水准测量	172
学习任务 6 三角高程测量	176
工作任务 7 四等水准测量(闭合水准测量)	178
工作任务 8 导线测量	181

单元七 大比例尺地形图测绘和应用 186

学习任务 1 地形图的基本知识	187
学习任务 2 地形图测图前的准备工作	199
学习任务 3 大比例尺地形图的测绘	201
学习任务 4 地形图的应用	210
工作任务 5 经纬仪测绘地形图	221

单元八 施工测量的基本工作 226

学习任务 1 施工测量概述	227
学习任务 2 测设的基本工作	228
工作任务 3 建筑物平面位置的测设	237

单元九 建筑工程施工测量 242

学习任务 1 施工测量的主要任务	243
学习任务 2 施工控制网的测量	244
学习任务 3 民用建筑施工测量	250
学习任务 4 基础施工测量	256

学习任务 5 墙体施工测量	259
学习任务 6 高层建筑施工测量	262
学习任务 7 工业建筑施工测量	266
学习任务 8 建筑物变形观测	277
学习任务 9 竣工总平面图的编绘	285
工作任务 10 建筑物定位与放线	286

北京出版社

单元一 | 测量基础知识

单元描述

测量学是一门研究地球表面的形状和大小，以及确定地球表面（包含空中、地下和海底）点位的科学。它的内容包括测定和测设两部分。测定（测绘）——由地面到图形，指使用测量仪器，通过测量和计算，得到一系列测量数据，或把地球表面的地形缩绘成地形图，供科学研究、经济建设和国防建设使用。测设（放样）——由图形到地面，指用一定的测量仪器和方法把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在实地上标定出来，作为施工的依据。



建筑工程测量

学习任务 1 | 建筑工程测量的任务

■ 任务目标

1. 了解测量学的研究对象和任务。
2. 熟悉测量学在建筑工程建设中的应用。
3. 要发扬工匠精神、中国精神、测绘精神，测量工作，不仅要懂得理论知识，技能操作，还需要从业人员要有良好的职业道德规范。

知识链接

一、测量学的研究对象和任务

测量学是一门研究地球表面的形状和大小，以及确定地球表面（包含空中、地下和海底）点位的科学。它的内容包括测定和测设两部分。测定（测绘）——由地面到图形，指使用测量仪器，通过测量和计算，得到一系列测量数据，或把地球表面的地形缩绘成地形图，供科学研究、经济建设和国防建设使用。测设（放样）——由图形到地面，指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来，作为施工的依据。

测量学科按照研究范围和对象的不同，产生了许多分支学科，如普通测量学、大地测量学、摄影测量学、工程测量学、地形测量学和地图制图学。

普通测量学——研究地球表面局部区域的测绘工作，主要包括小区域的控制测量、地形图测绘和一般工程测设。

大地测量学——研究和确定地球形状、大小、重力场、整体与局部运动和地面点的几何位置以及它们变化的理论和技术的学科。其基本任务是建立国家大地控制网，测定地球的形状、大小和重力场，为地形测图和各种工程测量提供基础起算数据；为空间科学、军事科学及研究地壳变形、地震预报等提供重要资料。按照测量手段的不同，大地测量学又分为常规大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学。

摄影测量学——研究利用电磁波传感器获取目标物的影像数据，从中提取语义和非语义信息，并用图形、图像和数字形式表达的学科。其基本任务是通过摄影相片或遥感图像的处理、量测、解译，以测定物体的形状、大小和位置，进而制作成图。根据获得影像的方式及遥感距离的不同，本学科又分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感测量学等。

工程测量学——研究各种工程建设和资源开发的勘测设计、施工、竣工和运营中测量工作的基本理论和技术方法的学科。它主要以建筑工程、公路工程、机器和设备等工程为研究服务对象，具有应用广泛、实践性强、技术革新快和与工程结合紧密等特点。

地形测量学——研究如何将地球表面局部区域内的地物、地貌及其他有关信息测绘成地形图的理论、方法和技术的学科。按成图方式的不同，地形测图可分为模拟化测图和数字化测图。

地图制图学——研究模拟和数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术、方法以及应用的学科。它的基本任务是利用各种测量成果编制各类地图，其内容一般包括地图投影、地图编制、地图整饰和地图制印等分支。

测量学各分支学科之间相互渗透、相互补充、相辅相成。本课程讲述的主要是普通测量学和建筑工程施工测量的有关内容。

二、建筑施工测量任务

建筑施工测量的任务包括测定和测设两部分。它是研究建筑工程在勘察设计、施工建设和运营管理各阶段所进行的各种测量工作的理论和技术的学科。

建筑工程施工项目从前期准备到竣工验收的全过程，均需要进行测量工作，为其提供测量控制点、场地地形图和进行定位放线、施工测量、变形测量和竣工测量等技术服务。特别是在施工阶段，每道工序首先要做的工作就是测量放线，且在施工全过程进行质量检查，完成符合国家有关质量验收标准的施工测量任务；同时在整个施工测量过程中必须严格按照规定进行文明和安全作业。在营运阶段，还要应用测量进行一些常规检查和定期进行变形观测，以确保建筑工程及构筑物的安全使用。

可以说，建筑的勘测、设计、施工、竣工及运营的各个阶段都离不开测量工作。因此，具备建筑工程测量技能是建筑工程技术专业学生从事本职业工作必备的基本素质和能力。

学习任务 2 | 地面点位的确定

■ 任务目标

1. 熟悉确定地面点的坐标系统的方法。
2. 熟悉我国经济社会的发展与大地测量技术的进步，我国大地坐标系经历了几次重要变化；新一代大地坐标系的建成标志着我国大地坐标系向现代化目标迈进了重要一步。



地球的形状和大小

一、地球的形状和大小

地球的自然表面高低起伏，有高山、丘陵、平原、江河、湖泊和海洋等，是一个凹凸不平的复杂曲面。其最高的珠穆朗玛峰高出海平面达 8 848.43m，最低的马里亚纳海沟低于海平面达 11 022m，但是这样的高低起伏相对于地球半径 6 371km 来说还是很小的，再考虑到地球的表面海洋面积约占 71%，陆地面积仅约占 29%，因此人们习惯上把海水面所包围的地球形体看作地球的形状。

地球上的任何物体都受到地球自转产生的离心力和地心吸引力的作用，这两个力的合力称为重力。重力的作用线常称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。

地球上自由静止的水面称为水准面，它是一个处处与重力方向垂直的连续曲面，并且是一个重力场的等位面，与水准面相切的平面称为该切点处的水平面。水准面因高度不同而有无数个，其中一个与平均海平面相吻合并向大陆岛屿内延伸而形成的闭合曲面，称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面，可作为地面点计算高程的起算面，高程起算面也叫作高程基准面。由大地水准面所包围的形体称为大地体。

用大地体表示地球的形状是恰当的，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复杂的曲面，无法在这个曲面上进行测量数据的处理。为了计算方便，通常用一个非常接近于大地水准面，并可用数学式来表示的几何体来代替地球的形状，作为测量计算工作的基准面，这就产生了“旋转椭球”的概念。旋转椭球是由一椭圆（长半轴 a ，短半轴 b ）绕其短半轴 b 旋转而成的形体，故地球椭球又称为“旋转椭球”，如图 1-1 所示。旋转椭球体的形状和大小是由长半径 a 、短半径 b 和扁率 α 所决定的。我国目前采用的参考椭球体的元素值为：

长半径 $a=6\,378\,140\text{m}$

短半径 $b=6\,356\,752\text{m}$

扁率 $\alpha=(a-b)/a=1/298.257$

并选择陕西省泾阳县永乐镇某点为大地原点，进行了大地定位。由此建立起来的全国统一坐标系，就是现在使用的 1980 年国家大地坐标系。

由于地球的参考椭球的扁率很小，可把这个参考椭球近似看作半径为 $6\,371\text{km}$ 的圆球。

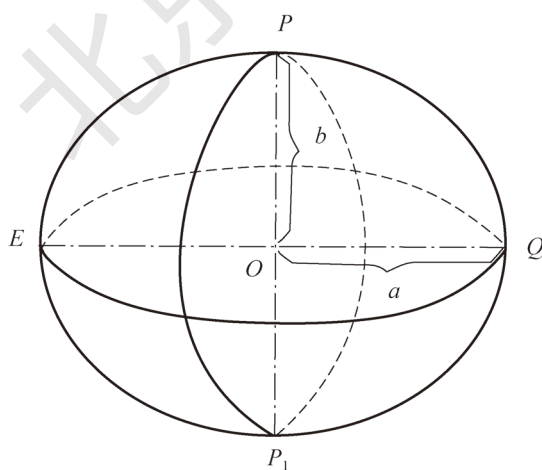


图 1-1 旋转椭球体

二、确定地面点位的方法

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用三个

量。我们一般以某点在基准面上的投影到平面上的二维平面坐标，及该点到大地水准面的铅垂距离，确定地面点在投影面上的坐标和高程。

根据具体情况，确定地面点位的坐标系可选用大地坐标系、独立平面直角坐标系和高斯平面直角坐标系。

1. 大地坐标系

用大地经度和大地纬度来表示地面点在参考椭球面上投影位置的坐标系，如图 1-2 所示， O 为地心， PP' 为地球旋转轴，简称地轴，通过地轴的平面称为子午面，子午面与地球表面的交线称为子午线（经线）。过地心 O 垂直于地轴的平面称为赤道面，赤道面与地球表面的交线称为赤道。确定地面点的地理坐标，以赤道面和首子午面（过英国格林尼治天文台）作为基准面，它自首子午线向东或向西从 0° 起算至 180° ，在首子午线以东者为东经，以西者为西经。同一子午线上各点的经度相同。

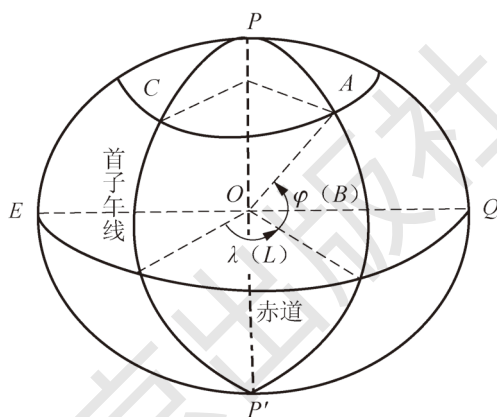


图 1-2 地理坐标

地面上任意一点的纬度，即通过该点的铅垂线与赤道面的夹角。以赤道为基准，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬，向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬。纬度相同的点的连线称为纬线。同一纬线上各点的纬度相同。

以法线为依据，以参考椭球面为基准面的地理坐标称为大地地理坐标，分别用 L 、 B 表示：经度——所在的子午面与首子午面（过英国格林尼治天文台）的夹角，纬度——所在点的铅垂线与赤道平面之间的夹角。以铅垂线为依据，以大地水准面为基准面的地理坐标称为天文地理坐标，分别用 λ 、 φ 表示。天文地理坐标是用天文测量的方法直接测定的；而大地地理坐标是根据起始的大地原点的坐标推算的。大地原点的天文地理坐标和大地地理坐标是一致的。

地面上每一点都有一对地理坐标，例如北京某点 P 的地理坐标为东经 $116^\circ 28'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

2. 独立平面直角坐标系

在小区域范围内，将大地水准面当作水平面看待，由此所产生的误差不大，便可以用平面直角坐标来代替球面坐标。根据研究分析，在 10km 为半径的范围内，可以

用水平面代替水准面，由此产生的变形误差对一般测量工作而言可以忽略不计。因此，我们进行一般工程项目的测量工作时，可以采用平面直角坐标系，即将小块区域直接投影到平面上进行有关计算。在平面上进行计算要比曲面上进行计算简单得多，且又不影响测量工作的精度。

图 1-3 为数学平面直角坐标系。图 1-4 为测量平面直角坐标系，规定坐标纵轴为 x 轴，且表示南北方向，向北为正，向南为负；规定横轴为 y 轴，且表示东西方向，向东为正，向西为负。为了避免测区内的坐标出现负值，可将坐标原点选择在测区的西南角上。坐标象限按顺时针方向编号如图 1-4 所示，其编号顺序与数学上直角坐标系的象限编号顺序相反，且 x 、 y 两轴线与数学上直角坐标系的 x 、 y 轴互换，这是为了测量计算时可以将数学中的公式直接应用到测量中来，而无须做任何修改。

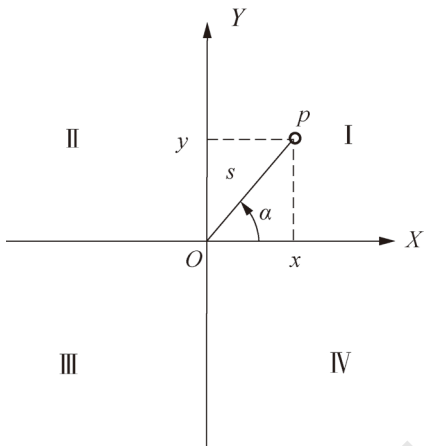


图 1-3 数学平面直角坐标系

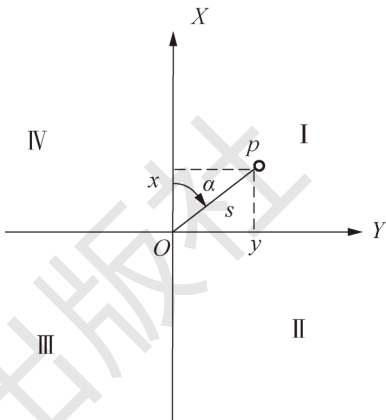


图 1-4 测量平面直角坐标系

3. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大，若把水准面当作水平面来看待，把地球椭球面上的图形展绘到平面上来，必然产生变形。为减小变形，必须采用适当的方法来解决。测量上常采用的方法是高斯投影方法。

高斯投影方法如图 1-5 (a) 所示，将地球看作一个圆球。设想用一个空心横圆柱体套在地球外面，使横圆柱的中心轴位于赤道面内并通过球心，让圆柱面与地球球面上某一个子午线相切，该子午线称为中央子午线，将中央子午线东西两侧球面上的图形按一定的数学法则投影到圆柱面上，然后将圆柱面沿着通过南北两极的母线切开展平，即得到高斯投影的平面图形，如图 1-5 (b) 所示。高斯投影前后所有角度保持不变，故高斯投影亦称为等角投影或正形投影。在投影后的高斯平面上，除中央子午线投影与赤道的投影构成两条相互垂直的直线外，其余子午线均为对称于中央子午线的曲线，而且距离中央子午线愈远，长度变形愈大，如分带子午线的变形就大于带内其他的子午线，如图 1-5 (b) 所示。

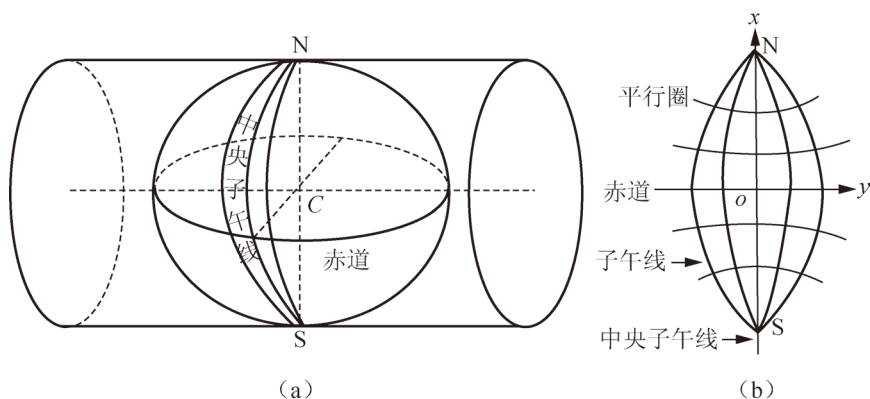
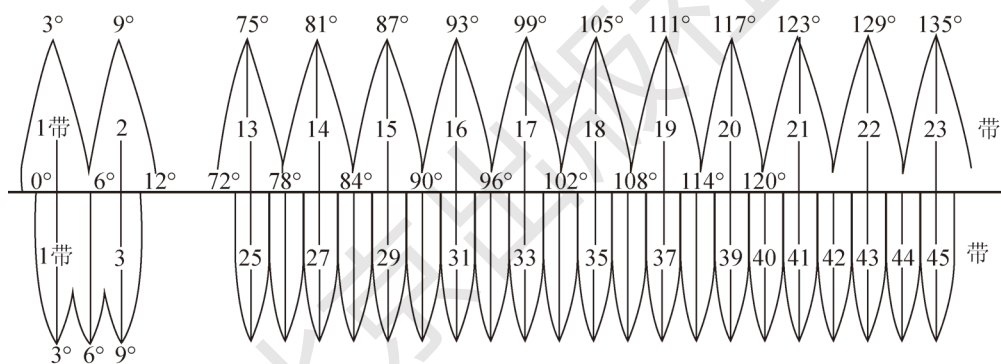


图 1-5 高斯平面直角坐标的投影

为使长度变形不大于测量的精度要求，高斯投影的方法从首子午线起每隔 6° 为一带，自西向东依次编为第 1、2……60 带。位于每个带中央的子午线称为中央子午线，其经度相应为 3° 、 9° ……位于各带边上的子午线称为分带子午线。如图 1-6 所示。

图 1-6 高斯投影分带与 6° 和 3° 带

任意带的中央子午线按下式计算：

$$L_0 = N \times 6^\circ - 3^\circ \quad (1-1)$$

式中： L_0 ——中央子午线经度；

N ——投影带的带号。

若已知某点的大地经度 L ，则可用式 (1-2) 计算该点所在的 6° 带带号

$$N = L / 6 \text{ INT} + 1 \quad (\text{INT—取整数}) \quad (1-2)$$

为了控制变形，满足大比例尺测图和精密测量的需要，也可采用 3° 带。 3° 带是从东经 1.5° 开始，自西向东每隔 3° 为一带，带号依次编为 1 ~ 120。每带中央子午线的经度按下式计算：

$$L_0 = 3^\circ \times N \quad (1-3)$$

式中： L_0 ——中央子午线经度；

N ——投影带的带号。

将每个投影带沿边界切开，展成平面，以中央子午线为纵轴 x ，向北为正，向南为负；赤道为横轴 y ，向东为正，向西为负；两轴的交点为坐标原点，这就组成了高斯平面直角坐标系，如图 1-7 所示。我国位于北半球， x 坐标为正号， y 坐标有正有负。为了避免横坐标出现负值，通常将每带的坐标原点向西移 500km，这样无论横坐标的自然值是正还是负，加上 500km 后均能保证每点的横坐标为正值，如图 1-7 所示。为了表明地面点位于哪一个投影带内，在横坐标前加上投影带号。因此，高斯平面直角坐标系的横坐标实际上是由带号、加 500km 以及自然坐标值三部分组成，这样的横坐标称为国家统一坐标系横坐标通用值。

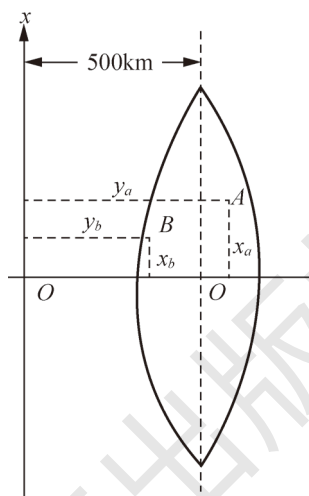


图 1-7 高斯平面坐标系示意图

[例 1-1] 国家高斯平面点 $P(3\ 032\ 586.48, 20\ 648\ 680.54)$ ，请指出其所在的带号及自然坐标为多少？

(1) 点 P 至赤道的距离： $X = 3\ 032\ 586.48\text{m}$

(2) 其投影带的带号为 20、 P 点离 20 带的纵轴 Y 轴的实际距离：

$$Y = 648\ 680.54 - 500\ 000 = 148\ 680.54\text{m}$$

三、地面点的高程体系

平面坐标仅表明了空间点在基准面上的投影位置。除此以外，还应确定该点沿投影方向到基准面的铅垂距离。

1. 绝对高程

地面上任意一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，用字母 H 表示，如图 1-8 中的 H_A 、 H_B 分别表示 A 点的高程和 B 点的高程。

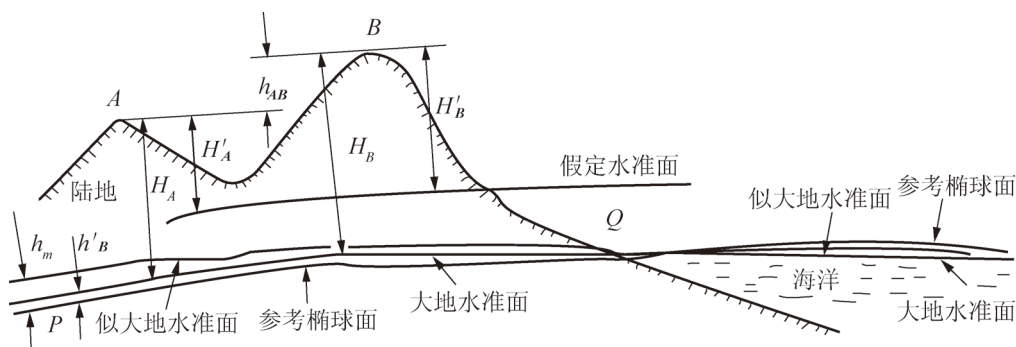


图 1-8 高程和高差

由于海水面受潮汐、风浪等影响，它的高低时刻在变化，是个动态的曲面。我国在青岛设立验潮站，长期观测黄海海平面的高低变化，取其平均值作为大地水准面的位置（其高程为零），并作为全国高程的起算面。为了建立全国统一的高程系统，在青岛验潮站附近的观象山埋设固定标志，用精密水准测量方法与验潮站所求出的平均海水面进行联测，测出其高程为 72.289m，并作为全国高程的起算点，称为水准原点。根据这个面起算的高程称为“1956 年黄海高程系”。

从 1987 年开始我国采用新的高程基准，采用青岛验潮站 1952—1979 年潮汐观测资料计算的平均海水面为国家高程起算面，称为“1985 国家高程基准”。根据新的高程基准推算的青岛水准原点高程为 72.260m，比“1956 年黄海高程系”的高程小 0.029m。

2. 相对高程

局部地区采用绝对高程有困难或者为了应用方便，也可不用绝对高程，而是假定将某一水准面作为高程的起算面。地面点到假定水准面的铅垂距离称为该点的相对高程，如图 1-8 中的 H'_A 、 H'_B 。

3. 高差

地面两点之间的高程之差称为高差，常用 h 表示。图 1-8 中 A 、 B 两点的高差：

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

B 点比 A 点高时，高差 h_{AB} 为正，反之为负。例如，已知 A 点高程 $H_A = 27.236\text{m}$ ， B 点高程 $H_B = 18.547\text{m}$ ，则 B 点相对于 A 点的高差 $h_{AB} = 18.547 - 27.236 = -8.689\text{m}$ ； B 点低于 A 点；而 A 点相对于 B 点的高差应为 $h_{BA} = 27.236 - 18.547 = 8.689\text{m}$ ； A 点高于 B 点。由此可见： $h_{AB} = -h_{BA}$ 。

四、用水平面代替水准面的限度

当测区较小或工程对测量精度要求较低时，可用水平面代替水准面，直接把地面投影到水平面上，以确定其位置。但是以水平面代替水准面有一定的限度。下面讨论水平面代替水准面对距离、高程测量的影响。

1. 水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-9 所示，在测区中选一点 A ，沿垂直投影到水平面 P 上为 a ，过 a 点作切平

面 P ，地面上 $A、B$ 两点投影到大地水准面上的弧长为 D ，在水平面上的距离为 D' ，则 $D=R\theta$

$D' = R\tan\theta$

(1-5)

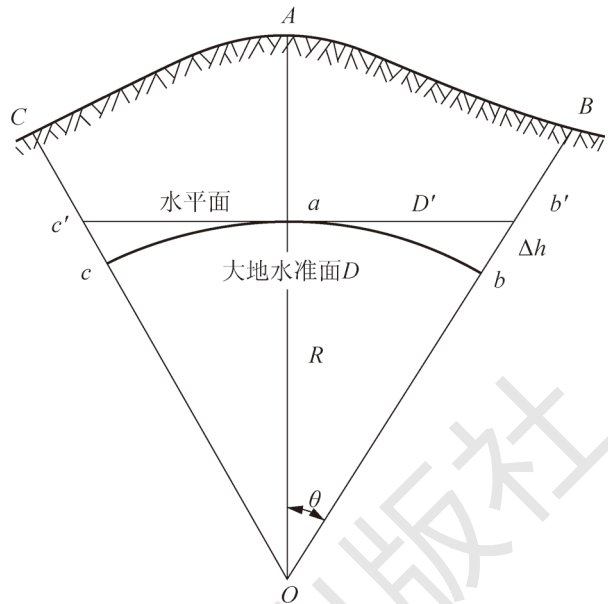


图 1-9 水平面代替水准面对距离和高程的影响

以水平面长度 D' 代替的弧长 D 产生的误差为

$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta)$

(1-6)

将 $\tan\theta$ 按级数展开，略去高次项，得

$\tan \theta = \theta + 1/3\theta^3$

(1-7)

将 (1-7) 代入 (1-6) 并考虑 $\theta=D/R$

$\text{得 } \Delta D = R(\theta + 1/3\theta^3 + \cdots - \theta) = R\theta^3/3 = D^3/(3R^2)$

(1-8)

两端除以 D ，得相对误差

$\Delta D/D = 1/3(D/R)^2$

(1-9)

地球的半径是 $R=6\,371\text{km}$ ，把不同的 D 值代入，可计算出水平面代替水准面的距离误差和相对误差列于表 1-1。

表 1-1 水平面代替水准面对距离的影响

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	相对误差	距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	相对误差
1	0.00	—	15	2.77	1 : 541 516
5	0.10	1 : 5 000 000	20	6.60	1 : 305 000
10	0.82	1 : 1 217 700			

由以上计算可见，在半径为 10km^2 的范围内，地球曲率对水平，距离的影响可以忽略不计。

2. 对水平角的影响

从球面三角可知，球面上三角形内角之和比平面相应内角之和多出球面角超 ε'' ，其值为

$$\varepsilon'' = Pp''/R^2 \quad (1-10)$$

式中： ε'' ——球面角超，单位为秒（″）；

P ——球面三角形面积；

p'' ——弧度值 $206265''$ 。

计算的结果表明，当测区范围在 100km^2 时，对角度的影响仅为 $0.51''$ ，在一般的测量中可以忽略不计。

3. 对高程的影响

由图 1-9 可见，以水平面代替水准面对高程产生的误差，也称为地球曲率对高程的影响，令其为 Δh 。

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

$$\Delta h = D'^2/2R + \Delta h$$

上式中，用 D 代替 D' ，而 Δh 相对于 $2R$ 来说很小，可略去不计，则

$$\Delta h = D^2/2R \quad (1-11)$$

把不同的 D 值代入上式，则高程误差列于表 1-2。

表 1-2 水平面代替水准面对高程的影响

D/m	10	50	100	200	500	1 000
$\Delta h/\text{mm}$	0.0	0.2	0.8	3.1	19.6	78.5

由表可见，水平面代替水准面对高程的影响，200m 时就有 3.1mm，所以地球曲率对高程的影响很大。在高程的测量中，即使距离很短也应顾及地球曲率的影响。

学习任务 3 | 测量工作的基本原则

■ 任务目标

1. 掌握测量工作的基本原则。
2. 遵纪守法，爱岗敬业，认真贯彻执行国家有关工程测量规范和法规，提高测量质量，保证测量结果的准确可靠。

知识链接

地球表面复杂多样的形态，可分为地物、地貌两大类。所谓地物是指人工或自然形成的构造物，如房屋、道路、湖泊、河流等。地貌是指地面高低起伏的形态，如山岭、谷地等。不论地物和地貌，它们都是由无数地面点集合而成的。测量的目的就是确定地面点的平面位置和高程，以便根据这些数据绘制成图。

1. 测量工作的组织原则

三句话：从整体到局部，先控制测量后碎部测量，从高级到低级。第一句话是对测量整体布局而言，对整个测区采用什么方案，局部地区又怎么做。第二句话是对测量工作的程序而言，先做控制测量，后做碎部测量。第三句话是对测量精度来说的，先做高精度测量，后做低精度测量，由高精度控制低精度。

(1) 控制测量——所谓控制测量是在测区中选择有控制意义的点，用较精确的方法测定其位置，这些点称为控制点，测量控制点的工作称为控制测量。例如图 1-10，选 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 等各点为控制点，用仪器测量控制点之间的距离以及各边之间的高差，设 A 点的高程为已知，就可求出其他控制点的高程。

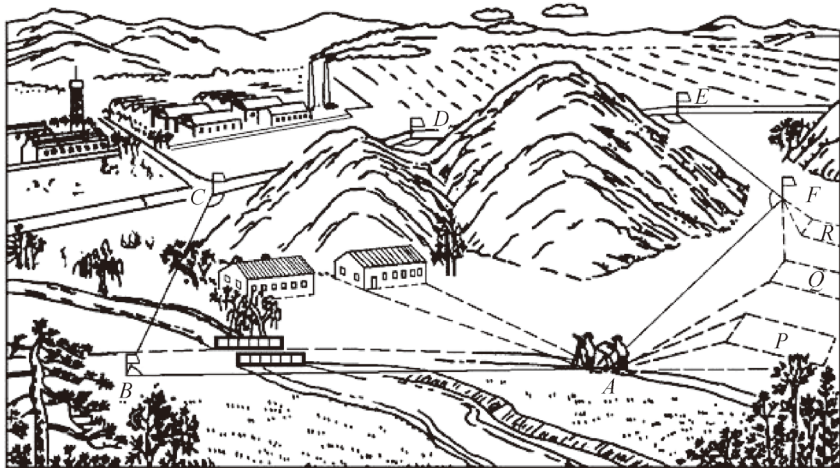


图 1-10 测量工作基本原则

(2) 碎部测量就是测量地物、地貌特征点的位置。例如图 1-11，测量房屋 P ，就必须测定房屋的特征点 1、2 等点，在 A 点测量水平夹角 β_1 与边长 S_1 即可决定 1 点，用极坐标把地面上的各点描绘到图纸上。

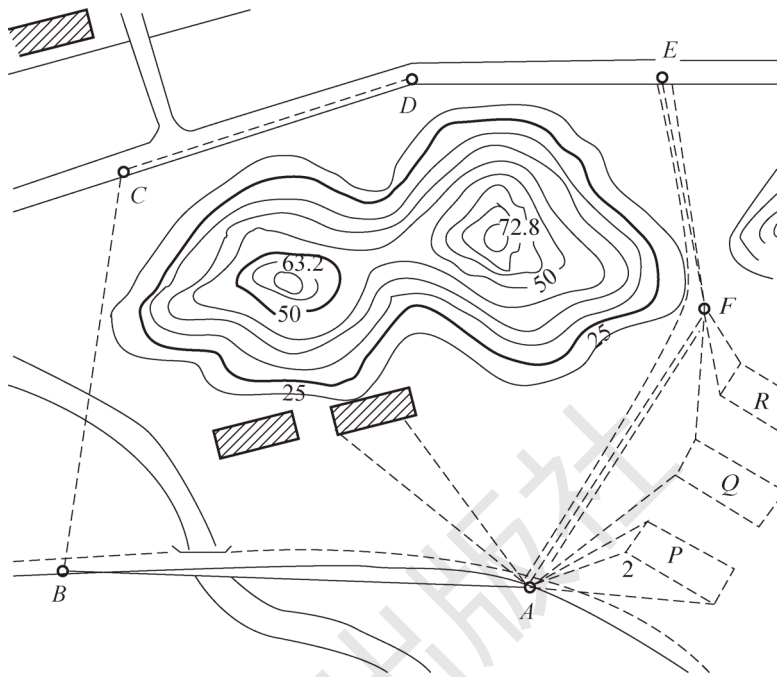


图 1-11 测量工作基本原则

2. 测量工作的操作原则

控制测量测定的控制点如有错误，以它为基础测量的碎部点也就有错误，碎部点有错，画的图就不正确，因此测量工作必须步步检核。前一步工作未检核绝不能进行下一步工作，这是测量操作必须严格遵循的重要原则。测量工作有大量的野外工作，因此“步步检核”这一原则尤为重要。

3. 测量工作的三要素

无论是控制测量、碎部测量，还是工程施工测设，测量工作的内容不外乎角度测量、距离测量和高程测量三项内容。确定地面点位主要是通过测量角度、距离及高差，计算点位的坐标。因此，我们称测角、测距和测高差是测量工作的三要素。从事测量工作就必须掌握这三项基本理论知识与技能，学会使用各种仪器进行测量；熟悉各种计算表格，掌握计算方法；学会绘制平面图与地形图。即“测、算、绘”是施工测量工作者的基本功。

学习任务 4 | 测量误差的基本知识

■ 任务目标

1. 熟悉测量误差的来源及精度的评定。
2. 差之毫厘，失之千里；建筑工程测量是保障建筑工程质量的关键，作为工程测量相关的工作人员，尤其应该具有高度的思想品德和职业道德。



测量误差的基本知识

知识链接

在测量工作中，无论使用的测量仪器多么精密、观测多么仔细，对同一个量进行多次观测的结果总存在着差异，这个差异称为误差。例如，对两点间的高差进行重复观测，测得的高差往往不相等而有差异；观测三角形的三个内角，其和往往不等于理论值 180° 。这些现象之所以产生，是由于观测结果中存在着测量误差。

一、测量误差产生的原因

测量工作都是观测者使用测量仪器和工具在一定的外界条件下进行的，因此测量误差产生的原因主要有以下三个方面：

1. 测量仪器、工具

由于仪器或工具制造得不够精密，校正也不可能十分完善，从而使观测结果产生误差。

2. 观测者

观测人员的生理、习性使观测者感觉器官的鉴别能力有限、观测习惯各异，所以不论如何仔细地工作，在安置仪器、照准目标及读数等方面均会产生误差。

3. 外界环境条件

测量过程中外界自然环境，如温度、湿度、风力、阳光照射、大气折光、磁场等因素会给观测结果带来影响，而且外界条件随时发生变化，由此对观测结果的影响也随之变化，这必然会使观测结果出现误差。

通常把仪器、观测者和外界环境这三个因素综合起来，总称为“观测条件”。观测条件相同的各次观测，称为等精度观测。观测条件之中，只要有一个条件不相同的各次观测，称为不等精度观测。

测量过程中，有时由于人为的疏忽或措施不周可能出现错误。例如，读数错误；记录时误听、误记；计算时弄错符号、点错小数点等，这些错误统称为粗差。误差与粗差有着本质的区别，粗差在观测结果中是不允许存在的，为了杜绝粗差，除了测量人员

加强工作责任感、认真细致地工作外，通常还要采取各种校核措施，防止产生观测错误，以便及时发现和剔除粗差。

由上述可知，观测结果不可避免地含有测量误差。测量误差越小，则测量成果的精度越高。因此，在测量工作中，必须对测量误差进行研究，针对不同性质的误差采取不同的措施，以提高观测成果的质量，满足各类工程建设的需要。

二、测量误差的分类

按测量误差对观测结果影响性质的不同，可把测量误差分为系统误差和偶然误差两大类。

1. 系统误差

在相同的观测条件下，对某量进行一系列观测，如果观测误差的数值大小和正负号按一定的规律变化或保持一个常数，这种误差称为系统误差。系统误差有下列特点：

- (1) 系统误差的大小（绝对值）为一常数或按一定规律变化。
- (2) 系统误差的符号（正、负）保持不变。
- (3) 系统误差具有累积性，即误差大小随单一观测值的倍数累积。

系统误差对测量结果的影响可以通过分析找出规律，计算出某项系统误差的大小，然后对观测结果加以改正；或者用一定的观测程序和观测方法来消除系统误差的影响，把系统误差的影响尽量从观测结果中消除。

2. 偶然误差

在相同观测条件下，对某量进行一系列观测，如误差出现的符号和大小均不一定，但具有一定的统计规律，这种误差称为偶然误差。偶然误差有下列特点：

- (1) 有界性。在一定的观测条件下，偶然误差的绝对值不会超过一定的界限；
- (2) 集中性。绝对值大的误差比绝对值小的误差出现的可能性小；
- (3) 对称性。绝对值相等的正误差和负误差出现的可能性相等；
- (4) 抵偿性。偶然误差的算术平均值随着观测次数的无限增加而趋向于零，数学期望等于零，即：

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0。$$

偶然误差的特性：(1) 说明误差出现的范围；(2) 说明误差绝对值大小的规律；(3) 说明误差符号出现的规律；(4) 说明偶然误差具有抵偿性。

三、衡量精度的标准

在测量工作中，为了评定测量成果的精度，以便确定其是否符合要求，需要有衡量精度的标准，主要有中误差、相对误差和极限误差。

1. 中误差

若对某量等精度进行了 n 次观测，按 (1-12) 式可计算出 n 个真误差 Δ_1 、 $\Delta_2 \cdots \Delta_n$ 。将各真误差的平方和的均值再开方作为评定该组每一观测值精度的标准，即为中

误差 m :

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (1-12)$$

式中: Δ ——某量的真误差, $[\Delta\Delta] = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 \cdots \Delta_n^2$;

n ——观测次数;

$[\]$ ——求和符号;

m ——观测值的中误差。

从上式中可以看出中误差 m 与真误差的关系, 中误差 m 不等于真误差, 它仅是一组真误差的代表值, 中误差 m 的大小反映了这组观测值精度的高低, 而且它能明显地反映出测量结果中较大误差的影响, 因此一般都采用中误差作为评定观测质量的标准。即 σ 值(中误差 m) 绝对值越小, 观测精度越高, 反之越低。

在实际工作中, 未知量的真值往往是不知道的, 所以真误差也无法求得, 因而不能直接利用(1-12)式求得中误差, 往往以下式来计算中误差。

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (1-13)$$

式中: $[vv]$ ——观测值改正数平方和;

n ——观测次数。

2. 相对误差

对于衡量精度来说, 在很多情况下仅仅知道中误差还不能完全反映观测出精度的优劣。例如测量了两段距离, 一段为 100m, 另一段为 200m, 观测值的中误差均为 $\pm 20\text{mm}$ 。显然不能认为两段距离的精度相同, 因为距离的测量精度与距离本身长度的大小有关。为了客观地反映观测精度, 必须引入一个评定精度的标准, 即相对误差。相对误差 K 就是观测值的中误差绝对值与观测值之比, 通常以分子为 1 的分式表示。相对误差能够确切描述观测量的精确度。相对误差用下式求得:

$$\text{相对中误差 } K = \frac{|m|}{D} = \frac{1}{\frac{D}{|m|}} \quad (1-14)$$

$$\text{上例中 } K_1 = \frac{|m_1|}{D_1} = \frac{0.02}{100} = \frac{1}{5\,000}$$

$$K_2 = \frac{|m_2|}{D_2} = \frac{0.02}{200} = \frac{1}{10\,000} \quad K_2 < K_1$$

由此可见, 用相对误差来衡量就可以直观地看出后者比前者精度高。

在距离测量中用往返测量结果较差率来进行检验。

往返测量结果较差率为:

$$K = \frac{|D_{\text{往}} - D_{\text{返}}|}{|D_{\text{平均}}|} = 1/XXX \quad (1-15)$$

式中： K ——相对误差。

显然相对误差越小，观测结果的精度越高。

还应该指出的是，相对误差不能用来评定角度测量的精度，因为测角误差的大小与角度的大小无关。

3. 极限误差（容许误差）

由偶然误差的第一个特性可知，在一定的观测条件下偶然误差绝对值不会超过一定的限度，这个限度称为极限误差。由前述可知，观测值的中误差只是衡量观测精度的一种指标，它不能代表某一个观测值真误差的大小，但是它和观测值的真误差之间存在着一定的统计关系。根据误差理论和实践的统计表明，在等精度观测的一组误差中，绝对值大于一倍中误差的偶然误差，其出现的机会为 32%；大于两倍中误差的偶然误差，其出现的机会只有 5%；大于三倍中误差的偶然误差，其出现的机会仅有 0.3%，即大约在 300 次观测中，才可能出现一次大于三倍中误差的偶然误差。因此，在观测次数不多的情况下，可认为大于三倍中误差的偶然误差实际上是不可能出现的。故通常以三倍中误差作为中误差为极限误差，即： $\Delta_{\text{限}} \approx 3m$

在实际工作中，测量规范要求观测值中不容许存在较大的误差，故常以两倍或三倍的中误差作为最大允许值。在测量中以容许误差检核观测质量，并根据观测误差是否超出容许误差而决定观测成果的取舍。常以两倍误差作为极限误差的允许值，即：

$$\Delta_{\text{容}} \approx 2m \quad (1-16)$$

单元小结

1. 定义

测量学是一门研究地球表面的形状和大小，以及确定地球表面（包含空中、地下和海底）点位的科学。

2. 建筑工程测量的主要任务

表 1-3

阶段	任务	内容
勘测	测图	地形图
设计	用图	地形图的综合应用
施工	放样	测设定位、放线和变形观测

3. 基准面

表 1-4

名称	定义	性质	用途
水准面	自由平静的水面	处处与重力方向线正交	作假定高程的起算面
大地水准面	自由平静的平均海水面	处处与重力方向线正交	能代表地球形状和大小，作高程基准面
高程基准面	地面点高程的起算面	随选择的面不同而异	作高程计算的零点
参考椭球面	椭圆绕其短轴旋转的球面	处处与法线正交	充当地球的数学模型，作测量数据处理基准面

4. 坐标轴系

表 1-5

名称	定义	方式	用途
地理坐标	用经纬度表示地面点位的球面坐标	首子午面向东、向西 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 为东经、西经；由赤道面向北、向南 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 为北纬、南纬	适用于全球性的球面坐标系；确定点的绝对位置
平面直角坐标	用平面上的长度值表示地面点位的直角坐标	以南北方向纵轴为 X 轴，自坐标原点向北为正，向南为负；以东西方向横轴为 Y 轴，自坐标原点向东为正，向西为负。象限按顺时针编号	适用于小范围的平面直角坐标系；确定点的相对位置

5. 高程

绝对高程：地面上任意一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。

相对高程：地面点到假定水准面的铅垂距离，称为该点的相对高程。

建筑标高：建筑物各部位的高度以 ± 0.00 作为高程起算面的相对高程，称为建筑标高。

高差：地面两点之间的高程之差，称为高差。

6. 误差

误差是指在测量工作中，无论使用的测量仪器多么精密、观测多么仔细，对同一个量进行多次观测的结果总存在着差异，这个差异称为误差，分为系统误差和偶然误差。产生误差的原因有仪器、工具的影响；人的影响；外界环境的影响。

7. 衡量精度标准

表 1-6

衡量精度标准	定义
相对误差	相对误差 K 就是观测值的中误差绝对值与观测值之比，通常以分子为 1 的分式表示
中误差	若对某量等精度进行了 n 次观测，可计算出 n 个真误差，将各真误差的平方和的均值再开方即为中误差 m
容许误差	容许误差亦称限差，是《测量规范》规定的误差最大允许值

职业技能知识点考核

1. 何谓水准面？何谓大地水准面？它在测量工作中的作用是什么？
2. 什么叫绝对高程、相对高程及高差？
3. 测量上的平面直角坐标系和数学上的平面直角坐标系有什么区别？
4. 已知某点位于高斯投影 6° 带第 20 号带，若该点在该投影带高斯平面直角坐标系中的横坐标 $y = -306\,579.210\text{m}$ ，写出该点不包含负值且含有带号的横坐标 y 及该带的中央子午线经度 L_0 。
5. 测定与测设有何区别？
6. 某点的经度为 $118^\circ 45'$ ，试计算它所在 6° 带及 3° 带的带号，以及中央子午线的经度是多少？
7. 测量工作的原则是什么？
8. 确定地面点位的三项基本测量工作是什么？
9. 偶然误差和系统误差有什么不同？偶然误差具有哪些特性？