

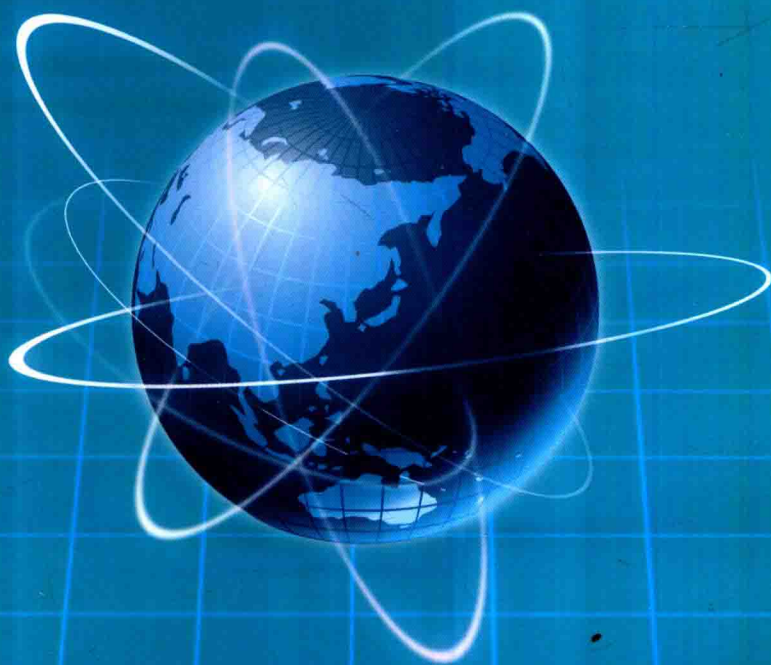
■ 高等学校理工科土木工程类规划教材

测量学教程

SURVEYING

(第三版)

伊晓东 金日守 袁永博 主编



大连理工大学出版社
Dalian University of Technology Press

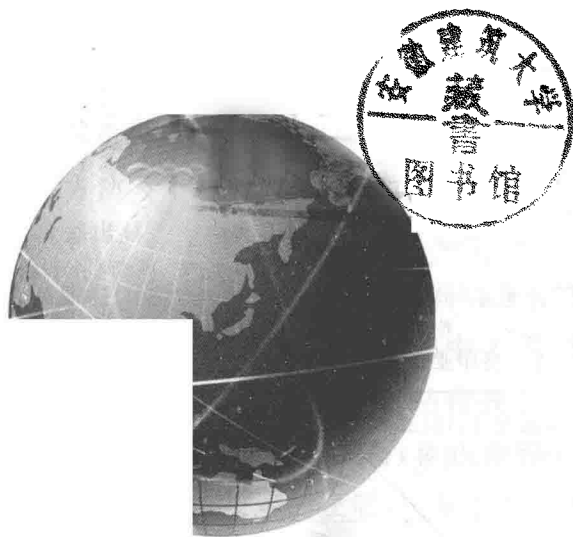
■ 高等学校理工科土木工程类规划教材

测量学教程

SURVEYING

(第三版)

伊晓东 金日守 袁永博 主编



大连理工大学出版社
Dalian University of Technology Press

图书在版编目(CIP)数据

测量学教程 / 伊晓东, 金日守, 袁永博主编. — 3
版. — 大连: 大连理工大学出版社, 2017. 2

ISBN 978-7-5685-0583-3

I. ①测… II. ①伊… ②金… ③袁… 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(2016)第 217221 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

电话: 0411-84708842 邮购: 0411-84708943 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连永盛印业有限公司印刷

大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm

印张: 16.5

字数: 375 千字

2007 年 3 月第 1 版

2017 年 2 月第 3 版

2017 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑: 于建辉

责任校对: 许 蕾

封面设计: 季 强

ISBN 978-7-5685-0583-3

定 价: 35.00 元

前 言

近些年,随着国家基础设施建设的迅速发展,以及互联网、现代通信、智能仿真等技术的支持,测量技术站在了更高、更广阔的平台服务于实践;同时,测绘设备在软、硬件上的技术水平也得到更大的提高。这些都赋予了现代测量科学新的概念和理论。以全球定位系统(GPS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)为代表的新型技术正逐步替代常规测量方法;数字化测图方法的多样性和面向应用对象提供服务已成为现实。

本书就是抓住当前测绘技术发展的新特点,针对高等学校非测量专业对测量知识的需要而编写的。本书以“测绘空间信息技术的获取方法和管理”为主线,结合测量学的基本理论和测量设备,使学生掌握测量学基本知识和实践的操作能力,同时对地形图的生成方法及其在规划、工程中的应用也做了阐述,力求学生能把测量学知识熟练地用于专业实践。

本书第一、二版出版后,广大读者给予了热情支持,同时在使用过程中也提出了许多宝贵意见,在此深表谢意。第二版修订时,对书中文字、图表的错误进行了更正,并按照非测量专业的测量学教学大纲要求,结合教学的实际需要,对第三章“测量数据的误差及精度分析”进行了重新编写,以求内容更加简洁,便于理解。本次修订时,结合近些年测绘应用技术的发展,更新了实验测绘设备及使用功能部分的介绍,增加了如无定向导线计算、国家基本比例尺地形图简介、2000 国家大地坐标系、无人机测绘技术应用等内容。

全书共 11 章,其中第 1、2 章主要介绍测量学的基本知识、基本理论和空间数据采集方法。第 3 章介绍测量误差理论及处理方法,并试图应用概率统计的概念进行阐述,旨在为以后各章加强对观测误差的讨论和进行精度分析打下基

础。第4章重点介绍测量的三项基本工作——距离、高差、角度(方向)——在实际中如何应用和实施。第5章则介绍了当代测绘空间数据采集的新设备(全站仪和GPS)的基本原理和使用方法。第6章介绍了小区域控制测量的方法。第7章介绍了工程中大比例尺地形图的基本原理及测绘4D产品的基本知识。第8章介绍了大比例尺地形图测绘方法,尤其关注了数字化成图技术。第9章介绍了地形图在规划、工程施工中应用情况。第10章主要介绍了放样工作的基本方法,包括如何用全站仪和GPS放样的问题。第11章关注了从民用建筑到桥涵、管线、地下工程施工测量的方法,本章有关内容可供不同专业选用。

本书由大连理工大学伊晓东(编写第1、2、5、8、10、11章和9.4节)、东北大学金日守(编写第3、4、6、7章)及大连理工大学袁永博(9.1~9.3节)主编。

由于作者水平所限,书中缺点和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。您有任何意见或建议,请通过以下方式与大连理工大学出版社联系:

邮箱 jcjf@dutp.cn

电话 0411-84708947

编者
2017年2月

目 录

第1章 绪 论 /1

- 1.1 测量技术基本知识 /1
 - 1.1.1 测量技术的定义 /1
 - 1.1.2 测量技术的实质 /2
 - 1.1.3 测量工作的原则和程序 /2
 - 1.2 测量技术的任务及分类 /4
 - 1.3 测量技术发展简介 /5
 - 1.3.1 测量技术发展历史 /5
 - 1.3.2 现代测绘学的内涵和发展 /6
 - 1.4 测量与工程建设 /7
 - 1.4.1 测量与工程建设的关系 /7
 - 1.4.2 测绘在土木类专业的应用 /7
- 习 题 /8

第2章 地面点定位方法 /9

- 2.1 测量的基准面与坐标系 /9
 - 2.1.1 测量基准面 /9
 - 2.1.2 测量坐标系 /11
 - 2.2 地球曲率对测量工作的影响 /13
 - 2.3 获取地面点空间位置的数学方法 /15
 - 2.3.1 平面点位坐标测量方法 /15
 - 2.3.2 获取高程的方法 /17
 - 2.4 水下地形点测量方法 /18
- 习 题 /19

第3章 测量数据的误差及精度分析 /20

- 3.1 测量误差基本知识 /20
- 3.2 衡量精度的指标 /22
- 3.3 误差传播定律 /23

- 3.4 观测值的最可靠值 /26
 - 3.5 由最可靠值计算观测值中误差 /29
- 习 题 /30

第4章 测量基本元素的采集技术 /32

- 4.1 几何水准测量 /32
 - 4.1.1 DS₃水准仪介绍 /32
 - 4.1.2 水准测量数据的内外业处理方法 /37
 - 4.1.3 水准测量误差分析 /41
 - 4.2 角度测量 /44
 - 4.2.1 角度测量的基本原理 /44
 - 4.2.2 角度测量及内外业数据处理 /48
 - 4.2.3 角度测量的误差分析 /52
 - 4.3 距离测量 /56
 - 4.3.1 钢尺量距 /56
 - 4.3.2 电磁波测距 /59
 - 4.3.3 视距测量 /64
 - 4.4 直线定向 /66
- 习 题 /69

第5章 坐标测量 /72

- 5.1 全站仪坐标测量 /72
 - 5.1.1 全站仪简介 /72
 - 5.1.2 全站仪坐标测量方法 /76
- 5.2 GPS坐标测量 /80
 - 5.2.1 GPS系统简介 /80
 - 5.2.2 GPS定位技术的基本原理 /81
 - 5.2.3 GPS定位作业模式 /84

5.3 不同基准下的坐标转换 /90

习 题 /92

第6章 小区域控制测量 /93

6.1 概 述 /93

6.2 导线平面控制测量 /96

6.2.1 导线布设基本形式 /96

6.2.2 导线测量实施 /96

6.2.3 无定向导线 /100

6.3 交会定点测量 /104

6.4 三、四等水准测量 /105

6.5 三角高程测量 /108

6.6 GPS控制测量 /111

6.6.1 GPS控制测量的技术指标 /111

6.6.2 GPS控制测量的用途 /111

6.6.3 GPS控制测量的实施 /111

习 题 /113

第7章 地形图基本知识 /115

7.1 地形图的比例尺、分幅与编号 /115

7.2 国家基本比例尺地形图简介 /120

7.2.1 国家基本比例尺地形图的
数学基础 /1207.2.2 国家基本比例尺地形图的
设计与编绘 /120

7.3 地图符号 /120

7.4 地貌符号 /122

7.5 4D产品介绍 /124

习 题 /129

第8章 大比例尺地形图测绘方法 /131

8.1 白纸地形图测绘 /131

8.1.1 白纸测图前的准备工作 /132

8.1.2 测量碎部点平面位置的
基本方法 /1338.1.3 地形图的绘制、拼接、整饰、
检查与验收 /137

8.2 数字地形图测绘 /139

8.2.1 数字测图的基本思想 /139

8.2.2 数字测图的野外数据采集
方法 /141

8.2.3 数据内业编辑 /145

8.2.4 基于CASS9.0的数字地形图
生成 /146

8.3 摄影测量与成图 /148

8.3.1 航空摄影测量与相片 /149

8.3.2 航空摄影测量内业成图方法 /152

8.3.3 影像的立体观测与量测 /153

8.3.4 数字摄影测量成图简介 /153

8.4 基于低空无人机的地形图测绘 /155

8.4.1 无人机简介 /155

8.4.2 无人机系统硬件 /156

8.4.3 无人机系统软件 /156

8.4.4 无人机测绘的优势 /156

8.4.5 无人机影像采集和测量
数据处理流程 /1578.4.6 无人机倾斜摄影测量与
建筑信息模型建设 /158

8.5 地籍房产图测绘 /159

8.5.1 概 述 /159

8.5.2 地籍房产调查 /159

8.5.3 地籍房产测量 /160

习 题 /163

第9章 地形图的应用 /165

9.1 概 述 /165

9.1.1 普通地图的内容 /165

9.1.2 地形图的阅读 /165

9.1.3 地形图阅读的注意事项 /168

9.2 地形图的基本应用 /169

9.2.1 点位平面坐标的测量 /169

9.2.2 两点间水平距离的测量 /170

9.2.3 方位角的测量 /170

9.2.4 点位高程的确定 /171

9.2.5 在地形图上量取曲线或折线的
长度 /172

9.3 面积、体积的量算 /172

9.3.1 图解法 /172

9.3.2 求积仪法 /173

9.3.3 解析法 /175

9.4 地形图在工程设计与施工中的应用	/176
9.4.1 绘制纵横断面图	/176
9.4.2 按限定坡度选定两点间最短路线	/177
9.4.3 确定汇水面积	/177
9.4.4 计算水库容量	/178
9.4.5 场地平整	/179
9.4.6 在水工选址规划中的应用	/181
9.4.7 在地质勘查及矿山开采中的应用	/183
9.5 地形图在建筑规划中的应用	/184
9.5.1 在国土及城市总体规划中的应用	/184
9.5.2 在线路规划与勘测设计中的应用	/185
9.5.3 在建筑规划用地分析中的应用	/186
9.6 地形图在地理信息系统中的应用	/188
习 题	/190

第10章 工程放样方法 /192

10.1 测量基本元素放样	/192
10.1.1 水平距离测设	/192
10.1.2 水平角测设	/192
10.1.3 高程测设	/193
10.2 平面点位放样	/193
10.3 线段坡度放样	/196
10.4 圆曲线放样	/197
10.4.1 圆曲线主点测设	/197
10.4.2 圆曲线细部测设	/198
10.5 全站仪放样简介	/200
10.5.1 概 述	/200
10.5.2 全站仪放样实施	/201
10.6 GPS-RTK 放样简介	/207
习 题	/208

第11章 工程施工测量 /210

11.1 概 述	/210
11.1.1 施工测量的内容	/210
11.1.2 施工测量的原则	/210
11.1.3 施工测量的特点	/211

11.1.4 施工测量的准备工作	/211
11.2 施工控制测量	/211
11.2.1 施工控制测量网的布设形式	/211
11.2.2 施工控制测量网的特点及测量方法	/213
11.3 民用建筑施工测量	/213
11.3.1 基本内容和方法	/213
11.3.2 施工放样精度要求	/215
11.3.3 民用建筑施工各阶段放样	/215
11.3.4 建筑物的垂直度控制测量	/220
11.4 桥梁施工测量	/221
11.4.1 桥梁施工控制测量	/221
11.4.2 桥梁主体施工测量	/223
11.5 道路施工测量	/226
11.5.1 路基放线	/226
11.5.2 施工边桩的测设	/228
11.5.3 竖曲线测设	/229
11.5.4 路面放线	/230
11.5.5 涵洞施工测量	/231
11.6 管线施工测量	/232
11.6.1 管道中心线测量	/232
11.6.2 管道纵横断面测量	/233
11.6.3 明挖管道施工测量	/233
11.6.4 顶管施工测量	/235
11.7 地下工程施工测量	/237
11.7.1 隧道施工控制	/237
11.7.2 隧道施工测量	/240
11.8 工程竣工测量	/242
11.8.1 民用建筑竣工测量内容	/242
11.8.2 桥梁竣工测量	/243
11.8.3 道路竣工测量	/243
11.8.4 管线竣工测量	/244
11.9 建筑物变形观测	/245
11.9.1 概 述	/245
11.9.2 变形监测点布设	/246
11.9.3 建筑物的沉降观测	/247
11.9.4 变形观测数据处理	/250
习 题	/251

参考文献	/253
------	------

绪 论

1.1 测量技术基本知识

1.1.1 测量技术的定义

物质的存在是客观的,且物质的运动是绝对的,人类对物质的探索和研究是全方位且没有止境的。测量学就是对客观物质对象进行描述的学科之一,具体地说,测量学是研究地球的形状和大小并描述和确定地球表面自然形态及要素和地面上人工设施的形状、大小、空间位置及其属性的学科。

可以看出,本学科的中心和实质是确定地面点空间位置。具体的内容包括测定和测设两部分。测定是指用测量仪器通过对地球表面上的点进行测量,从而获得一系列的测量数据或根据测得的数据将地球表面的地形缩绘成地形图,如图 1-1(a)的点 A(实地)→A(图纸)、点 B(实地)→B(图纸)等过程。测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置通过测量在地面上标定出来,如图 1-1(b)的房角点 1(规划图纸)→1(实地)过程。

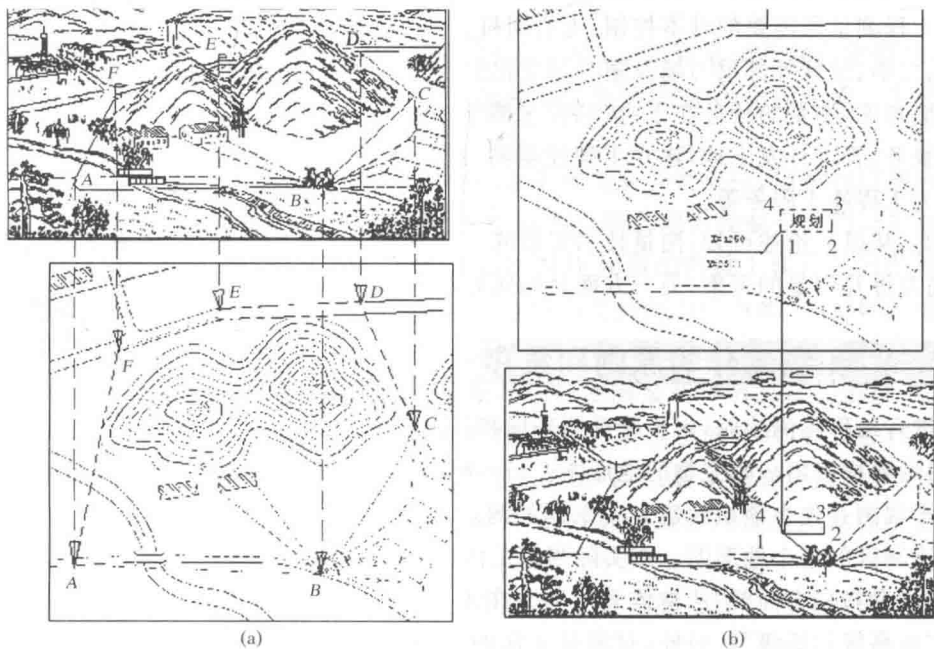


图 1-1 测定与测设的关系

1.1.2 测量技术的实质

从上述测量技术定义可以看出,测量是以地球及地球上分布的自然和人文物体为研究对象,并对其进行测定和描绘的科学。由于测量技术研究的对象众多,且涉及多个方面,因此下面仅就本课程涉及的主要内容——地形测绘思想进行阐述。

图 1-1(a)描述了通过测量仪器采集地面点空间及属性信息,以获得反映这种自然和人造形态的图纸或地形图的过程。

从形式上说,测量工作可以分成外业和内业两部分进行。从内容上讲,外业工作包含控制测量和碎部测量两项;内业工作包含地面物体位置的确定和形状的图形编绘。从空间坐标定位基准看,碎部测量是基于数学上的极坐标和直角坐标两种方式进行的。

本质上,测量就是研究地面点定位问题。即确定地面目标在三维空间的位置及其随时间的变化。一般是通过测量角度、距离、高差等几何量来实现的。

测量工作就是围绕确定某点所在的空间位置的问题展开的。

图 1-2 中选定地面上的两点 A、B,投影到某一水平面上,则 AB 边投影后水平距离为 D 。建立平面直角坐标系 xOy ,设 AB 边和设定坐标系的 x 轴夹角为 β ,点 A 的坐标为 (x_0, y_0) ,则可以获得点 B 的坐标 (x, y) 。

$$\begin{cases} x = x_0 + \Delta x = x_0 + D \cos \beta \\ y = y_0 + \Delta y = y_0 + D \sin \beta \end{cases} \quad (1-1)$$

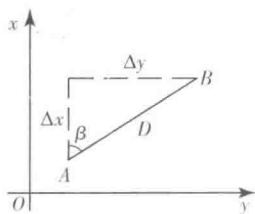


图 1-2 地面点的定位

式中, D 为水平距离, β 为水平角。通过测量手段,这些数据都可以直接或间接获取。

从宏观方面考虑,测量的任务在于:进行精密控制测量建立国家控制网;提供地形测图和大型工程测量所需要的基本控制;为空间科技和军事工作提供精确的坐标资料;参与对地球形状、大小、地球外部重力场及随时间变化的地壳形变及地震预报等方面的科学研究。从微观方面考虑,测量的任务在于:按照需求测绘各种比例尺的地形图;为各个领域提供定位和定向服务;管理开发土地,建立工程控制网,进行施工放样,辅助设备安装,监测建筑物变形以及为工程竣工服务等。

因此,从以上论述可知,测量技术实质的一个主要方面是如何有效、高精度地实现角度、距离、高差等几何量的采集;另一方面是如何处理采集数据,并为各相关应用领域提供支持。

1.1.3 测量工作的原则和程序

在进行地形图测绘时,由于受观测环境和观测精度的限制,只能连续地逐测站逐区域地施测,然后再拼接出一幅完整的地形图。当一幅图不能包括测量区域的整个范围时,将测区分成若干幅图并先在该地区建立一系列的测站点(或控制点),再利用这些点,分别施测,最后拼接该测区的整个地形图。在实际测量工作中,为防止测量误差的积累,要遵循的基本原则是,在测量布局方面要“从整体到局部”;在工作程序方面要“先控制后碎部”;在精度控制方面要“由高级到低级”。另外,对测量工作的每个工序,都必须坚持“边工作边检核”,前一步工作未做检核不能进行下一步工作,以确保测量成果精确可靠。

被测区域的地形可分为地物和地貌两大类。地面上的固定性物体,如公路、铁路、河流、桥梁、建筑物、居民地等称为地物;地面上的高低起伏形态,如平原、盆地、丘陵、山地等称为地貌,而能够反映地物轮廓和描述地貌特征的点统称为碎部点。在测绘地形图时,并不直接测量这些碎部点,而是首先在测区建立控制网,利用这些控制网才能将测量的碎部点彼此连接成精确的整体。

测量工作的规划设计先要考虑整体布局,然后才是局部的细分,如同建房先要有整体的梁柱框架,然后才能进行局部墙、窗施工,测量布局要求的“从整体到局部”工作也是为了整个测量系统可靠,并给下一步工作提供必要数据、基准提出的。

由测量控制点组成的几何图形称为控制网。国家控制网分为一、二、三、四4个等级,它们为建立城市基本平面控制网提供起算依据和质量保证。在城市平面控制网基础上又可建立小区域控制网,它可以为测图、工程建设服务,这些控制网的特点是等级越高级,控制的区域就越大。

测站点的位置必须先进行整体布置,若一开始就从测区某一点起连续进行测量,由前面测站造成的误差必将传递给后面的测站,如此逐站积累,不仅使测站本身位置精度越来越差,而且由它所测绘的地物、地貌的位置误差积累也越来越大,如此将得不到一张合格的地形图。而就多幅图拼成的整个测区而言,就更难保证相互间精度的一致性。因此,必须先整体布置测站点。测站点由控制测量获得,而碎部点则由测站点采集,所以应遵循“从控制到碎部”。

在地形测图中,先选择一些具有控制意义的点,如图1-1(a)中的A、B、C、…,使用较精密的仪器和方法把它们的位置测定出来,这些点就是上述的测站点,在地形测量中称其为地形控制点或称为图根控制点,然后再借助它们测定道路、房屋、草地、水塘等地物的轮廓,这些轮廓点称为地形碎部点。

遵循“由整体到局部”或“先控制后碎部”的原则,就可以使测量误差分布比较均匀,制图精度得到保证,而且可以分幅测绘、平行作业、加快测图速度,使整个测区连成一个完整的实体出图。

测量组织工作一般分两个步骤进行。首先,在测区选取少数点位,用精密仪器和比较精确的方法测定它们的相对位置,作为测区的骨架,这些骨架点即为控制点。测定控制点相对位置的工作称为控制测量。控制测量是全局性的、精度较高的测量工作。在范围较大的测区,要由高级到低级,按不同精度要求逐步进行。其次,在控制点的基础上,对碎部点进一步详细测量。如,地形测量时,以控制点为依据,分别测定每个控制点周围的碎部点的相对位置。测定碎部点相对位置的工作称为碎部测量。在控制测量和碎部测量的基础上,最后绘制出整个测区完整的地形图。由于控制点位具有高精度、误差小的特点,且误差传递范围受到限制,因此整个测区的精度均匀统一。同样施工测量时,也是以控制点位为依据,将图上设计的建筑物位置,测设到对应实际地面位置上。测设碎部点相对位置至地面上的工作称为施工放样。

总之,无论地形测量还是施工测量,都必须遵循“从整体到局部”“先控制后碎部”“由高级到低级”的工作原则,并做到“步步有检核”。

另外,为保证测量精度和过程的规范性,国家相关部门还发布了各种测量规范,实践中

要严格遵循相应规范的要求。

1.2 测量技术的任务及分类

从测量学的基本概念可知,测量学研究的内容很多,且涉及许多应用领域和学科。现仅就测绘地表形态为例阐述其主要任务。

第一,在已知地球的形状、大小及其重力场的基础上建立一个统一的地球坐标系,用以表示地球表面及其外部空间任一点在这个地球坐标系中的准确几何位置。由于地球的外形接近一个椭球(称为地球椭球),所以地面上任一点的几何位置可用这一点在地球椭球面上的经纬度和对应高程表示。

第二,有了大量地面点的坐标和高程,就可以此为基础进行地表形态的绘制工作,包括地表的各種自然形态,如水系、地貌、土壤和植被的分布,也包括人类社会活动所产生的各种人工形态,如居民地、交通线和各种建筑物的位置。对于小面积的地表形态测绘工作,可以利用普通的测量仪器,通过普通测量的方法直接测绘地形图;对于大面积地表形态的测绘工作,通常采用航空或航天摄影方法,获得地表形态和人工设施空间分布的影像信息,再根据摄影测量理论和方法,将地表形态和人工设施的影像信息用模拟的、解析的或数字的方式转变成各种比例尺的地形图或形成地理数据库。

第三,以上用测量仪器和测量方法所获得的自然界和人类社会现象的空间分布、相互联系及其动态变化的信息,最终要以地图图形的形式反映和展示出来。为此要把采集的信息经过地图投影、综合、编制、整饰和制印,或者增加某些专门要素,才能形成各种比例尺的普通地图和专题地图。

第四,各种经济建设和国防工程建设的规划、设计、施工和建筑物建成后的运营管理等都需要进行相应的测绘工作,并利用测绘资料引导工程建设的实施,监视建筑物的变形。这些测绘工程往往要根据具体工程的要求,采取专门的测量方法。而对于一些特殊的工程,还需要特定的高精度测量仪器或使用特种测量仪器去完成相应的测量任务。

第五,在海洋环境(包括江河湖泊)中进行的测绘工作,同陆地测量有很大区别。主要是测量内容综合性强,需多种仪器配合施测,同时要完成多种观测项目。

上述各种测量操作获取的地面空间信息还要与计算机技术结合,通过一系列统计、管理方法,为地球科学、环境科学和工程设计乃至政府行政职能和企业经营提供对决策有用的地理信息,并回答用户提出的有关问题。

针对上述测量要研究的对象,以及获取这些对象位置信息的方法,测量学可以分为以下几类:

(1) 普通测量学

普通测量学是研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科,是测量学的基础。主要研究内容有:图根控制网的建立、地形图的测绘及一般工程的施工测量。具体工作有距离测量、角度测量、定向测量、高程测量、观测数据的处理和绘图等。

(2) 大地测量学

大地测量学是研究在地面广大区域上建立国家大地控制网,研究确定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术与方法的学科。由于人造地球卫星的发射和空间技术的发展,现代

大地测量学又有常规大地测量学、卫星大地测量学与空间大地测量学之分。

(3) 摄影测量学

摄影测量学是利用摄影像片来研究和测定物体的形状、大小和位置的学科。根据相片采集平台和方法不同,摄影测量学又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天摄影测量学等。

(4) 工程测量学

工程测量学是研究工程建设项目在勘测设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。主要内容有:建立工程控制网、测绘地形图、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和仪器维修养护的理论、技术与方法。

(5) 海洋测量学

海洋测量学是研究和测量地球表面水体(海洋、江河、湖泊等)及水下地貌的一门综合性学科。主要研究上述范围内的控制测量、地形岸线测量、水深测量等各种测量工作的理论、技术和应用方法。

1.3 测量技术发展简介

1.3.1 测量技术发展历史

社会生产的需求促进了测绘技术的兴起,社会的进步也使测绘技术得到更大发展。目前考古发现的证据表明,上溯到公元前 2 400 年,古埃及尼罗河三角洲就已有地产边界的测定活动。司马迁在《史记·夏本纪》中叙述了大禹受命治理洪水而进行的测量工作:“左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道,陂九泽,度九山”,这充分说明在我国的历史上,测量技术的应用可追溯到四千年以前。《周髀算经》《九章算术》《管子地图篇》《孙子兵法》等历史文献均记载着我国测量技术、计算技术和军事地形图应用和发展的内容。长沙马王堆汉墓出土的公元前 2 世纪的地形图、驻军图和城邑图(图 1-3),是迄今发现的最古老最翔实的地图。魏晋时期刘徽就在《海岛算经》中阐述了测算海岛之间距离和高度的方法。西晋的裴秀编制的《禹贡地域图十八篇》反映了晋十六州郡国县邑、山川原泽及境界,并总结出分率、准望、道里、高下、方斜、迂直的“制图六体”,归纳了地图制图的标准和原则。公元 724 年唐代高僧一行主持了世界最早的子午线测量,在河南平原南北伸展大约分布在 200 km 距离近似位于同一子午线上的 4 个点,测量了春分、夏至、秋分、冬至 4 个时段正午的日影长度和北极星高度角,用步弓丈量了四个点间的实地距离,推算出北极星每差一度相应的地面距离。北宋沈括发展了裴秀的制图理论,编绘了比例尺为“一寸折一百里”(相当于 1:900 000)的《天下州县图》,并发明发展了许多易行的测量技术。

元代郭守敬在全国进行了天文测量,还通过修渠治水,总结了水准测量的经验,创造性地提出海拔高程的概念。明代郑和七下西洋首次绘制了航海图。清康熙年间开展了大规模的经纬度测量和地形测量,编成了著名的《皇舆全览图》。

近代测量技术由于航海技术的发展,使得人类对地球形状认识逐步深化,并要求精确测定地球形状而得以发展的。从人类最早对地球认识为天圆地方到地球为圆球,再从地球为

椭球到证实地球的非椭球而是一个梨形的过程(图 1-4),验证了测绘技术的理论发展和实际应用不断走向成熟。

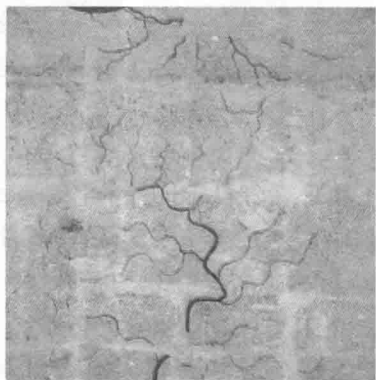


图 1-3 马王堆出土的地图

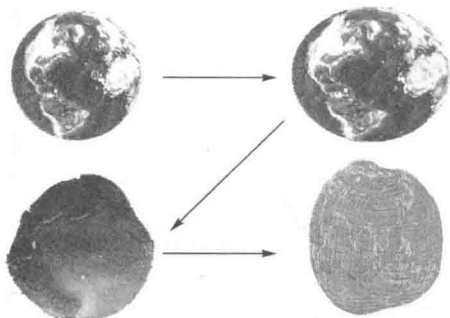


图 1-4 地球形状认识演变

从测量设备说,17 世纪的工业革命,发明了望远镜,使测量手段有了一个质的飞跃。人类能够利用光学仪器进行测量,而 20 世纪初随着飞机和照相机的产生,创立了航空摄影测量,使测量学进行了一次革命,把大量的野外测量工作转入室内,改变了测量的技术途径,减轻了劳动强度,缩短了成图周期,提高了工作效率。20 世纪 50 年代后,由于微电子学、光学以及激光、计算机、摄影和空间技术的迅猛发展,带动了电磁波测距仪、电子全站仪、数字摄影测量系统等的问世,无疑这是继光学测量技术出现后,测量技术的又一次重大革命,这导致地形测量从白纸测图变革为数字测图,测量工作由单一、零散的组织向内外业一体化、自动化、智能化和数字化的方向转变,测绘空间信息技术已成为信息时代不可缺少的组成部分。

1.3.2 现代测绘学的内涵和发展

借助人造卫星的成功发射和航天技术的不断发展,1966 年开始进行卫星大地测量,1972 年开始利用卫星对地球进行观测,这些现代技术再次向传统的测量技术发起了挑战。美国全球定位系统(GPS)可向全球任何用户实时地提供精密的三维空间相对位置、三维速度和时间信息,从根本上改变着三维空间数据的获取方法。

在当代信息革命的过程中,由测量学、摄影测量与遥感学、地图学、地理科学、计算机科学、卫星定位技术、专家系统技术与现代通信技术的有机集成和综合,产生了应用各种现代化方法来采集、量测、分析、存储、管理、显示、传播和应用空间分布数据的新型的地理信息科学。现代测量学正以全新的面貌在更广阔的应用领域内充当重要角色。

现代测绘学是指对空间数据的测量、分析、管理、存储和综合研究的学科,这些空间数据来源于地球卫星、空载和船载的传感器以及地面上各种测量技术,并利用计算机的硬件和软件对这些空间数据进行处理和使用。基于信息时代对空间信息有极大需求所形成的现代测绘学,更准确地描绘了测绘学科在现代信息社会中的作用。而原来几个专门的测绘学科之间的界限已随着计算机技术的发展逐渐变得模糊了。测绘学科的现代发展促使测绘学中出現若干新学科,例如空间大地测量、航天遥感测绘、地图制图与地理信息工程。测绘学科的应用已发展到与空间分布信息确定有关的众多领域,这也是现代测绘工程所要完成的任务。

因此现代测绘学作为一门新兴学科,又被赋予一个新的综合性总称——地球空间信息科学(Geo Spatial Information Science),它是以 GPS、RS、GIS 技术及其集成为核心,光缆通信、卫星通信、数字化多媒体网络技术为辅助的多学科交叉的学科。

地球空间信息科学在国民经济建设、国防建设等多个领域中发挥着作用。如军事领域,武器的定位、发射和精确制导需要高精度的定位数据、高分辨率的地面模型和数字正射影像。以地理空间信息为基础的战场指挥系统,可模拟数字化战场环境信息,为作战方案的优化、战场指挥和战场态势评估的自动化提供测绘数据和基础地理信息的保障。

新中国成立以后,我国测绘事业得到了蓬勃发展。在天文大地测量、人造卫星大地测量、航空摄影测量、精密工程测量、近代平差理论、测量仪器研制、南极考察测量、测绘人才培养等方面,都取得了突出的成就。

随着现代科技的发展,测绘新技术层出不穷,由常规的大地测量发展到人造卫星大地测量,由航空摄影发展到航天遥感技术的应用;测量对象由地球表面扩展到空间星球,由静态发展到动态;测量仪器已广泛趋向电子化和自动化。测绘理论方法及应用范围的巨大变化,给我们带来了机遇,也带来了挑战。

1.4 测量与工程建设

1.4.1 测量与工程建设的关系

测量是国家经济建设的一项重要基础性、先行性工作,从工程规划设计,到每项具体工程的建设,都需要有准确的测量成果作依据。伴随社会 and 科学技术的发展,测量的重要性日益增强,应用的领域不断扩大,在国民经济建设中已成为不可缺少的工具。现代化建设越向前发展,就越需要测量工作及时为之提供准确而有效的服务。

在经济建设中,从资源勘察、能源开发、城乡建设、交通运输、江河治理、土地整治、环境保护、行政界线勘定到经营管理都需要测量;在国防事业中,国界勘定、军用地图测制、航天测控、弹道计算等都离不开测量;在科学研究方面,对地壳升降、海陆变迁、地震监测、灾害预警、宇宙探测、航空航天技术的研究等,也都依赖于测量技术。

如在各种工程、矿山和城市规划建设等方面都必须进行各种地图测绘并建立相应的测绘地理信息系统,以供规划、设计、施工、管理等使用。在桥隧、水利设施的大规模、高难度工程建设中,需要精确勘测大量现势性强的地理信息数据,保证施工的顺利开展。

在信息社会里,测量成果作为地理信息系统的基础,提供了最基本的空间位置信息。国家信息高速公路、基础地理信息系统及各种专题的和专业的地理信息系统迫切要求建立具有统一标准、可共享的测量数据库和测量成果信息系统。测量成为获取和更新基础地理信息库最可靠、最准确的手段。

1.4.2 测绘在土木类专业中的应用

测绘科学技术在工业与民用建筑、建筑学、城市规划、道桥工程、环境工程、地下建筑、给水排水等土建类专业中,具有重要的作用。为了决定最适宜的工业建筑场地及大型工程构

建筑物的位置,首先要进行踏勘,测绘大比例尺地形图。其次在地形图上进行规划设计,然后根据设计图利用测量放样方法把设计的建(构)筑物标定到实地。而在建筑施工过程中,随时需要测量服务。在建(构)筑物竣工以后和使用期间,还要进行测量工作。可见,测量与土木工程的关系是密不可分的。

土建类各专业的学生,学完本课程之后,在业务上应达到如下要求:

- ①掌握本课程的3个测量基本内容(基本理论、基本知识、基本技能);
- ②掌握工程水准仪、工程经纬仪(全站仪)等的使用;
- ③了解大比例尺数字地形图的成图原理和方法并能熟练地阅读和使用地形图;
- ④具有运用所学测量知识解决土建工程中实际测量问题(如建筑现场施工测量等)的能力,并能从设计和工程技术的角度,对测量工作提出合理的要求;
- ⑤了解当前国内外测量技术和设备(如GPS)的新成就和发展方向。

本教材主要是介绍土建工程在各个阶段所进行的测量工作,它与普通测量学、摄影测量学、工程测量学等学科都有着密切的联系。主要内容包括了测量数据采集方法和质量评估、数字测图方法、地形图识图及应用、建筑物施工放样、变形观测等。

(1)数据采集和质量评估

利用测量手段,获取地面点定位的三个最基本要素,并对采集的数据质量(精度)进行评估。

(2)数字测图

根据需要,测绘不同比例尺地形图,包括建立控制网,获取地面上的地物(如房屋、道路、管线等)、地貌(如山头、洼地、悬崖)等空间和属性信息,并展绘在图纸上。随着测绘设备和计算机技术的发展,数字测图已成为主流,因此掌握数字化测图从数据采集到成图的全过程是很有必要的。

(3)地形图识图

要有能看懂、理解各种比例尺地形图的能力,并能借助地形图解决若干工程设计、规划方面的基本问题。

(4)建筑物放样

根据控制网提供的已知点将图纸上已设计好的建筑物(如房屋、线路)的平面位置和高程按设计要求测设到地面上,作为施工的依据。

(5)变形观测

测定建筑物及其地基在自身荷重和外力作用下随时间而变形的工作。内容主要有沉降观测、位移观测、倾斜观测、裂缝观测等。变形观测是监视重要建筑物在各种应力作用下是否安全的重要手段,其结果将是验证设计理论和检验施工质量的重要资料。

习 题

- 1-1 什么是测量学?测定和测设有何区别?
- 1-2 测量学的任务是什么?
- 1-3 何谓现代测绘学?现代测量技术发展有哪些特点?
- 1-4 测绘地形图应遵循什么原则?为何必须遵守这些原则?
- 1-5 测量学科主要分哪几类,具体定义是什么?

地面点定位方法

2.1 测量的基准面与坐标系

地面点位置是在选定的基准面上建立坐标系后,通过测量点位之间的距离 D 、角度 β 和点到基准面的高差 H 这三个基本元素后确定。

为了获取地面点空间点位,首先要建立测量的基准面和坐标系。如图 2-1 所示,为了获取地面点 A 的三维坐标 (x, y, H) ,将点 A 投影到某一曲面(基准面),得到点 A_0 ,由投影点 $A_0(x_0, y_0)$ 及点 A 到投影面的垂直距离 H ,我们就可唯一地确定点 A 的空间位置。

可以看出,基准面的选择对点位的确定起到关键作用。在地球表面进行的点位测量,要将上述投影曲面作为基准面应具备两个基本条件:①其形状和大小能与地球总形体拟合;②必须是一个能用简单几何体和方程式描述的规则数学面,并有利于数据处理。

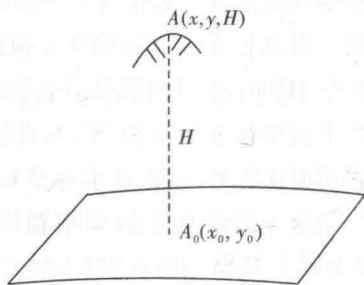


图 2-1 地面点在测量基准面投影

2.1.1 测量基准面

测量工作在地球的自然表面进行,而地球自然表面很不规则,上面分布着江河湖海、平原丘陵和高山深谷,其中海洋占地球表面的 71%,陆地占地球表面的 29%,既有世界最高峰珠穆朗玛峰(高 8 844.43 m),也有最深的马里亚纳海沟(深 11 022 m),两者相对高差接近 20 km,但这样的高差与地球半径(6 371 km)相比,可以忽略不计。由于整个地球的大部分表面积被海水包裹,因此,由海水面延伸穿过大陆与岛屿的闭合曲面与地球的总形体最拟合。在测量学中,把静止的水面称为水准面。在地球重力场中水准面处处与重力方向正交,重力的方向线称为铅垂线,而铅垂线是测量工作的基准线。潮起潮落的海水水位是动态的,因此,水准面有无穷多个,通常把通过平均海水面并向大陆、岛屿延伸而形成的闭合曲面称为大地水准面[图 2-2(a)]。大地水准面是测量工作的基准面。

大地水准面包裹的地球形体为大地体。尽管大地水准面的形状和大小与地球总形体最拟合,但是由于地球内部质量分布的不均匀性,使得重力方向产生不规则变化,处处与重