



普通高等教育“十二五”规划教材

现代测量技术

主 编 陈 琳
副主编 娄洪富
主 审 靳祥升 杨中华



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

现代测量技术

主 编 陈 琳

副主编 姜洪富

主 审 靳祥升 杨中华



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是作者在总结多年来教学和工程应用经验的基础上编写而成的。全书共分15章,内容包括导论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识、小区域控制测量、地形图的测绘、地形图的应用、施工测量的基本方法、水利工程测量、建筑施工测量、道路工程测量、数字测图概述、GPS测量原理与应用、地理信息系统概述。

本书可作为各院校水利、水文水资源、建筑、国土资源等相关专业的教材,也可供相关专业的科研、生产、教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代测量技术 / 陈琳主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2011. 1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5084-8076-3

I. ①现… II. ①陈… III. ①测量学—高等学校—教材 IV. ①P2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第007048号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 现代测量技术
作 者	主编 陈琳 副主编 娄洪富 主审 靳祥升 杨中华
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 19.75印张 480千字
版 次	2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	33.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

测量学最原始的定义是“测量”和“绘图”。自 20 世纪 50 年代开始，由于电磁波测距、声呐、卫星大地测量、高速电子计算机和甚长基线干涉测量等新技术的相继出现，特别是进入到 21 世纪以来，以“3S”技术为代表的现代高新技术的出现和逐步应用普及，使得传统的测量学发生了质的变革：一方面，从获取和提供的测量信息看，测量学已经发展到了多元空间地学信息阶段，从传统测量学模式（测量、计算、绘图）发展到了地球空间数据采集、处理、分析、存储、显示、应用的全信息化流程模式；另一方面，测量学与其他学科之间的界限产生了交叉化、模糊化、渗透化，所服务的对象、目标也发生了深刻的变化。传统意义上的测量学正逐步被更能反映其实质和内涵的“Geomatics”所取代。

面对测量学如此丰富的内涵，编者深感有必要对它进行全面而系统的论述。为了保持学科的系统性和完整性，本书立足于测绘新概念、新技术、新设备，删繁就简、去旧从新，介绍了测量学的基本理论、技术和方法以及全站仪、电子水准仪、数字化测图、GPS、地理信息系统等新技术，将测量学各分支学科汇合为一个整体，各科分别专论而又互相联系，成为一部全面而系统的现代测量技术。

本书共分 15 章，第 1 章、第 2 章、第 3 章由陈琳执笔，第 4 章、第 5 章、第 6 章由王德芳执笔，第 7 章、第 8 章、第 11 章由周宜富执笔，第 9 章、第 13 章由李向阳执笔，第 10 章、第 12 章由娄洪富执笔，第 14 章、第 15 章由赵莹莉执笔。本书由陈琳统稿，杨中华教授、靳祥升教授审阅了全书。

在本书编写过程中，王宝山、周国庆教授在内容的取舍和知识体系的编排方面提供了许多宝贵意见。王琴、彭奇娟、梁丽绘制了书中的部分插图，在此一并致谢！

本书可作为各院校水利、水文水资源、建筑、国土资源等相关专业的教材，也可作为相关专业工程技术人员参考用书。

本书涉及的范围较广，编者学识所限，差错在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2010 年 8 月

目录

前言

第 1 章 导论	1
1.1 测量学的任务和作用	1
1.2 地面点位置的表示方法	2
1.3 用水平面代替水准面的限度	5
1.4 测量工作的基本原则	7
1.5 测量学的发展概况	9
第 2 章 水准测量	11
2.1 水准测量原理.....	11
2.2 水准仪和水准尺.....	12
2.3 水准仪的技术操作.....	16
2.4 水准测量的方法.....	18
2.5 水准仪的检验与校正.....	22
2.6 水准测量误差来源及其影响.....	26
2.7 S ₃ 型自动安平水准仪简介	28
2.8 电子水准仪简介.....	29
第 3 章 角度测量	32
3.1 角度测量的基本概念.....	32
3.2 DJ ₆ 光学经纬仪	33
3.3 经纬仪的使用.....	35
3.4 水平角观测.....	38
3.5 竖直角测量.....	40
3.6 经纬仪的检验与校正.....	44
3.7 水平角观测误差来源及削弱措施.....	49
3.8 电子经纬仪测角系统简介.....	50
第 4 章 距离测量与直线定向	54
4.1 距离丈量.....	54
4.2 视距测量.....	60
4.3 电磁波测距.....	64

4.4	全站型电子速测仪	66
4.5	直线定向	68
4.6	坐标正反算	71
第5章	测量误差的基本知识	73
5.1	观测误差与观测类型的概念	73
5.2	观测误差的分类	75
5.3	偶然误差的特性	77
5.4	评定精度的标准	79
5.5	误差传播定律	82
5.6	观测值及算术平均值的中误差	89
5.7	权与定权的常用方法	98
5.8	观测值函数的权	103
第6章	小区域控制测量	108
6.1	控制测量概述	108
6.2	图根导线测量	111
6.3	交会法测量	118
6.4	四等、五等水准测量	120
6.5	三角高程测量	124
第7章	地形图的测绘	128
7.1	地形图的基本知识	128
7.2	地物的表示方法	130
7.3	地貌的表示方法	132
7.4	测图前的准备工作	136
7.5	经纬仪测绘法	138
7.6	地形图的拼接、整饰、检查和验收	141
7.7	大比例尺数字测图	143
第8章	地形图的应用	145
8.1	高斯平面直角坐标	145
8.2	地形图的分幅与编号	146
8.3	地形图的阅读	150
8.4	地形图应用的基本内容	150
8.5	地形图在工程规划中的应用	153
8.6	面积量算	157
第9章	施工测量的基本方法	165
9.1	概述	165
9.2	施工控制网的布设	166
9.3	已知长度直线的放样	168

9.4	水平角放样	168
9.5	极坐标法与直角坐标法放样	170
9.6	前方交会法放样	171
9.7	全站仪坐标放样法	172
9.8	正倒镜投点法	173
9.9	高程的放样	174
9.10	已知坡度直线的测设	175
第 10 章	水利工程测量	176
10.1	渠道及堤线中线测量	176
10.2	圆曲线测设	179
10.3	纵横断面测绘	183
10.4	土方计算	188
10.5	渠道断面的放样	190
10.6	管道测量	191
10.7	土坝的施工放样	195
10.8	水闸的施工放样	200
10.9	隧洞施工测量	203
第 11 章	建筑施工测量	211
11.1	施工控制测量	211
11.2	民用建筑施工测量	214
11.3	工业厂房施工测量	220
11.4	烟囱、水塔施工测量	223
11.5	竣工总平面图的编绘	225
第 12 章	道路工程测量	227
12.1	中线复测	227
12.2	竖曲线的测设	233
12.3	路基、路面施工放样	236
12.4	桥、涵施工测量	237
第 13 章	数字测图概述	243
13.1	数字测图的概念	243
13.2	数字测图系统	245
13.3	数字测图的优点	246
13.4	数字测图的基本过程	248
13.5	数字测图的作业模式	252
13.6	电子全站仪概述	254
13.7	南方 CASS 软件的使用	258
13.8	CASS 在工程中的应用	263

第 14 章 GPS 测量原理与应用	266
14.1 GPS 的基本概念	266
14.2 GPS 信号与误差	267
14.3 GPS 坐标系统	269
14.4 GPS 卫星定位基本原理	270
14.5 GPS 静态定位	273
14.6 GPS 动态定位	277
14.7 GPS 的应用领域	279
第 15 章 地理信息系统概述	283
15.1 地理信息系统的基本概念	283
15.2 地理信息系统的组成	286
15.3 地理系统的功能	289
15.4 地理信息系统与其他学科的关系	290
15.5 地理信息系统的发展历史	291
15.6 地理信息系统的应用与展望	294
15.7 常用 GIS 软件介绍	298
参考文献	305

第 1 章 导 论

1.1 测量学的任务和作用

测量学是研究如何量测地球或地球局部区域的形状、大小和地表面各种物体的几何形状及其空间位置，并把量测结果用数据或图形表示出来的科学。

随着社会生产和科学技术的不断发展，根据研究对象和工作任务的不同，测量学可划分为大地测量学、地形测量学、摄影测量与遥感学、工程测量学、地图制图学、海洋测绘和测绘仪器等几门主要分支学科。

(1) 大地测量学是研究在地球表面广大区域内建立国家大地控制网，测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术和方法的学科。大地测量为地形测量及各种测绘工作提供平面和高程控制基础，直接为国民经济各部门和国防建设服务，为地球科学、空间科学及地震预报等相关科学提供资料。

(2) 地形测量学是研究测绘地形图的理论、技术与方法的学科。地形测量就是将地球表面的地物、地貌及其他信息测绘成按一定比例尺和图式符号表示的地形图，以满足经济建设、国防建设、科学研究等各个方面的需要。

(3) 摄影测量与遥感学是对地球表面与物体的摄影像片或辐射能图像信息进行处理、量测、判释和研究，以测得地面与物体的形态、大小和位置的模拟形式的图形或数学形式的信息成果，以及研究关于环境可靠性信息等方面的理论、方法和技术的学科。摄影测量与遥感技术在大比例尺地形测量、各种工程测量、无接触测量及特种图像信息量测等方面得到了广泛的应用。

(4) 工程测量学是研究矿山、道路、水利、军事、工业与民用建筑等各种工程建设在勘察设计、施工安装、营运管理等阶段中各项测量工作的理论、技术与方法的学科。工程测量的主要任务是建立工程控制网，提供规划设计所必需的地形图、断面图和其他数据，进行建筑物、构筑物的施工放样、竣工测量、沉陷和变形观测等，并进行长期的安全监测工作。

(5) 地图制图学是以地图信息传输为中心，探讨地图的理论实质、制作技术和使用方法的综合性学科。地图制图学最终为国民经济各部门、教育、科研和国防建设提供制作精美的各种比例尺的普通地图、专用地图、三维地图模型及地球仪等。

(6) 海洋测绘是研究测绘海岸、水面及海底自然与人工形态及其变化状况的理论、方法和技术的综合性学科。海洋测绘是综合性很强的技术学科，广泛应用现代测绘技术、空间定位技术、水下定位与海底探测及自动扫描技术等。

(7) 测绘仪器学是以光学、精密机械、电子和计算机等技术和工艺为手段，研究解决各种测绘仪器的设计、制造、使用和维护等理论与技术的学科。

以上各门学科，既自成系统，又是密切联系、互相配合的。本书主要讲述地形测量学、工程测量学等部分内容，着重介绍水利、道路、工业与民用建筑工程中常用测量仪器的构造与使用、大比例尺地形图的测绘方法和应用以及建筑物施工测量方法等方面的

内容。

测量学在国民经济建设、科学研究和现代化国防建设中都得到广泛的应用。各种工程建设的勘测规划设计、施工和运营管理等阶段都离不开测量工作。比如在河道上修建水库时，首先应测绘坝址以上该流域的地形图，作为水文计算、地质勘探、经济调查等规划设计的依据；初步设计后，又要为大坝、涵闸、厂房等水工建筑物的设计测绘较详细的大比例尺地形图；在施工过程中，又要通过施工放样指导开挖、砌筑和设备安装；工程竣工时，检查工程质量是否符合设计要求，还要进行竣工测量；在工程的使用管理过程中，为了监视运行情况，确保工程安全，应定期对大坝进行变形观测。由此可见，测量工作贯穿于工程建设的始终。作为一名工程技术人员，必须掌握必要的测量知识和技能，才能担负起工程勘测、规划设计、施工及管理各项任务。

1.2 地面点位置的表示方法

测量学的任务之一是研究如何确定地面点的空间位置，而所有的测量工作都是在地球表面进行的，因此，首先要了解地球的形状和大小的基本概念。

1.2.1 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，但地球表面形状十分复杂。通过长期的测绘工作和科学调查了解到，地球表面上海洋面积约占71%，陆地面积约占29%，世界第一高峰珠穆朗玛峰高达8844.43m，而在太平洋西部的马里亚纳海沟的斐查兹海渊深达11034m。尽管有这样大的高低起伏，但相对地球庞大的体积来说仍可忽略不计。因此，测量中把地球总体形状看做由静止的海水面向陆地延伸所包围的球体。

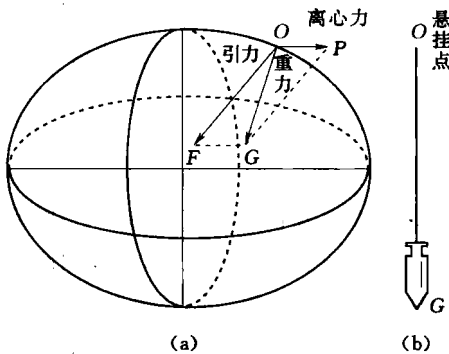


图 1-1 铅垂线方向

地球上的任一点，都同时受到两个作用力，其一是地球自转产生的离心力；其二是地心引力。这两种力的合力称为重力，重力的作用线又称为铅垂线 [图 1-1 (a)]。

铅垂线是测量工作的基准线，用细绳悬挂一个垂球 G，其静止时所指示的方向即为悬挂点 O 的重力方向，也称为铅垂线方向 [图 1-1 (b)]。

处于自由静止状态的水面称为水准面。由物理学知道，这个面是一个重力等位面，水准面上各点处处与点的重力方向（铅垂线方向）垂直。在地球表面上、下重力作用的范围内，通过任何

高度的点都有一个水准面，因而水准面有无数个。

在测量工作中，把一个假想的、与静止的海水面重合并向陆地延伸且包围整个地球的特定重力等位面称为大地水准面。通常用平均海水面代替静止的海水面。大地水准面所包围的形体称为大地体。

大地水准面和铅垂线是测量外业所依据的基准面和基准线。

由于地球引力的大小与地球内部的质量有关，而地球内部的质量分布又不均匀，致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化，因而大地水准面实际上是一个略有起伏的不

规则曲面，无法用数学公式精确表达（图 1-2）。

长期测量实践研究表明，地球形状极近似于一个两极稍扁的旋转椭球，即一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体。而其旋转椭球面是可以较简单的数学公式准确地表达出来。在测量工作中就是用这样一个规则的曲面代替大地水准面作为测量计算的基准面（图 1-3）。

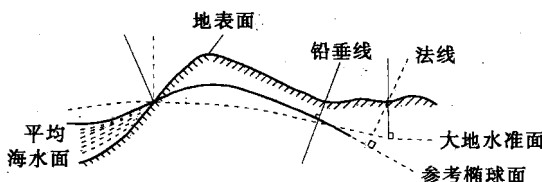


图 1-2 大地水准面

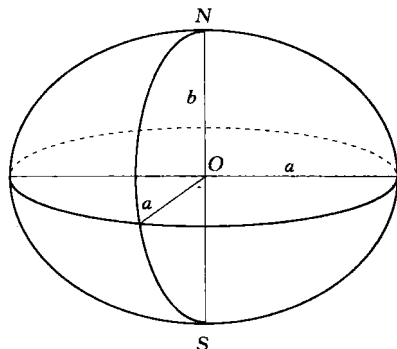


图 1-3 旋转椭球体

世界各国通常均采用旋转椭球代表地球的形状，并称其为“地球椭球”。测量中把与大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球；把与某个区域如一个国家大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球，其椭球面称为参考椭球面。由此可见，参考椭球有许多个，而总地球椭球只有一个。

椭球的形状和大小是由其基本元素决定的。椭球体的基本元素是：长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 $\alpha = (a-b)/a$ 。

我国 1954 年北京坐标系采用的是克拉索夫斯基椭球 ($a=6378245\text{m}$, $\alpha=1/298.3$)，1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球，该椭球的基本元素是： $a=6378140\text{m}$, $b=6356755.3\text{m}$, $\alpha=1/298.257$ 。

根据一定的条件，确定参考椭球面与大地水准面的相对位置所做的测量工作，称为参考椭球体的定位。在一个国家适当地点选一点 P ，设想大地水准面与参考椭球面相切，切点 P' 位于 P 点的铅垂线方向上（图 1-4），这样椭球面上 P' 点的法线与该点对大地水准面的铅垂线重合，并使椭球的短轴与地球的自转轴平行，且椭球与这个国家范围内的大地水准面差距尽量地小，从而确定了参考椭球面与大地水准面的相对位置关系，这就是椭球的定位工作。

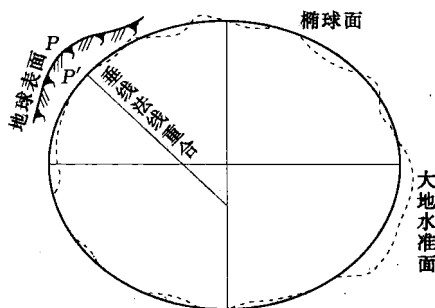


图 1-4 参考椭球体的定位

这里， P 点称为大地原点。我国大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇，在大地原点上进行了精密天文测量和精密水准测量，获得了大地原点的平面起算数据，以此建立的坐标系称为 1980 年国家大地坐标系。

由于参考椭球体的扁率很小，在普通测量中可把地球看做圆球体，其平均半径为 $R = \frac{1}{3}(a+a+b) \approx 6371\text{km}$ 。

1.2.2 地面点位置的表示方法

1.2.2.1 地面点的坐标

1. 大地坐标

用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在参考椭球面上投影位置的坐标，称为大地坐标。

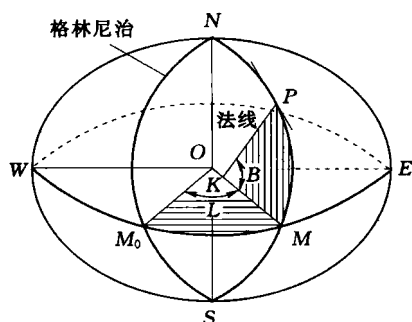


图 1-5 大地坐标

如图 1-5 所示， O 为参考椭球的球心， NS 为椭球的旋转轴，通过该轴的平面称为子午面（如图中的 $NPMS$ 面）。子午面与椭球面的交线称为子午线，又称为经线，其中通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面和子午线分别称为起始子午面和起始子午线。通过球心 O 且垂直于 NS 轴的平面称为赤道面（如图中的 WM_0ME ），赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。通过椭球面上任一点 P 且与过 P 点切平面垂直的直线 PK ，称为 P 点的法线。地面上任一点都可以向参考椭球作一条法线。地面点在参考

椭球面上的投影，即通过该点的法线与参考椭球面的交点。

大地经度 L ，即通过参考椭球面上某点的子午面与起始子午面的夹角。由起始子午面起，向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经；向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。同一子午线上各点的大地经度相同。

大地纬度 B ，即参考椭球面上某点的法线与赤道面的夹角。从赤道面起，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬；向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。纬度相同的点的连线称为纬线，它平行于赤道。

地面点的大地经度和大地纬度可以通过大地测量的方法确定。

2. 高斯平面直角坐标

大地坐标的优点是对于整个地球有一个统一的坐标系统，用它来表示地面点的位置形象直观。但它的观测和计算都比较复杂，而且实用上更多的则是需要把它投影到某个平面上来。

我国大面积的地形图测绘，采用高斯平面直角坐标系。这种坐标系由高斯创立，经克吕格改进而得名。它是采用分带（经差 6° 或 3° 为一带）投影的方法进行投影，将每一投影带经投影展开成平面后，以中央子午线的投影为 X 轴，赤道投影为 Y 轴而建立的平面直角坐标系。地面点在该坐标系内的坐标称为高斯平面直角坐标。

有关高斯平面直角坐标系的问题将在后文中讨论。

3. 平面直角坐标

对于小范围的测区，以水平面作为投影面，地面点在水平面上的投影位置用平面直角坐标表示。

如图 1-6 所示，在水平面上选定一点 O 作为

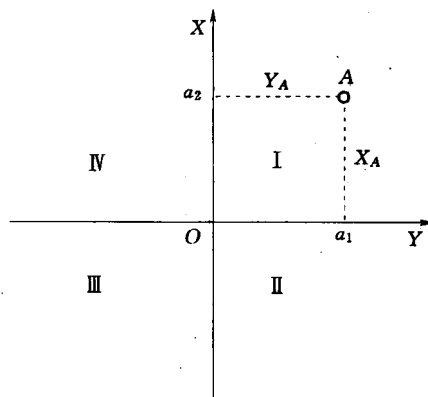


图 1-6 平面直角坐标

坐标原点，建立平面直角坐标系。纵轴为 X 轴，与南北方向一致，向北为正，向南为负；横轴为 Y 轴，与东西方向一致，向东为正，向西为负。将地面点 A 沿着铅垂线方向投影到该水平面上，则平面直角坐标 X_A 、 Y_A 就表示了 A 点在该水平面上的投影位置。如果坐标系的原点是任意假设的，则称为独立的平面直角坐标系。为了不使坐标出现负值，对于独立测区，往往把坐标原点选在测区西南角以外适当位置。

地面点的平面直角坐标，可以通过观测有关的角度和距离，通过计算的方法确定。

应当指出，测量上采用的平面直角坐标系与数学中的平面直角坐标系从形式上看是不同的。这是由于测量上所用的方向是从北方向（纵轴方向）起按顺时针方向以角度计值的，同时它的象限划分也是按顺时针方向编号的，因此它与数学上的平面直角坐标系（角值从横轴正方向起按逆时针方向计值，象限按逆时针方向编号）没有本质区别，所以数学上的三角函数计算公式可不加任何改变地直接应用于测量的计算中。

1.2.2.2 地面点的高程

1. 绝对高程

地面点沿铅垂线方向至大地水准面的距离称为绝对高程，亦称为海拔。在图 1-7 中，地面点 A 和 B 的绝对高程分别为 H_A 和 H_B 。

我国规定以黄海平均海面作为大地水准面。黄海平均海面的位置，是青岛验潮站对潮汐观测井的水位进行长期观测确定的。由于平均海面不便于随时联测使用，故在青岛观象山建立了中华人民共和国水准原点，作为全国推算高程的依据。1956 年，青岛验潮站根据连续 7 年（1950~1956 年）的潮汐水位观测资料，第一次确定了黄海平均海面的位置，测得水准原点的高程为 72.289m；按这个原点高程为基准去推算全国的高程，称为 1956 年黄海高程系。由于该高程系存在验潮时间过短、准确性较差的问题，后来青岛验潮站又根据连续 28 年（1952~1979 年）的潮汐水位观测资料，进一步确定了黄海平均海面的精确位置，再次测得水准原点的高程为 72.2604m；1985 年决定启用这一新的原点高程作为全国推算高程的基准，并命名为 1985 国家高程基准。

2. 相对高程

地面点沿铅垂线方向至任意假定水准面的距离称为该点的相对高程，亦称为假定高程。在图 1-7 中，地面点 A 和 B 的相对高程分别为 H'_A 和 H'_B 。两点高程之差称为高差，以符号 h 表示。图 1-7 中， A 、 B 两点的高差 $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。测量工作中，一般采用绝对高程，

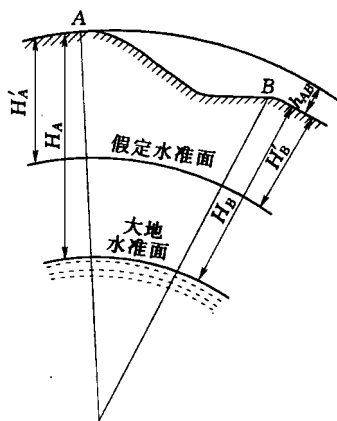


图 1-7 绝对高程与相对高程

只有在偏僻地区，没有已知的绝对高程点可以引测时，才采用相对高程。

确定地面点的位置必须进行三项基本测量工作，即角度测量、距离测量和高程测量。在后面的有关章节中，将详细介绍进行这三项工作的基本方法。

1.3 用水平面代替水准面的限度

在普通测量中，测区小或工程对测量精度要求较低时，为简化一些复杂的投影计算，

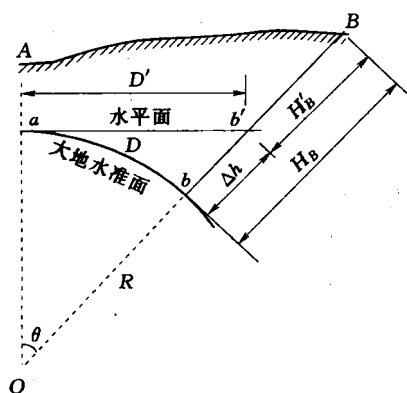


图 1-8 水平面与水准面的关系

可将椭球面视做球面，甚至可视为平面，即用平面代替大地水准面。直接把地面点沿铅垂线投影到平面上，以确定其位置。不过以平面代替水准面有一定限度，只要投影后产生的误差不超过测量和制图要求的限差即可采用。下面讨论水平面代替水准面对距离、水平角和高程的影响。

1.3.1 用水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-8 所示，设地球是半径为 R 的圆球。地面上 A 、 B 两点投影到大地水准面上的距离为弧长 D ，投影到水平面上的距离为 D' ，显然两者之差即为用水平面代替水准面所产生的距离误差，设其为 ΔD ，则

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

式中： θ 为弧长 D 所对的圆心角。

将 $\tan \theta$ 用级数展开，并取级数前两项，得

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

因为 $\theta = D/R$ ，故

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

以 $R = 6371 \text{ km}$ 和不同的 D 值代入上式，算得相应的 ΔD 和 $\Delta D/D$ (相对误差) 值列于表 1-1。由表中可以看出，距离为 10 km 时，产生的相对误差为 $1/1200000$ ，小于目前最精密测距的允许误差 $1/1000000$ 。因此，可以认为：在半径为 10 km 的区域，地球曲率对水平距离的影响可以忽略不计。即可以把该部分水准面当做水平面看待，在精度要求较低的测量工作中，其半径可扩大到 25 km 。

表 1-1 地球曲率对水平距离的影响

距离 D (km)	距离误差 ΔD (cm)	距离相对误差 $\Delta D/D$
1	0.00	—
5	0.10	1 : 5000000
10	0.82	1 : 1217700
15	2.77	1 : 541516

1.3.2 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上相应三角形内角之和多出球面角超，如图 1-9 所示。其值可用多边形面积求得，即

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

式中： ϵ 为球面角超，(″)； P 为球面多边形面积； ρ 为 $206265''$ ； R 为地球半径。

以球面上不同面积代入式 (1-2)，求出球

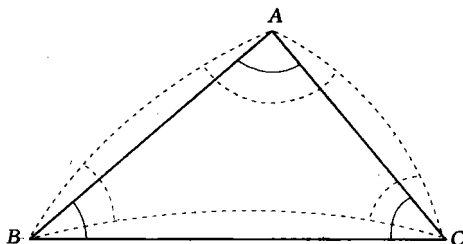


图 1-9 球面角超

面角超，列入表 1-2。

表 1-2 水平面代替水准面对角度的影响

球面面积 (km ²)	ϵ (")	球面面积 (km ²)	ϵ (")
10	0.05	100	0.51
50	0.25	500	2.54

计算结果表明，当测区范围在 100km² 时，用平面代替水准面时，对角度影响仅为 0.51"，在普通测量工作中可以忽略不计。

1.3.3 用水平面代替水准面对高程的影响

在图 1-8 中，从大地水准面起算，地面点 B 的高程为 H_B ，从水平面起算，B 点的高程为 H'_B ，显然其差值 Δh 即为用水平面代替水准面对高程所产生的影响。由图中可得

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

因 D' 与 D 相差甚小，以 D 代替 D' ，由上式解得

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R + \Delta h}$$

在分母中， Δh 与 $2R$ 比较可以忽略不计，于是上式可写成

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

以 $R=6371\text{km}$ 和不同的 D 值代入上式，算得相应的 Δh 值列于表 1-3。

表 1-3 水平面代替水准面对高程的影响

D (m)	10	50	100	200	500	1000
Δh (mm)	0.0	0.2	0.8	3.1	19.6	78.5

从表 1-3 中可以看出，用水平面代替水准面所产生的高程误差，随着距离的平方而增加，很快就达到了不被允许的程度。所以，在高程测量中，即使距离很短也应顾及地球曲率的影响。

1.4 测量工作的基本原则

测绘科学研究的内容很多，其应用领域很广泛。总的来说，凡是需要确定物体（静态或动态）三维空间坐标的工作都需要依靠测绘技术。对于面向土木工程的测绘工作，归纳起来有两大类，即地形图测绘和土木工程施工测量（简称测设）。为了使测量工作有条不紊，保证测量成果的质量，实测时必须遵循一定的原则和规程、规范。

地形测图，通常是在选定的点位上安置仪器，测绘地物、地貌。但是只在一个选定的点位上施测整个测区所有的地物、地貌，是十分困难的甚至是不可能的。如图 1-10 所示，在 A 点只能测绘 A 点附近的房屋、道路、地面起伏等地物地貌，对于山的另一面或较远的地方就观测不到，因此必须连续地逐个设站观测。即测量工作必须按照一定的原则进行。

测量工作应遵循两项原则：一是“由整体到局部，先控制后碎部”；二是“步步检核”。

第一项原则是对总体工作而言。任何测绘工作都应先总体布置，然后再分阶段、分

区、分期实施。在实施过程中要先布设平面和高程控制网，确定控制点平面坐标和高程，建立全国、全测区的统一坐标系。在此基础上再进行细部测绘和具体建（构）筑物的施工测量。只有这样，才能保证全国各单位各部门的地形图具有统一的坐标系统和高程系统，减少控制测量误差的积累，保证成果质量。

第二项原则是对具体工作而言。对测绘工作的每一个过程、每一项成果都必须检核。在保证前期工作无误条件下，方可进行后续工作，否则会造成后续工作的困难，甚至全部返工。只有这样，才能保证测绘成果的可靠性。

在图 1-10 中，先在整个测区范围内均匀选定若干数量的点子，如图中的 A、B、C、D、E、F 诸点，以控制整个测区，这些点子称为控制点。选定的控制点按照一定方式联结成网形，称为控制网，图中为闭合多边形。以较精密的测量方法测定网中各个控制点的平面位置和高程，这项工作称为控制测量。然后分别以这些控制点为依据，测定点位附近地物、地貌的特征点（碎部点），并勾绘成图，这项工作称为碎部测量。

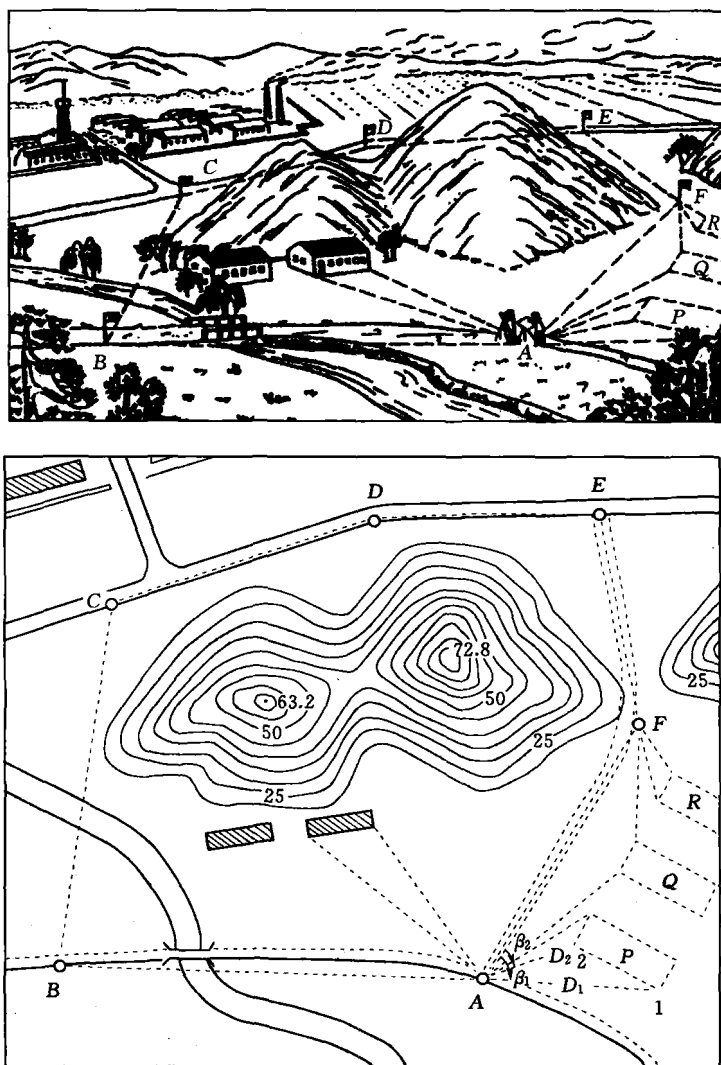


图 1-10 测图原则示意图 (单位: m)

按照“由整体到局部”、“先控制后碎部”的原则实施测图，由于建立了统一的控制系统，使整个测区各个局部都具有相同的误差分布或精度，尤其对于大面积的分幅测图，不但为各图幅的同步作业提供了便利，同时也有效地保证了各个相邻图幅的拼接和使用。

“由整体到局部”、“先控制后碎部”的原则同样适用于施工测量。为了将图上设计的建筑物放样到实地去，应当先建立施工测量控制网，然后根据控制点和放样数据来测设建筑物的细部点。

1.5 测量学的发展概况

测绘科学在我国具有悠久的历史。公元前 21 世纪，夏禹治水时，就发明和应用了“准、绳、规、矩”等测量工具和方法。春秋战国时期发明的指南针，至今仍在广泛的使用。东汉张衡创造的“天球仪”，对天象做了形象和正确的表达，在天文测量史上留下了光辉的一页。公元 724 年唐代南宫说在现今河南丈量了 300km 的子午线弧长，是世界上第一次的子午线弧长测量。宋代的沈括曾使用罗盘、水平尺进行了地形测量。元代郭守敬拟定了全国纬度测量计划并测定了 27 个点的纬度。清代康熙年间进行了全国测绘工作，出现了我国第一部实测的省级图集和国家图集。

在世界上，17 世纪初望远镜的发明和应用，对测量技术的发展起了很大作用。1683 年法国进行了弧度测量，证明地球是两极略扁的椭球体。1794 年德国高斯创立的最小二乘法理论，对测量理论做出了宝贵贡献，至今仍是处理测量成果的理论基础。20 世纪初飞机的发明和使用，使航空摄影测量技术得到了迅速发展，大大减轻了野外测图的劳动强度。

新中国成立后，我国的测绘事业进入到一个蓬勃发展的新阶段。20 世纪 50 年代以来取得了不少成就。在全国范围内测定了统一的大地控制网；完成了覆盖全国大陆具有统一坐标系的中小比例尺地形图；进行了大量工程建设的测量工作，并制造了各种类型的经纬仪、水准仪以及许多精密的测绘仪器。

新的科学技术的发展，大大推动了测绘事业的发展。20 世纪中叶，新的科学技术得到了快速发展，特别是电子学、信息学、电子计算机科学和空间科学等，在其自身发展的同时，给测绘科学的发展开拓了广阔的道路，创造了发展的条件，推动着测绘技术和仪器的变革和进步。测绘科学的发展很大部分是从测绘仪器发展开始的，然后使测绘技术发生重大的变革。1947 年，光波测距仪问世，60 年代激光器作为光源用于电磁波测距，使长期以来艰苦的手工业生产方式的测距工作发生了根本性的变革，彻底改变了大地测量工作中以测角换算距离的面貌。随着光源和微处理机的问世和应用，测距工作向着自动化方向发展。氦氖激光光源的应用使测程达到 60km 以上，精度达到 $\pm 5\text{mm} + 5 \times 10^{-6} D$ 。固体激光器的应用使测程大大加大，因此测月、测卫工作得以实现。80 年代开始，多波段（多色）载波测距的出现，抵偿、减弱了大气条件的影响，使测距精度大大提高。与此同时，砷化钾发光管和激光光源的使用，使测距仪的体积大大减小，重量减轻，向着小型化大大迈进了一步。

除了光波测距以外，微波测距也有很大发展，20 世纪 80 年代之后，全自动化的微波测距仪 CA-100、WM-20 等已用于军事等部门。