



智慧图书·建筑书系

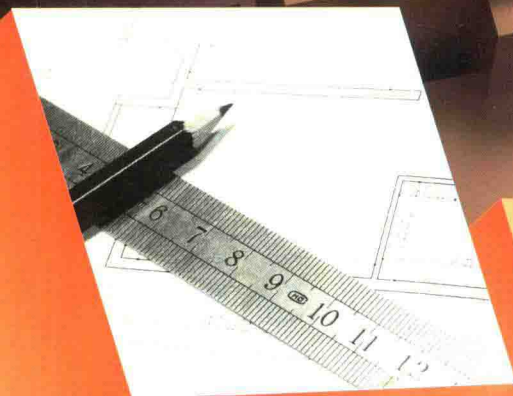
全国土木工程类实用创新型规划教材

JIANZHU SHIGONG CELIANG FANGXIAN

建筑施工测量放线

主审/胡兴福

主编/阿力甫



哈尔滨工业大学出版社





智慧图书·建筑书系

全国土木工程类实用创新型规划教材

JIANZHU SHIGONG CELIANG FANGXIAN

建筑施工测量放线

主审 胡兴福

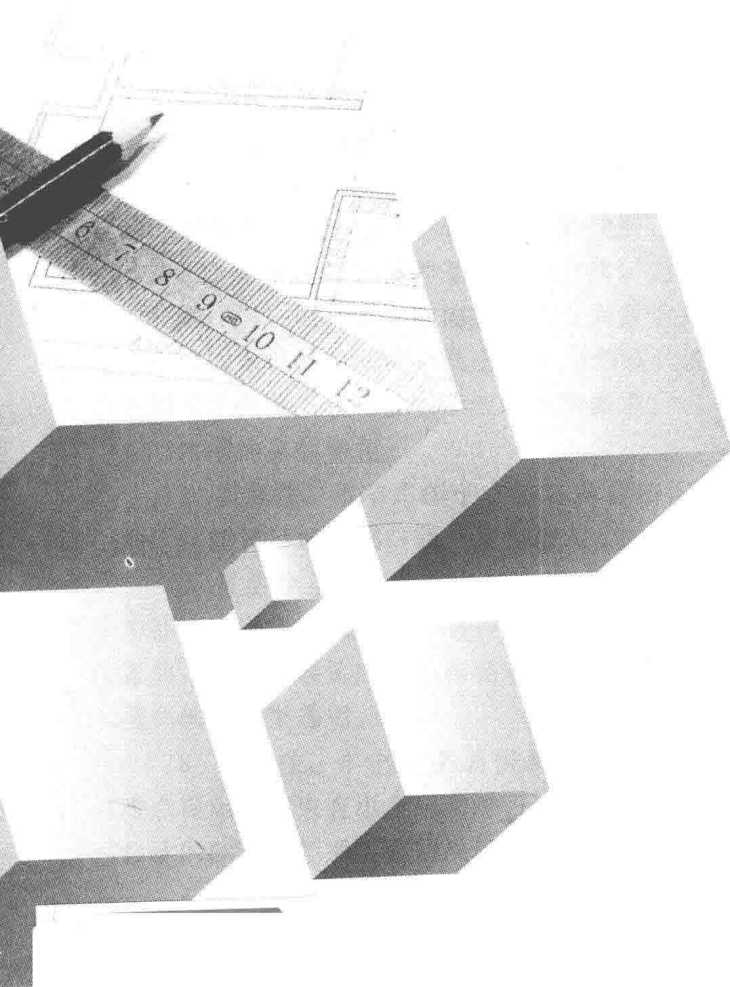
主编 阿力甫

副主编 王昭庆 张志刚 谢建平

编者 张慧 李伟 马琳 王本锋

孙三民 李宝堂 黎军用

哈尔滨工业大学出版社



内 容 简 介

本书紧紧抓住测量学的基本概念和基本原理展开阐述,在内容上力求做到由浅入深,由具体到一般,简明扼要、图文结合、通俗易懂,既考虑当前测量工作的新技术、新发展,又顾及原有测量学的基本知识、基本测量仪器和基本测量方法,充分发挥其技术基础课教学的奠基作用,适应了当前现代测绘技术发展的新趋势,并满足了测绘工程专业教学改革的新需求。

本书可作为普通高等院校及高职高专院校城市规划、土木工程、交通土建工程、道路与桥梁工程、给水排水工程、环境工程、工程管理及相关专业的专业教材或执业考试培训教材,也可供从事建筑工程技术及相关工作的人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑施工测量放线/阿力甫主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2014. 10

ISBN 978-7-5603-4957-2

I. ①建… II. ①阿… III. ①建筑测量-高等学校-教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 236751 号

责任编辑 李广鑫

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 天津市蓟县宏图印务有限公司

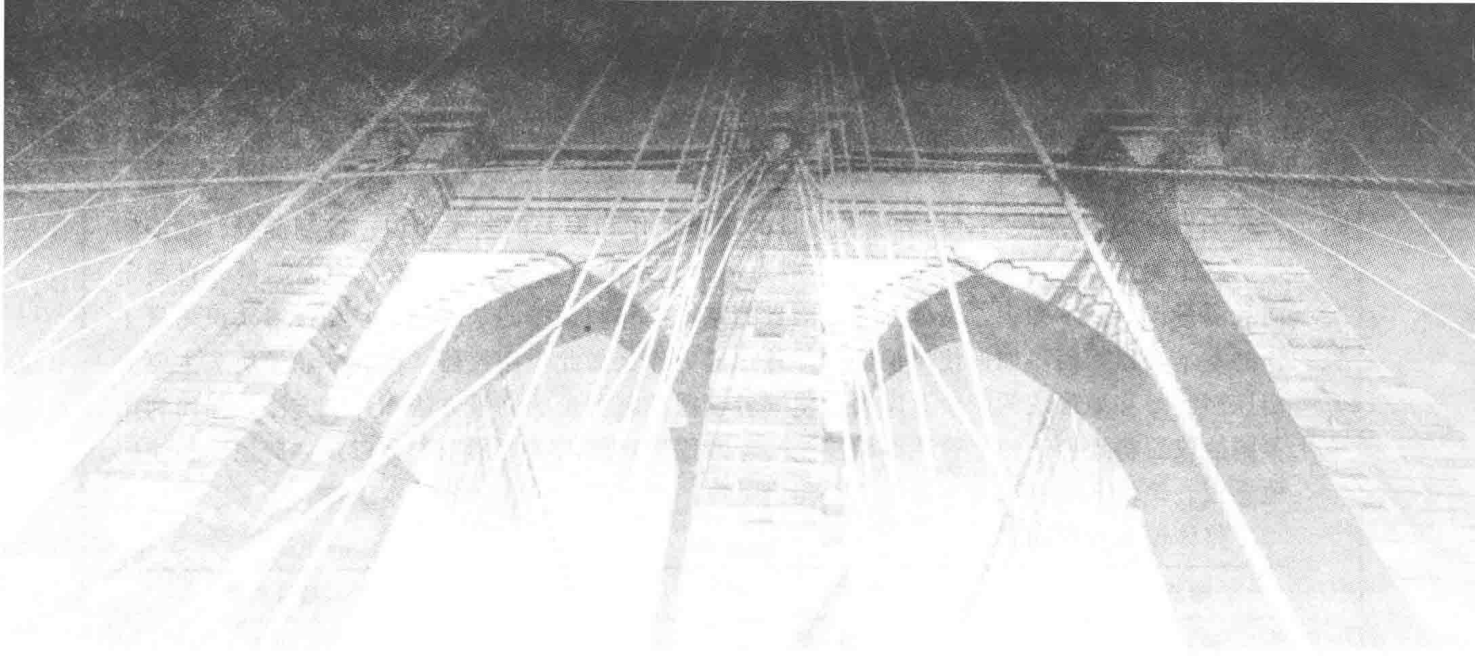
开 本 850mm×1168mm 1/16 印张 14 字数 424 千字

版 次 2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4957-2

定 价 32.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)



本教材是根据不同专业对“测量学”的要求和专业调整方向,结合我国当前教育改革、课程设置和学时分配的实际编写的。编者本着“以人为本、与时俱进”的精神,充分发挥技术基础课辐射源的作用,将不同专业测量方面的基本知识点、基本理论、基本技能,定位在“点、线、面、平、纵、横”测量的界面上。掌握了这些知识点,就能举一反三解决工程中相关的定位、放线、测图、用图等诸多问题,从而达到将知识点转化为勘测能力、用图能力、放样能力等不同专业所要求的培养目标。本书紧紧抓住测量学的基本概念和基本原理进行阐述,在内容上力求做到由浅入深,由具体到一般,内容简明扼要、图文结合、通俗易懂。本书一改原有测量学的课程体系和教学内容,既考虑到当前测量工作的新技术、新发展,又顾及到原有测量学的基本知识、基本测量仪器和基本测量方法,充分发挥其技术基础课教学的奠基作用,因此本书的内容与原有测量学并不脱节,而是新旧内容的有机联系,融为一体,既适应了当前现代测绘技术发展的新趋势,也满足了测绘工程专业教学改革的新需求。

本书的主要特色:

1. 实践性。本书来源于实践,内容精炼,信息量大,专业覆盖面广,能满足培养宽口径、复合型人才的需求。
2. 灵活性。本书章节内容由浅入深,先粗后细,相对独立,互为补充,服从认识规律,有一定灵活性、选择性和互补性。基本内容置前,可选内容置后,不拘泥于学科系统,供不同院校、不同教学环境和教学习惯选用。
3. 可读性。本书文字通俗易懂,论证深入浅出。开始有重点、难点提示,结束有思考题和练习题。充分发挥教材媒体的指导作用和自学的能动性,适应多层次读者需求。
4. 时代性。本书介绍了当代最先进的量测技术、光电技术、数码技术、遥测技术。这些技术标志着新时代测绘科学发展的步伐和方向,反映出高新技术的时代特征。

Preface

前言

本书的内容：

本书分为 10 个模块，内容涵盖测量的基本工作和误差的基本知识、控制测量、地形测量、施工测量等。其中模块 1~5，分别为绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向和测量误差基本知识，具体阐述了测量的基本工作和误差的基本知识，使读者认识测量工作的基本仪器，懂得如何使用仪器，并且知道为什么如此使用仪器。模块 6 和模块 7 主要介绍控制测量和地形图的测绘及应用，使读者掌握控制测量的测量方法和计算方法，如何利用不同的仪器将地面上的地物和地貌按照一定的比例尺测绘到地形图上，以及如何识读和使用地形图。模块 8~10 针对不同的工程测量工作，介绍了施工测量的基本工作。

整体课时分配如下：

章节	内容	建议课时	授课类型
模块 1	绪论	4	讲授
模块 2	水准测量	8	讲授、实训
模块 3	角度测量	8	讲授、实训
模块 4	距离测量与直线定向	6	讲授、实训
模块 5	测量误差基本知识	7	讲授、实训
模块 6	控制测量	7	讲授、实训
模块 7	地形图的测绘及应用	6	讲授、实训
模块 8	建筑工程测量	6	讲授、实训
模块 9	建筑场地平整测量	6	讲授、实训
模块 10	建筑物变形测量与竣工测量	6	讲授、实训

本书在编写过程中，借鉴并参阅了一些国内优秀教材及科学研究成果，在此表示衷心感谢！

由于作者水平所限，不足及疏漏在所难免，恳切希望读者批评指正。

编 者

编 审 委 员 会

主 任:胡兴福

副主任:李宏魁 符里刚

委 员:(排名不分先后)

胡 勇	赵国忱	游普元
宋智河	程玉兰	史增录
张连忠	罗向荣	刘尊明
胡 可	余 斌	李仙兰
唐丽萍	曹林同	刘吉新
武鲜花	曹孝柏	郑 睿
常 青	王 斌	白 蓉
张贵良	关 瑞	田树涛
吕宗斌	付春松	蒙绍国
莫荣锋	赵建军	易 斌
程 波	王右军	谭翠萍
边喜龙		

本书学习导航

简要介绍本模块与整个工程项目的联系、在工程项目中的意义,或者与工程建设之间的关系等。

各模块开篇前导入实际工程,简要介绍工程项目中与本模块有关的知识,以及它与整个工程项目的联系,或者课程内容与工程需求的关系等。

模块概述

模块 2 水准测量

工程导入

包括知识目标和技能目标,列出了学生应了解与掌握的知识点。

学习目标

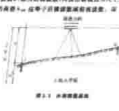
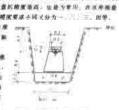
- 【模块概述】
- 水准测量是工程测量的重要内容之一,是测绘工程专业的必修课程,也是工程测量专业的重要课程。通过本课程的学习,使学生掌握水准测量的基本原理、方法和技能,为后续课程的学习打下基础。
- 【知识目标】
1. 水准测量的原理;
 2. 水准测量的仪器和工具;
 3. 水准测量的观测方法和记录;
 4. 水准测量的误差分析和精度估计;
 5. 水准测量的成果整理。
- 【技能目标】
1. 水准仪的安置和整平;
 2. 水准尺的扶直和读数;
 3. 水准测量的观测和记录;
 4. 水准测量的成果整理。
- 【学时分配】
- 本模块共 16 学时,其中理论教学 10 学时,实践教学 6 学时。
- 【考核评价】
- 考核评价采用过程考核和终结考核相结合的方式。

课时建议

建议课时,供教师参考。

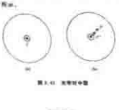
2.1 水准仪的认识与使用

2.2 水准测量原理



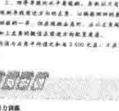
2.3 水准测量的实施

2.4 水准测量的成果整理



2.5 水准测量的精度要求

2.6 水准测量的注意事项



重点串联

用结构图将整个模块的重点内容贯穿起来,给学生完整的模块概念和思路,便于复习总结。

拓展与实训

包括职业能力训练、工程模拟训练和链接执业三部分,从不同角度考核学生对知识的掌握程度。

模块 1 绪论

- 1.1 测量学的任务及其在工程建设中的作用/001
 - 1.1.1 测量学的学科分类/001
 - 1.1.2 普通测量学的任务/002
 - 1.1.3 测量学在工程建设中的作用/002
 - 1.1.4 现代测量科学发展概况/002
- 1.2 地球的形状与大小/003
- 1.3 地面点位的表示方法/004
 - 1.3.1 地理坐标/004
 - 1.3.2 平面直角坐标/004
 - 1.3.3 高程/005
- 1.4 用水平面代替水准面的限度/005
 - 1.4.1 对距离的影响/005
 - 1.4.2 对高程的影响/006
 - 1.4.3 测量的基本原则/006
 - 1.4.4 常用度量单位和弧度/007
- 1.5 比例尺/008
 - 1.5.1 数字比例尺/008
 - 1.5.2 直线比例尺/008
 - 1.5.3 比例尺精度/008
- ❖重点串联/009

模块 2 水准测量

- 模块概述/010
- 知识目标/010
- 技能目标/010
- 学习重点/010
- 课时建议/010
- 工程导入/011

- 2.1 水准仪的认识与使用/011
- 2.2 水准测量原理/011
- 2.3 水准测量仪器及工具/012
 - 2.3.1 水准仪/012
 - 2.3.2 工具/015
- 2.4 微倾水准仪的操作/016
- 2.5 普通水准测量的作业方法/017
- 2.6 水准测量的校核方法和闭合差的调整/018
- 2.7 水准测量的成果整理/020
 - 2.7.1 高差闭合差的计算/020
 - 2.7.2 高差闭合差的调整/020
 - 2.7.3 待定点高程计算/020
- 2.8 水准仪的检验与校正/021
 - 2.8.1 圆水准器轴平行于竖轴的检验与校正/022
 - 2.8.2 十字丝横丝垂直于竖轴的检验与校正/022
 - 2.8.3 视准轴平行于管水准器轴的检验与校正/023
- 2.9 水准测量的误差及其影响/024
 - 2.9.1 仪器误差/024
 - 2.9.2 观测误差/025
 - 2.9.3 外界环境的影响/025
 - 2.9.4 水准测量注意事项/026
- 2.10 精密水准仪/026
- 2.11 自动安平水准仪的使用/028
 - 2.11.1 自动安平水准仪的原理/028
 - 2.11.2 自动安平水准仪的使用/028
- 2.12 数字水准仪简介/028
 - 2.12.1 数字水准仪的原理/028
 - 2.12.2 数字水准仪及条形码尺/029
 - 2.12.3 数字水准仪的特点/029
 - 2.12.4 数字水准仪的使用/029
- ❖重点串联/030

❖知识链接/030

❖拓展与实训/030

✱职业能力训练/030

✱工程模拟训练/032

✱链接执考/032

模块3 角度测量

▮模块概述/033

▮知识目标/033

▮技能目标/033

▮学习重点/033

▮课时建议/033

▮工程导入/034

3.1 经纬仪的认识与使用/034

3.1.1 水平角和竖直角测量原理/034

3.1.2 光学经纬仪的认识与使用(J2、J6)/035

3.1.3 电子经纬仪(全站仪)简介/043

3.2 角度测量/048

3.2.1 水平角的测量与记录/048

3.2.2 竖直角的测量与记录/051

3.2.3 角度测量的误差分析及注意事项/054

3.2.4 经纬仪的检验与校正/056

❖重点串联/060

❖知识链接/061

❖拓展与实训/061

✱职业能力训练/061

✱工程模拟训练/062

✱链接执考/062

模块4 距离测量与直线定向

▮模块概述/064

▮知识目标/064

▮技能目标/064

▮学习重点/064

▮课时建议/064

▮工程导入/065

4.1 距离测量的方法/065

4.1.1 钢尺量距/065

4.1.2 测距仪量距/070

4.2 直线定向/073

4.2.1 直线定向/073

4.2.2 标准方向的种类/073

4.3 全站仪的构造与操作/076

4.3.1 全站仪的基本构造/076

4.3.2 全站仪的基本操作方法/079

4.3.3 全站仪角度测量、距离测量/079

❖重点串联/080

❖知识链接/080

❖拓展与实训/082

✱职业能力训练/082

✱工程模拟训练/083

✱链接执考/083

模块5 测量误差基本知识

▮模块概述/085

▮知识目标/085

▮技能目标/085

▮学习重点/085

▮课时建议/085

▮工程导入/086

5.1 测量误差的分类/086

5.1.1 观测及观测误差/086

5.1.2 观测误差的来源/086

5.1.3 观测误差的分类及其处理方法/087

5.2 算术平均值/089

5.2.1 算术平均值/089

5.2.2 由观测值改正数计算观测值中误差/089

5.2.3 算术平均值的中误差/089

5.3 评定观测值精度的标准/089

5.3.1 中误差/089

5.3.2 相对中误差/090

5.3.3 极限误差/090

5.4 观测值的精度评定/091

5.4.1 用真误差计算观测值的中误差/091

5.4.2 用最或然误差计算观测值的中误差/091

- ❖ 重点串联/092
- ❖ 知识链接/093
- ❖ 拓展与实训/094
 - ✱ 职业能力训练/094
 - ✱ 链接执考/094

模块6 控制测量

- 📖 模块概述/096
- 📖 知识目标/096
- 📖 技能目标/096
- 📖 学习重点/096
- 📖 课时建议/096
- 📖 工程导入/097

- 6.1 控制测量概述/097
 - 6.1.1 平面控制测量/097
 - 6.1.2 高程控制测量/097
- 6.2 导线测量/098
 - 6.2.1 导线测量布设形式/098
 - 6.2.2 导线测量外业工作/099
 - 6.2.3 导线测量内业工作/101
- 6.3 高程控制测量/107
 - 6.3.1 三、四等水准测量/107
 - 6.3.2 三角高程测量/109
- 6.4 GPS 控制测量简介/110
 - 6.4.1 GPS 系统构成/110
 - 6.4.2 GPS RTK 测量方法/111
 - 6.4.3 GPS 控制测量/112
- ❖ 重点串联/113
- ❖ 拓展与实训/113
 - ✱ 职业能力训练/113
 - ✱ 工程模拟训练/114
 - ✱ 链接执考/114

模块7 地形图的测绘及应用

- 📖 模块概述/115
- 📖 知识目标/115
- 📖 技能目标/115

- 📖 学习重点/115
- 📖 课时建议/115
- 📖 工程导入/116

- 7.1 地形图的测绘/116
 - 7.1.1 概述/116
 - 7.1.2 地物和地貌在图上的表示方法/116
 - 7.1.3 测图前的准备工作/120
 - 7.1.4 地形图的测绘/121
- 7.2 地形图应用的基本内容/122
- 7.3 地理信息系统(GIS)简介/127
 - 7.3.1 GIS 的组成部分/127
 - 7.3.2 GIS 功能/127
 - 7.3.3 GIS 的应用领域/129
 - 7.3.4 GIS 的相关技术/130
 - 7.3.5 GIS 常用软件/130
 - 7.3.6 GIS 的发展应用/130

- ❖ 重点串联/131
- ❖ 拓展与实训/132
 - ✱ 职业能力训练/132
 - ✱ 工程模拟训练/132
 - ✱ 链接执考/132

模块8 建筑工程测量

- 📖 模块概述/133
- 📖 知识目标/133
- 📖 技能目标/133
- 📖 学习重点/133
- 📖 课时建议/133
- 📖 工程导入/134

- 8.1 建筑施工测量的基本工作/134
 - 8.1.1 建筑施工测量的准备工作/134
 - 8.1.2 平面点位测设的方法/135
 - 8.1.3 高程测设的方法/139
 - 8.1.4 归化法测设点位/142
- 8.2 建筑施工测量/144
 - 8.2.1 建筑物主轴線定位放样/144
 - 8.2.2 建筑物细部轴线定位放样/146
 - 8.2.3 建筑物高程竖向传递/148

- 8.2.4 高层建筑物轴线竖向投测/151
- 8.2.5 设计坡度的测设/154
- 8.3 圆曲线的测设/155
 - 8.3.1 圆曲线的主点要素的计算/155
 - 8.3.2 圆曲线的主点测设/156
 - 8.3.3 圆曲线的细部测设/157
- 8.4 安装工程测量/163
 - 8.4.1 工业厂房预制构件安装测量/163
 - 8.4.2 钢结构安装测量/167
 - 8.4.3 建筑装饰工程施工测量/171
- ❖重点串联/173
- ❖知识链接/173
- ❖拓展与实训/173
 - ✱职业能力训练/173
 - ✱工程模拟训练/174
 - ✱链接执考/174

模块9 建筑场地平整测量

- 模块概述/176
- 知识目标/176
- 技能目标/176
- 学习重点/176
- 课时建议/176
- 工程导入/177
- 9.1 建筑施工场地方格网测设/177
 - 9.1.1 主轴线测设/177
 - 9.1.2 方格网测设/178
 - 9.1.3 方格点高程测量/178
- 9.2 设计高程计算/179
 - 9.2.1 设计高程计算/180
 - 9.2.2 填挖分界线测设/181
- 9.3 土方工程量计算/182
 - 9.3.1 方格网法/182
 - 9.3.2 等高线法/183

- 9.3.3 断面法/184
- ❖重点串联/187
- ❖知识链接/187
- ❖拓展与实训/188
 - ✱职业能力训练/188
 - ✱工程模拟训练/189
 - ✱链接执考/189

模块10 建筑物变形测量与竣工测量

- 模块概述/190
- 知识目标/190
- 技能目标/190
- 学习重点/190
- 课时建议/190
- 工程导入/191
- 10.1 变形基准网测量/191
 - 10.1.1 平面变形测量基准网/192
 - 10.1.2 沉降观测基准网/192
- 10.2 变形测量/194
 - 10.2.1 平面变形测量/194
 - 10.2.2 沉降观测/198
- 10.3 建筑物竣工测量/202
 - 10.3.1 概述/202
 - 10.3.2 竣工测量一般规定/202
 - 10.3.3 竣工测量控制点要求/203
 - 10.3.4 建(构)筑物工程竣工测量/204
 - 10.3.5 竣工测量与地形测量的区别/205
- ❖重点串联/206
- ❖拓展与实训/206
 - ✱职业能力训练/206
 - ✱工程模拟训练/206
- 附录/208
- 参考文献/214

绪论

测量亦称测绘,是指对自然地理要素或者地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等进行测定、采集、表述以及对获取的数据、信息、成果进行分析和处理的活动。基础测绘是指建立全国统一的测绘基准和测绘系统,进行基础航空摄影,获取基础地理信息的遥感资料,测制和更新国家基本比例尺地图、影像图和数字化产品,建立、更新基础地理信息系统。



1.1 测量学的任务及其在工程建设中的作用

根据研究的对象、内容、方法及设备的不同,测量学科形成若干个分支。

1.1.1 测量学的学科分类

1. 大地测量学

大地测量学是指研究地球整体形状、大小及重力场,探索其运动状态和变化规律,解决地球整体或大区域内精密测量的学科。根据测量设备、方法和手段的不同,大地测量学又可划分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

2. 地形测量学

地形测量学是指研究地球表面局部地区的形状,解决小区域内的地形图测绘的理论、设备和方法的学科。

3. 遥感摄影测量学

遥感摄影测量学是指通过摄影图像和遥感信息图片来测定地面物体的形状及空间位置并调制成图的学科。根据获得信息和图像方式的不同,又可划分为立体摄影测量学和航天、航空摄影测量学。近年来,遥感技术的发展和电子计算机在测量中的广泛应用,使得遥感摄影测量学的研究对象和摄影方式更加多样化,不仅仅局限于固态、静态的对象,液态、气态及动态的对象也可以通过摄影测量的方法进行研究。

4. 工程测量学

工程测量学是指主要研究工程建设在规划、设计、施工和运行管理各阶段的有关测量技术方法和理论的学科。

5. 地图制图学与地理信息系统

地图制图学与地理信息系统主要研究用地图图形科学地、抽象概括地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系及其动态变化,并对空间信息进行获取、抽象、存储、管理、分析、护理、可视化及其应用的一门科学与技术,它为地学、土地科学与管理、资源环境、城市规划与管理、国防军事等学科与应用提供技术支撑,为国民经济各部门的预测、规划与决策提供科学依据,为解决当今人口、资源、环境与社会经济的可持续发展问题和对策的制定服务。

本教材属于普通测量学范畴。普通测量学以地形测量学为基础,增加了一些工程测量学的简单基础知识,是为了满足各行各业对测绘技术的需求而建立的一门科学。近年来由于测绘手段的改变,测量和绘图不再分离,而是逐步一体化,尤其是地理信息系统的兴起,为普通测量学注入了新的内容。

1.1.2 普通测量学的任务

普通测量学的任务主要有以下 3 个方面:

1. 测绘

测绘是指正确使用测量仪器和工具,按照一定的测量方法和手段,将地球表面局部地区的形状和大小缩绘成图,为各项工程规划、设计提供技术资料。

2. 测设

测设是指将图纸上规划、设计好的建筑物或构筑物的位置,采用测量仪器和工具按照一定的测量方法在地面上准确地确定下来,以便进行施工,因此,测设又常称为施工放样。

3. 用图

用图是指使用图纸,利用图纸进行地形分析并在图纸上规划、设计建筑物或构筑物等工程。

1.1.3 测量学在工程建设中的作用

测量学应用范围很广,在现代化建设中,测绘技术、图纸及资料都发挥着重要的作用。在国防建设方面,诸如国界线的划分,导弹、卫星基地建设及飞行轨道的监测与控制,各项国防工程的建设,战略部署、战役指挥、人员、火力安排等都离不开精确的地形图和测量工作。

在科学研究方面,诸如空间科学技术研究、地球整体形状和大小、地球板块运动、地壳升降变化、海岸线变迁、地极周期性变化、地震预报等都离不开测量工作及其所提供的技术资料。

在工程建设方面,各项工程建设过程的始末都离不开测量工作及其所提供的技术资料。例如在某河道上修建一座水库,在规划设计阶段,需要坝址上的全部地形资料,以便进行水文水力计算、地质勘探、经济调查、工程预算等工作;坝址选定后,则需要坝址附近的大比例尺地形图,以便进行土石方量计算、工程经费计算、水工建筑物布置等;工程施工前则需要将图纸上设计好的建筑物在地面上确定下来,以便进行施工;在施工过程中要随时进行测量,以确保工程的质量;大坝建成后还要进行检查、验收和质量评定,同样需要进行测量工作;在大坝运行过程中,为了确保大坝的安全,还要随时进行大坝变形测量。

在农业生产中,诸如土地资源调查、土地利用规划、地籍管理、森林资源调查与管理、果园规划、农田水利规划、城乡建设规划、道路规划及土地平整等都需要进行测量工作或需要由测量所提供的地形资料和技术资料。

1.1.4 现代测量科学发展概况

我国是一个文明古国,测量工作有着悠久的历史,早在两三千年的殷周时代就有了测量工作。随着现代科学技术日新月异的变化,测绘科学也得到了迅速的发展,从测量仪器设备、测量方

法和手段到记录、计算及成图等方面均发生了突破性变化。

20 世纪 60 年代电磁波测距技术的兴起,使得测量仪器发生了突破性的变化。利用激光、红外光测距,可以进行全天候观测。工程中使用的中、短程红外光测距仪已达到很高的精度。激光测量仪可以提供铅垂、水平及任意角度激光束,被广泛应用于高层建筑物的铅垂度控制、水平控制和曲线工程控制,以保证工程质量,提高测量速度。采用电子经纬仪、全站仪,能在野外采集数据,自动计算出点的坐标及高程,与电子计算机相配合可以自动成图,不仅大大减轻了内业计算和外业测图的工作量,而且使成图方法及手段发生了根本性变化。

在摄影测量方面,随着航天、航空摄影的发展,大部分工作转到室内,配合电子计算机可实现航测成图机械化、自动化,提高了成图速度和质量。近年来,航测数字测图在大比例尺地形图应用上取得了良好效果,其精度已能满足测图规范的要求,并能以数字化方式进行保存,具有广泛的应用前景。

电子计算机的应用使得测量工作发生巨大变革。利用计算机进行大量数据的严密平差,既迅速又准确,解决了繁重的计算问题。利用计算机配合立体量测仪可进行航片自动化成图。利用计算机对全站仪在野外采集的数据进行处理,可自动成图,并存储地形图、地籍图及其他各类图纸,不仅体积小,而且使用方便,可以随意进行放大和缩小,减少了制版、印刷等复杂的程序,提高了成图的速度和质量。

20 世纪 80 年代全球定位系统 (Global Positioning System, GPS) 的出现,不仅使导航技术取得了很大的进展,而且对大地测量的发展也产生了深远的影响。利用全球定位系统不仅可以在较短的时间内以较高的精度进行大地定位测量,而且测站间不需要互相通视,因而使得大地测量的布网方案、作业手段和操作系统发生了根本性的变化,目前已广泛应用于改造旧网和建立新的城市控制网。预计随着测绘技术的发展和仪器性能的改进,不久的将来 GPS 将取代常规仪器进行测图和放样,扫描测量、航测自动三维成图将成为测图的主要方式。



1.2 地球的形状与大小

测量工作是在地球表面进行的,因此必须了解地球的形状与大小。地球的自然表面为一个起伏不平的不规则曲面,其中 71% 被海洋覆盖,陆地面积仅占 29%。若以平均海水面为准,陆地的最高处——我国与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰,高达 8 844.43 m。海底最深处——太平洋西部的马里亚纳海沟,深达 11 022 m。然而,这样的高山深谷在庞大的地球表面上却又是微不足道的。如果将它们和地球半径相比,它们分别仅占地球半径的 $\frac{1}{720}$ 和 $\frac{1}{578}$ 。因此,我们在宏观上可以忽略这样的起伏,用一个向陆地内部延伸的静止海水面所包围的形体来表示地球的形状。这种静止的海水面称为水准面。随着静止海水面的高度不同,水准面可以有无数个。其中,与平均海水面一致的那个称为大地水准面。

水准面的特征是处处与铅垂线垂直,即与重力方向垂直,而重力是地球引力与离心力的合力。由于地球引力与其内部物质的密度有关,随着地球各处内部物质的密度不同,其引力也不相等,因此,导致各处重力方向的不规则性,而与重力方向垂直的大地水准面也就成为一个无法用数学公式表达的不规则曲面。这给实际应用带来了困难。为此,人们采用一个与大地水准面非常接近的旋转椭圆体作为地球形体,供作测量、制图的依据。这种旋转椭圆体称为参考椭圆体。如图 1.1 所示,参考椭圆体由长半径 a 、短半径 b 构成的椭圆绕短轴 PP_1 旋转而成。各国测量工作者曾多次对参考椭圆

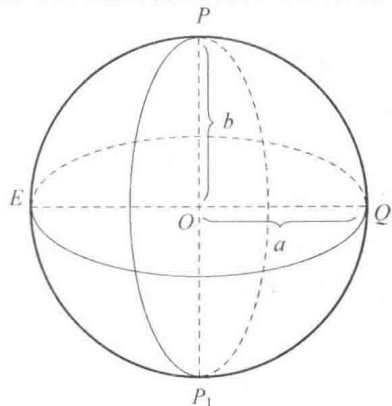


图 1.1 参考椭圆体

体的基本元素进行了测量与计算。目前，我国采用的参考椭圆体的基本元素为

长半径	$a=6\,378.245\text{ km}$
短半径	$b=6\,356.863\text{ km}$
扁率	$\alpha=\frac{a-b}{a}=\frac{1}{298.3}$

由于参考椭圆体的扁率很小，在普通测量范围内可将它看作圆球，其半径为

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



1.3 地面点位的表示方法

测量工作的实质就是测定地面点的位置，而地面点的位置是由 3 个量来确定的，其中 2 个量为地理坐标的经度 λ 与纬度 φ ，或平面直角坐标的纵坐标 X 与横坐标 Y ，第三个量为高程。

1.3.1 地理坐标

地面点在球面上的绝对位置是用地理坐标，即经度与纬度来表示的。

在图 1.2 中，NS 为地球自转轴， P 为任一地面点。过点 P 及 NS 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，即经线。以通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面为首子午面，首子午面与过点 P 子午面间的夹角即为点 P 的经度，以 λ 表示。经度自首子午面向东计，由 0° 至 180° ，称为东经；自首子午面向西计，由 0° 至 180° ，称为西经。因此，在经度前必须冠以“东经”或“西经”字样。同一经线上各点的经度相等。

过地球中心 O 所作垂直于自转轴 NS 的平面称为赤道面，它与地球表面的交线，称为赤道。与赤道面平行的平面与地球表面的交线，称为纬线。赤道面为纬度的起算面。点 P 的法线 PO 与赤道面的夹角，即为点 P 的纬度，以 φ 表示。纬度自赤道面向北计，由 0° 至 90° ，称为北纬。自赤道面向南计，由 0° 至 90° ，称为南纬。因此，在纬度前必须冠以“北纬”或“南纬”字样。同一纬线上各点的纬度相等。

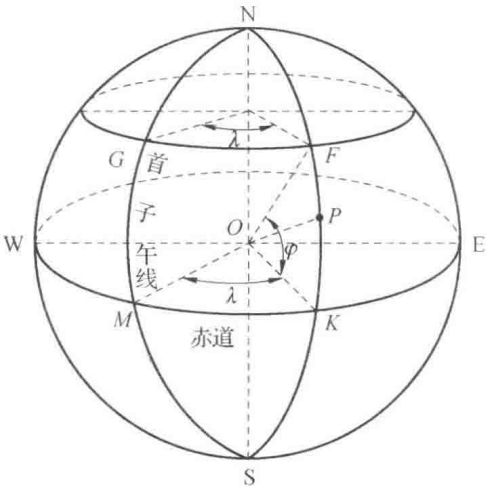


图 1.2 地理坐标

1.3.2 平面直角坐标

在普通测量中，地面点在平面上的相对位置是用平面直角坐标表示的。和数学中相仿，测量中的平面直角坐标系也是由相互垂直的两坐标轴组成的，两轴的交点为坐标原点，两轴将圆周分为四个象限。由于测量中表示方向的角度是按顺时针方向计算的，因此测量中的象限顺序，也按顺时针方向排列，这与数学中相反。同时，两坐标轴的名称也与数学相反，以纵轴为 X ，横轴为 Y （图 1.3）。这样，三角公式就可以不加任何改变地应用于测量计算中。

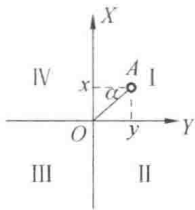


图 1.3 平面直角坐标系

任一地面点 A 的平面位置，可由该点至纵、横坐标轴的垂距 x 、 y 来确定。

通常坐标纵轴 X 指向南北。以坐标原点为准，令纵轴指北为正、指南为负，横轴指东为正、指西为负。

1.3.3 高程

高程的表示方法有两种：绝对高程与相对高程。

地面点至大地水准面的铅垂距离，称为绝对高程或海拔，如图 1.4 中 H_A 、 H_B 。绝对高程可使全国处于统一的高程系统中。我国规定以青岛验潮站求得的 1956 年黄海平均海水面为全国的高程起算面。所以，我国的统一高程系统称为 1956 年黄海高程系。

地面点至任一假定水准面的铅垂距离，称为相对高程或假定高程，如图 1.4 中 H'_A 、 H'_B 。相对高程只适用于局部地区。

两地面点的高程之差，称为高差，即分别通过该两点至水准面的铅垂距离之差。图 1.4 中，A、B 两点间的高差为

$$h = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

由上式可见，A、B 两点高程的大小不同，高差值可正可负。

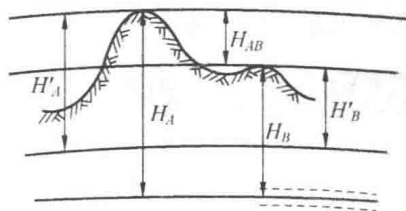
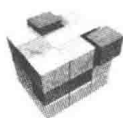


图 1.4 地面点的高程和高差



1.4 用水平面代替水准面的限度

如前所述，在普通测量范围内，可以将大地水准面看作球面。但是，在实际工作中，当测区面积不大时，往往以直接水平面代替水准面，即把很小一部分地球表面上的点投影定其位置。这必然要产生误差。然而，这种误差在测量与制图中的影响很小，可以忽略不计。下面首先探讨用水平面代替水准面对距离和高程的影响，进而用水平面代替水准面的限度。

1.4.1 对距离的影响

图 1.5 中，A、B 为地面点，它们在大地上水准面上的投影分别为 a 、 b 。若过点 a 作大地水准面的切平面，即得过点 a 的水平面。A、B 在水平面上的投影分别为 a' 、 b' 。显然，A、B 两点在大地水准面上投影的距离为 $\widehat{ab}$ ，与在水平面上投影的距离 ab' 是不相等的。设 $\widehat{ab}$ 为 D ， ab' 为 D' ，其差值 Δd 即为用水平面代替水准面的距离误差，则

$$\Delta d = D' - D = R \tan \theta - R\theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1.1)$$

因
$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$$

由于 θ 角很小，故仅取前两项代入式 (1.1)，则

$$\Delta d = R(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta) = \frac{1}{3}R\theta^3 \quad (1.2)$$

而
$$\theta = \frac{D}{R}$$

故
$$\Delta d = \frac{D^3}{3R^2}$$

以地球半径 $R = 6371 \text{ km}$ 和不同的距离 D 代入上式，可得表 1.1 的结果。

表 1.1 用水平面代替水准面对距离的影响

D/km	10	25	50	100
$\Delta d/\text{cm}$	1.0	12.8	102.0	814.0

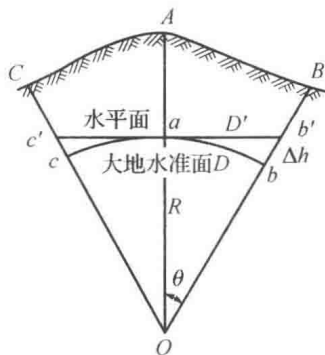


图 1.5 用水平面代替水准面的限度

由表 1.1 可见, 当距离为 10 km 时, 其误差仅为 1 cm。这样的误差, 即使是最精密的测量工作也是容许的。因此, 在地面上半径为 10 km 的范围内, 用水平面代替水准面所产生的距离误差对测量结果没有实际影响。在一般测量工作中, 即使在半径为 25 km 的范围内, 用水平面代替水准面的距离误差也可忽略不计。

1.4.2 对高程的影响

图 1.5 中, 点 B 的高程应为点 B 与大地水准面的垂距 Bb。若用水平面代替水准面, 则点 B 高程变为 Bb', 二者之差 Δh 即为用水平面代替水准面的高程误差。

$$\Delta h = Bb - Bb' = Ob' - Ob = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \quad (1.3)$$

因
$$\sec \theta = 1 + \frac{\theta^2}{2} + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$$

由于 θ 很小, 故取其前两项代入式 (1.3), 顾及 $\theta = \frac{D}{R}$, 得

$$\Delta h = R \left(1 + \frac{\theta^2}{2} - 1 \right) = \frac{1}{2} R \theta^2 = \frac{D^2}{2R} \quad (1.4)$$

以 $R = 6\,371\text{ km}$ 和不同的 D 值代入式 (1.4), 所得结果列于表 1.2。

表 1.2 用水平面代替水准面对高程的影响

D/km	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h/\text{cm}$	0.078	0.31	2	8	31	71	125	196

由表 1.2 可见, 用水平面代替水准面对高程的影响是很大的。当距离为 200 m 时, 高程误差为 0.31 cm。这样的误差, 即使在一般的高程测量中, 也是不容忽视的。因此, 在高程测量时, 即使距离不大, 也应顾及地球曲率对高程的影响。

1.4.3 测量的基本原则

为了将整个测区的地物和地貌正确地测绘在图纸上, 防止测量误差的积累, 确保测量精度, 测量工作必须按照下列程序进行:

首先, 在整个测区内, 按一定的密度, 选定一些具有控制意义的地面点, 作为全面测量的依据。这些点称为控制点, 如图 1.6 中 A、B、C、D、E 点。控制点的位置, 必须采用精密的仪器和方法测定, 使它具有较高等级的精确程度, 以保证下一步工作的顺利进行。这部分测量工作, 称为控制测量。

各控制点在图上的位置确定后, 即可依次在每个控制点上安置仪器, 以较低级的精度测绘其周围的地物和地貌, 直至测完整个测区。这部分测量工作, 称为碎部测量。

由此可见, 贯穿整个测量工作的基本原则是: 工作范围上“由整体到局部”; 工作性质上“由控制到碎部”; 精度要求上“由高级到低级”。

测量工作还有外业与内业之分。在测区内进行的实地勘察、选择控制点以及测定距离、角度和高程等工作, 称为外业。根据野外测量的成果, 在室内进行整理、计算和绘图等工作, 称为内业。

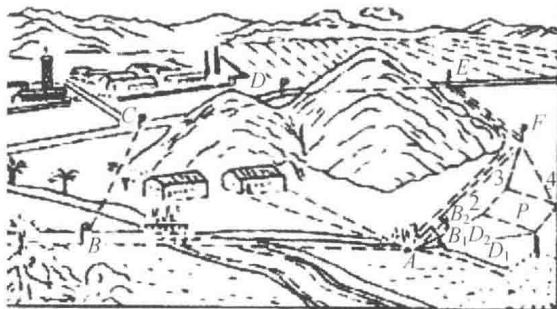


图 1.6 控制测量与碎部测量