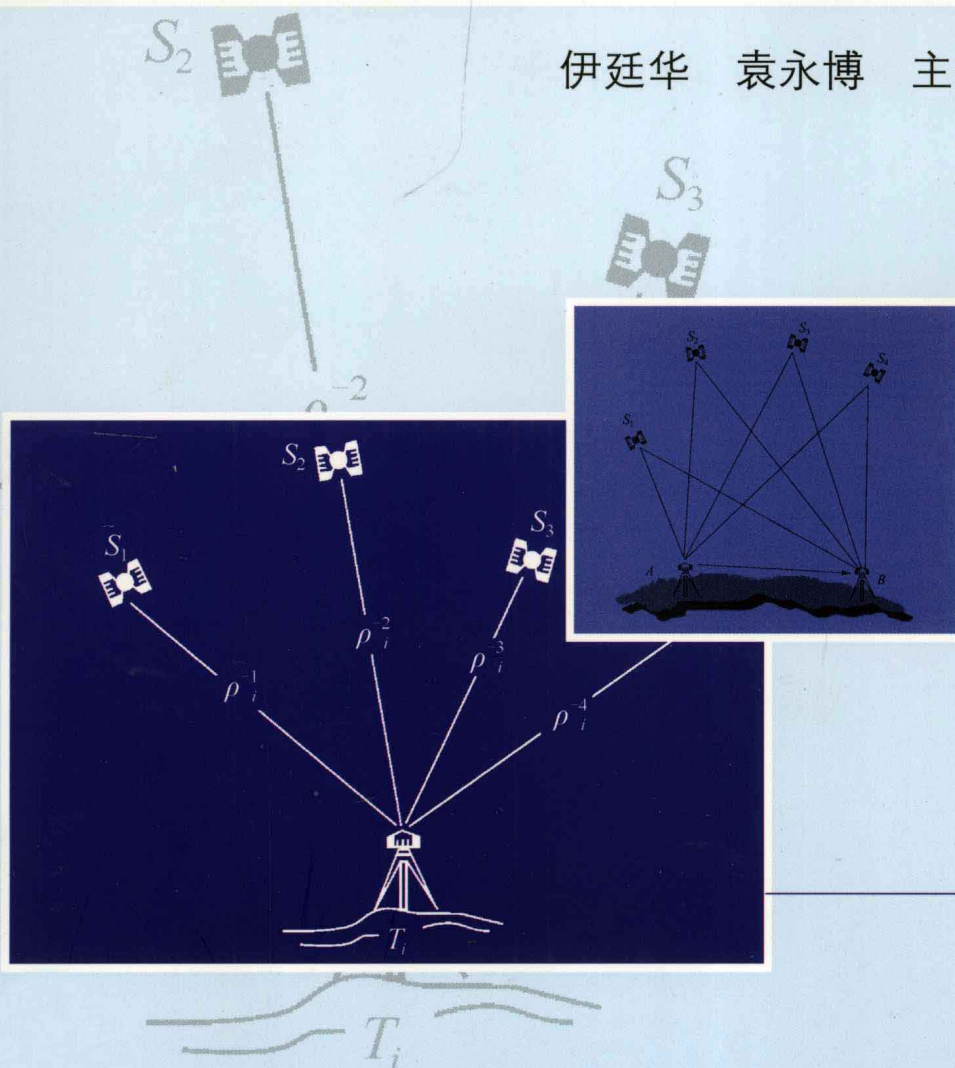


高等院校土木工程专业辅导用书

测量学知识要点及实例解析

伊廷华 袁永博 主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学知识要点及实例解析/伊廷华, 袁永博主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012. 7
(高等院校土木工程专业辅导用书)
ISBN 978-7-112-14389-4

I. ①测… II. ①伊…②袁… III. ①测量学-高等学校-
教学参考资料 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 115255 号

本教学参考书以非测量专业的测量学教学大纲为基础, 内容涵盖了测量学的发展、地面点定位方法、测量数据的误差及精度分析、基本元素的采集、坐标测量、小区域控制测量、地形图基本知识、大比例地形图测绘方法、地形图的应用、工程放样方法、工程施工测量等内容的基本知识点、典型例题解析和课后习题精练。

本书可作为高等学校土建、市政、规划、交通、水利等专业的测量学配套教材, 供课堂教学和课后复习使用, 也可作为相关工程技术人员参考用书。

* * *

责任编辑: 刘婷婷

责任设计: 李志立

责任校对: 张颖 王雪竹

高等院校土木工程专业辅导用书
测量学知识要点及实例解析
伊廷华 袁永博 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8½ 字数: 201 千字
2012 年 8 月第一版 2012 年 8 月第一次印刷

定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-14389-4
(22461)

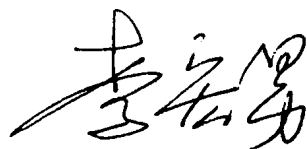
版权所有 翻印必究
如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

序

测量学是土木水利工程类专业一门必修的专业基础课，其教学内容体系已延续了多年，随着高校专业目录调整后宽口径人才培养模式的提出和以“3S”为代表的现代测量科学技术的不断进步，测量学课程的地位、作用和内容体系的重点都发生了巨大变化。另一方面，随着土木水利工程各专业面的不断拓宽，测量学教学课时被不断压缩，教学内容与学时的矛盾日益突出，致使学生学习测量学时显得有些吃力。为了使學生能够轻松掌握并强化课堂所学理论知识，对测量学的重要知识点进行提炼和梳理，并配以典型例题进行剖析和讲解是十分必要的。

《测量学知识要点及实例解析》这一教学参考书，由大连理工大学建设工程学部两位从事测量学教学工作的主讲教师编写完成，融合了他们多年的教学经验和心得体会，在该书即将付梓之际，我有幸先睹为快。该书借鉴和吸收了类似教材的精华，按照“大土木”本科人才培养目标的要求，紧密围绕教学大纲的重点内容进行编写，形成了较为鲜明的特色：（1）实用性。该书对测量学知识内容的讲解，能够以“必需、够用”为原则，避开了繁琐的公式推导和大篇幅的理论分析，注重阐明基本概念、基本原理和基本方法，更加强调实用性和综合性。（2）层次性。该书对测量学知识点讲解的深度和广度适于非测量学专业本科教学大纲的水平，不偏深、偏难，学生通过对该教材的学习，不但能获得应用基本技术所必需的专业理论，而且能形成持续学习所需的基础理论素质。（3）综合性。该书依据不同章节的特点，在每章知识点讲解的后面都设置了相应的例题剖析和典型习题，突出了应用性，实现了由理论到实践的阶梯式训练。

该书内容循序渐进、脉络清晰，形成了一个相对完整的结构体系；文字叙述简洁规范、通俗易懂，相信可以成为同学们课后学习和考前复习一个好的帮手。



大连理工大学建设工程学部部长
长江学者特聘教授·博士生导师

2012年7月于大连

前 言

教材建设是教学改革的主要环节之一，全面做好教材建设工作，是提高教学质量最重要的根本保证。本教材辅导书是根据高等学校土木水利工程专业指导委员会编制的测量学课程教学大纲的要求，本着培养高素质人才、提高教学质量的目的，结合新形势下土木水利工程学科高等教育的发展趋势，结合作者在多次学术交流、教学研讨、使用修改、反复实践的基础上编写而成。在编写过程中，力求内容重点突出、章节编排合理、理论与应用配合适当；注重强调测量学基础知识、基础理论和基本方法；同时适当地开拓知识面，并注意反映学科前沿的成就、观点和方法；配置的例题和习题主要是为了巩固理论知识、训练学生的解题技巧和提高他们钻研科学的能力。全书共分 11 章。第 1~2 章主要介绍测量学的基本概念、基本理论和空间数据采集方法；第 3 章介绍了测量误差的理论与处理方法；第 4 章重点介绍了测量学的三项基本工作（距离、角度和高差）；第 5 章介绍了当代测绘空间数据采集新设备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 章介绍了地形图的相关知识；第 8 章介绍了大比例尺地形图的基本原理和测绘方法；第 9 章介绍了地形图的阅读和使用方法；第 10 章介绍了工程放样方法；第 11 章介绍了工程施工测量的方法和知识。

本书在编写过程中，学生张杰、王一、王星亮、栾兰和陈金欣做了部分资料的收集和整理工作，是他们的辛勤劳动才使得本辅导书内容丰富、翔实，在此表示衷心的感谢！

本书的出版得到了大连理工大学教材建设出版基金项目（JC201135）、大连理工大学院系大类核心课程建设项目，以及中国建筑工业出版社的大力支持，在此表示衷心感谢！

由于作者水平十分有限，书中难免有疏漏和不足之处，衷心希望读者批评指正。

2012 年 7 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 知识要点	1
1.2 例题解析	2
1.3 思考练习	5
第 2 章 地面点定位方法	6
2.1 知识要点	6
2.2 例题解析	11
2.3 思考练习	14
第 3 章 测量数据的误差及精度分析	16
3.1 知识要点	16
3.2 例题解析	19
3.3 思考练习	28
第 4 章 测量基本元素的采集技术	30
4.1 知识要点	30
4.2 例题解析	41
4.3 思考练习	55
第 5 章 坐标测量	59
5.1 知识要点	59
5.2 例题解析	61
5.3 思考练习	61
第 6 章 小区域控制测量	63
6.1 知识要点	63
6.2 例题解析	68
6.3 思考练习	77
第 7 章 地形图基本知识	79
7.1 知识要点	79
7.2 例题解析	80

7.3 思考练习·····	81
第8章 大比例尺地形图测绘方法 ·····	83
8.1 知识要点·····	83
8.2 例题解析·····	85
8.3 思考练习·····	87
第9章 地形图的应用 ·····	89
9.1 知识要点·····	89
9.2 例题解析·····	92
9.3 思考练习·····	95
第10章 工程放样方法 ·····	99
10.1 知识要点 ·····	99
10.2 例题解析·····	104
10.3 思考练习·····	115
第11章 工程施工测量 ·····	118
11.1 知识要点·····	118
11.2 例题解析·····	119
11.3 思考练习·····	126
参考文献·····	127

第 1 章 绪 论

1.1 知识要点

本章主要介绍测量学研究的实质，主要内容，分类和任务，测量工作的原则和程序，测量技术的发展，测量与工程建设的关系和测绘在土木专业的应用。

测量工作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。

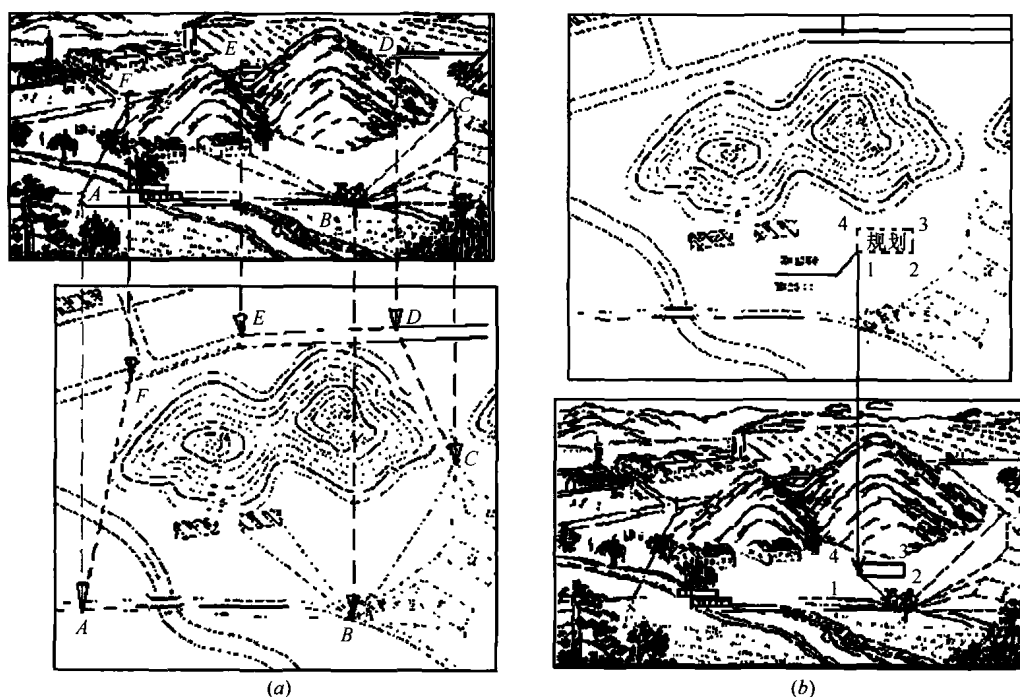


图 1-1 测定与测设的关系

(a) 测定; (b) 测设

在实际测量工作中，为防止测量误差的积累，应遵循的基本原则是，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”，以确保测量成果精

确可靠。

对于土建类专业的学生，通过本课程的学习，应掌握下列有关测定和测设的基本内容：

(1) 地形图测绘。运用各种测量仪器、软件和工具，通过实地测量与计算，把小范围内地面上的地物、地貌按一定的比例尺测绘成图。

(2) 地形图应用。在工程设计中，从地形图上获取设计所需要的资料，例如点的坐标和高程，两点间的水平距离、地块的面积、土方量、地面的坡度、地形的断面和进行地形分析等。

(3) 施工放样。将图上设计的建（构）筑物标定在实地上，作为施工的依据。

(4) 变形观测。监测建（构）筑物的水平位移和垂直沉降，以便采取措施，保证建筑物的安全。

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基本要求：

(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、经纬仪、全站仪等测量仪器的使用；

(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。

1.2 例题解析

1.2.1 名词解释

(1) 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。测量学的主要任务包括测定和测设。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 摄影测量学：是利用摄影成像来研究和测定物体的形状、大小和位置的学科。

(5) 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。

(6) 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。

(7) 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的过程。

(8) 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的过程。

(9) 控制网：由测量控制点组成的几何图形称为控制网。

1.2.2 简答题

(1) 什么是测量学？测定和测设有何区别？

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。

测定——使用测量仪器和工具，通过测量与计算将地物和地貌的位置按一定比例尺、规定的符号缩小绘制成地形图，供科学研究与工程建设规划设计使用。

测设——将在地形图上设计建筑物和构筑物的位置在实地标定出来，作为施工的依据。

(2) 何谓现代测绘学？现代测量技术发展有哪些特点？

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，这些空间数据来源与地球卫星、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。

特点：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。

(3) 测量学科具体分为哪几类？具体定义是什么？

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。

可分为普通测量学、大地测量学、摄影测量学、工程测量学、海洋测量学。

(4) 测量学的任务是什么？

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。

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，包括地表的各种自然形态，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。

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，最终要以地形图的形式反映和展示出来。

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。

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。

(5) 测量工作的实质是什么？测定地面点位的基本观测量是什么？

测量工作的实质是测定地面点的平面位置 (x, y) 与高程 (H)。测定地面点的基本观测是距离、角度和高差。其中距离包括水平距离和斜距，角度包括水平角和竖直角。

(6) 测量记录 and 计算的基本要求是什么？

1) 测量记录的基本要求：原始真实，数字正确，内容完整，字体工整。

2) 测量计算的基本要求：依据正确，方法科学，计算有序，步步校核，结果可靠。

(7) 测量工作的基本原则是什么？

从整体到局部——测量控制网布设时，应按从高等级向低等级的方法布设，先布设上一级网，再布设下一级网；上一级网控制下一级，下一级是上一级的加密。

先控制后碎部——测量地物或地貌特征点三维坐标称为碎部测量，碎部测量应在控制点上安置仪器测量，因此碎部测量之前，应先布设控制网，进行控制测量，测量出控制点的三维坐标。

为了防止测量误差逐级传递，避免误差累积增大到不能容许的程度，要求测量工作遵循在布局上“由整体到局部”，在精度上“由高级到低级”，在次序上“先控制后碎部”的原则，在测量检核上是“步步工作有检核”的原则。

(8) 测绘地形图应遵循什么基本原则？为何必须遵守这些原则？

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”。

遵循“由整体到局部”或“先控制后碎部”的原则，在测量检核上是“步步工作有检核”的原则。

这样做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，加速测图速度，使整个测区连成一个完整实体出图。

(9) 测量工作的基本步骤是什么？

1) 技术设计

技术设计是从技术上可行、实践上可能和经济上合理三方面，对测绘工作进行总体规划，选定出优化方案、安排好实施计划。

2) 控制测量

其任务是先在全国布设高等级平面控制网和高程控制网，测定控制点的平面坐标和高程，作为全国的控制骨架，然后根据国民经济建设的需要，分区、分期进行加密控制测量，作为测量工作的控制基础。

3) 碎部测量或细部测量

在地形图测绘中，决定地形、地貌的特征点称为地形特征点，也称碎部点。碎部测量的任务是测定地貌、地物特征点的平面坐标和高程。特征点的平面坐标和高程是由邻近的控制点确定的，用多个特征点的空间位置，可以真实地描述地物、地貌的空间形态和分布。

细部放样即测设。对于测设，控制测量完成后，即可以进行细部放样。细部放样的任务是将图纸上设计的建（构）筑物的几何元素标定到实地，作为施工依据。

4) 检查和验收测量成果

测量成果必须验收合格后才能交付使用。

以上步骤中，有些工作必须在野外进行，称为外业，主要任务是信息（数据、图像等）采集；有些工作可在室内进行，称为内业，主要任务是信息加工（数据处理和绘图）。

(10) 建筑工程测量的任务是什么？

1) 测绘地形图

按照一定的测量程序，测定一些主要的地面特征点和特征线，根据测图比例尺的要求和国家规定的图式符号，就可将建筑物的形状和大小，地面起伏状态和固定物体，缩小绘制成地形图，这项工作叫做测绘地形图。

2) 建筑物施工放样

根据建筑物的设计图，按设计要求，通过测量的定位放线，将建筑物的平面位置和高

程标定到施工的作业面上，作为施工的依据，这项工作叫做建筑物的施工放样。

1.3 思考练习

- (1) 简述测量学的定义及其任务。
- (2) 测量工作的原则是什么？简述测量工作必须服从这些原则的理由。
- (3) 测定与测设的区别是什么？
- (4) 何谓现代测绘学？现代测量技术发展有哪些特点？

第 2 章 地面点定位方法

2.1 知识要点

本章主要介绍测量的基准面与坐标系，地球曲率对测量工作的影响，简要说明获取地面点空间位置的数学方法，具体方法以后章节会详细讲解，介绍了水下地形点的测量方法。

(1) 测量工作的基准线是铅垂线，基准面是大地水准面，二者之间关系如图 2-1 所示。

(2) 参考椭球面：测量学中把拟合地球总形体的旋转椭球面称为总地球椭球面，把拟合某一区域的旋转椭球面称为参考椭球面，如图 2-2 所示。我国目前采用的是 1980 年国家大地坐标系，由此建立的平面坐标系称为“80 西安坐标”（80 国家大地坐标）。

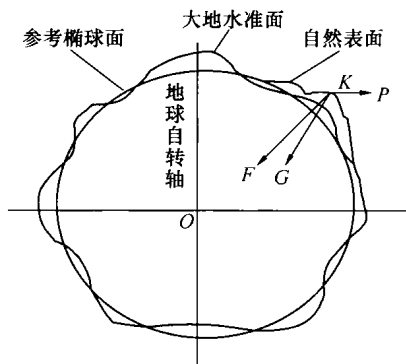


图 2-1 测量工作的基准面和基准线

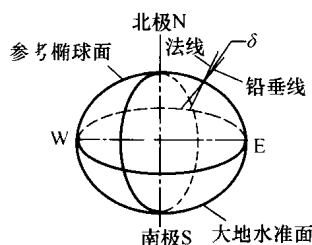


图 2-2 参考椭球面

(3) 我国目前采用的高程基准面为“1985 国家高程基准”，它是根据青岛验潮站 1952~1979 年的观测资料所确定的黄海平均水平面（其高程为零）作为起算面的高程系统。

(4) 地面点坐标系统分为天文地理坐标、大地地理坐标、地心坐标、高斯直角坐标和独立坐标系。

(5) 高斯投影：又称横轴圆柱等角投影。它是想象有一个圆柱面横套在地球椭球体外面，并与某一条子午线（此子午线称为中央子午线或轴子午线）相切，圆柱体的中心轴通过圆柱体中心，然后用一定投影方式，将中央子午线两侧各一定经度范围内的地区投影到圆柱面上，再将此柱面展开即成为投影面。高斯投影的实质是椭圆上微小区域的图形投影到平面上后仍然与原图形相似，即不改变原图形的形状，如图 2-3 所示。

(6) 地面点的高程、相对高程和绝对高程，三种高程之间关系如图 2-4 所示。

1) 高程：地面点沿投影方向（即铅垂方向）到高程基准面的距离称为高程。

2) 绝对高程：地面点至大地水准面的铅垂距离，称为该点的绝对高程或海拔。

3) 相对高程：地面点至假定水准面的铅垂距离，称为该点的相对高程或假定高程。

(7) 6°分带法：为控制由球面正形投影到平面引起的长度变形，高斯投影采取分带投

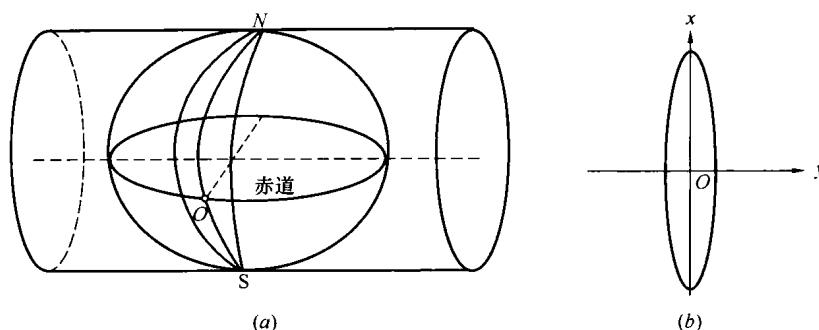


图 2-3 高斯投影示意图

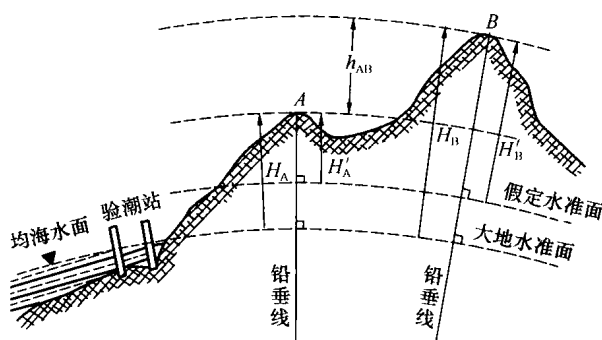


图 2-4 地面点高程

影的方法，使每带区域内的最大变形能够控制在测量精度允许的范围内。通常采取 6° 分带法，即从格林尼治首子午线起经差每隔 6° 划分为一个投影带，由西向东将椭球面等分为 60 带，并依次编排带号 N 。位于各带边上的子午线称为分界子午线，位于各带中央的子午线称为中央子午线。 6° 带中央子午线的经度为 $l_0 = 6N - 3$ ，如图 2-5 所示。

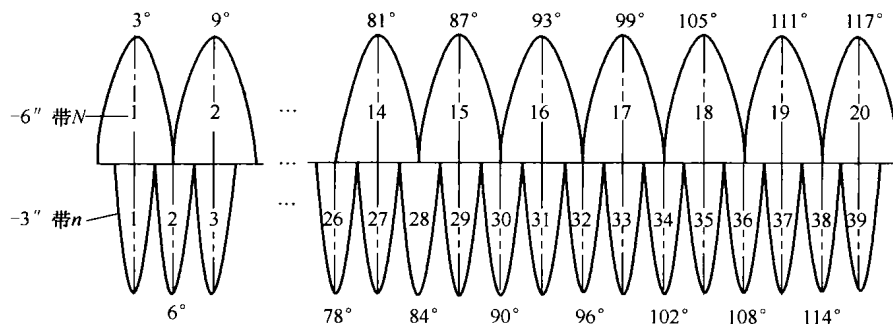


图 2-5 6° 及 3° 分带法

(8) 3° 投影带：从首子午线起，每隔经度 3° 为一带，自西向东将整个地球划分为 120 个投影带，带号从首子午线开始，用阿拉伯数字表示。第一个 3° 带的中央子午线的经度为 0° ，任意带的中央子午线经度 L 与投影带号 N 的关系为： $L=3N$ ，反之，已知地面任一点的经度 L ，要计算该点所在的统一 3° 带的编号为： $N=\text{Int} (L/3+0.5)$ ，其中 Int 为取整函数，如图 2-5 所示。

(9) 地球曲率会对测量工作中点位的距离、高程、角度产生影响，如图 2-6 所示。

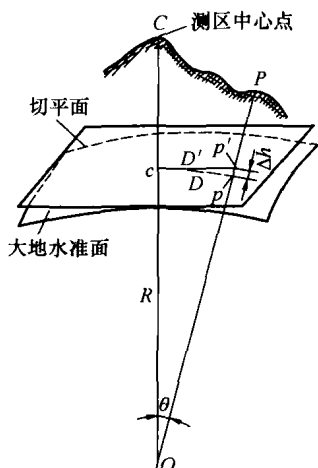


图 2-6 水平面代替曲面误差

1) 对距离测量的影响: 用水平面代替曲面会引起距离测量的误差。由计算得, 在半径为 10km 的范围内可以不考虑地球曲率对水平距离的影响。

2) 对高程测量的影响: 高程误差与距离的平方成正比, 当距离为 1km 时, 高程误差就有 8cm, 这是高程测量不允许的, 故高程测量时, 必须顾及地球曲率的影响。

3) 对角度测量的影响: 由计算得, 一般不考虑地球曲率对角度测量的影响。

(10) 获取点的坐标方法:

1) 极坐标法

如图 2-7 所示, 选取某坐标已知点 O 为极点 (测站点), 其坐标为 (x_0, y_0) , 点 O 与另一互相通视的已知点 A 的连线构成极轴 (或称零方向线), 点 $P(x_p, y_p)$ 为待求点, 则得以测站 O 上求算点 P 的极坐标形式为 $\rho(D, \beta)$, 其中 OP 水平距离 D 和 OA 、 OP 夹角 β 可以通过外业测量获得。为了满足计算机作图的需要, 可把由极坐标形式下采集的测点按 (2-1) 式转换成直角坐标形式。

$$\begin{cases} x = x_0 + D \cos(\alpha_0 + \beta) \\ y = y_0 + D \sin(\alpha_0 + \beta) \end{cases} \quad (2-1)$$

式中, α_0 为在统一测量直角坐标系中极轴 OA 与 x 轴的夹角, 又称为测站零方向线的坐标方位角。

2) 直角坐标法

全站仪和全球定位系统 (GPS) 等新出现的测量仪器可以直接测出地面点位的三维直角坐标。因此, 若使用全站仪或全球定位系统, 确定地面点位的基本工作可简化为直角坐标测量。测量时, 应注意采点时测量坐标系统的选择或定义。

3) 交会法

设 $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ 为坐标已知的且互相通视的地面两点, $P(x_p, y_p)$ 为地面待求的未知点, 可以根据测量设备和观测对象条件选择如下交会法:

(a) 角度交会法

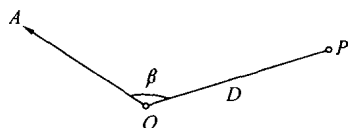


图 2-7 极坐标法

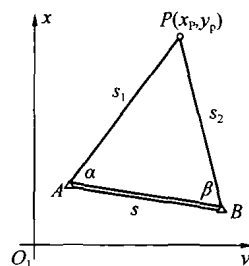


图 2-8 角度 (边角) 交会

如图 2-8 所示, 在已知控制点 A 、 B 上, 由经纬仪分别瞄准点 P , 并测出 $\angle PAB$ 和 $\angle PBA$ 的水平角 α 、 β , 则按前方交会公式 (2-2) 得点 P 坐标为

$$\begin{cases} x_p = \frac{x_A \cot \beta + x_B \cot \alpha + \Delta y_{AB}}{\cot \alpha + \cot \beta} \\ y_p = \frac{y_A \cot \beta + y_B \cot \alpha + \Delta x_{AB}}{\cot \alpha + \cot \beta} \end{cases} \quad (2-2)$$

角度交会法适用于高耸建筑物及人难以到达的地方，如电视塔、烟囱等点位的测量。

(b) 距离交会法

距离交会法适用于全站仪作业或场地平整、量距短的钢尺作业。如图 2-9 所示，已知 AB 水平距离为 s ，测得 AP 、 BP 水平距离分别为 s_1 、 s_2 ，则利用距离交会公式 (2-3)，可以获得点 P 坐标。

$$\begin{cases} x_p = x_A + \frac{q\Delta x_{AB} + h\Delta y_{AB}}{s} \\ y_p = y_A + \frac{q\Delta y_{AB} + h\Delta x_{AB}}{s} \end{cases} \quad (2-3)$$

式 (2-3) 中 $q = \frac{s^2 + s_1^2 - s_2^2}{2s}$ ， $h = \pm\sqrt{s_1^2 - q^2}$ ，(当 $\triangle APB$ 顺时针编号时取正，反之取负)。

(c) 边角交会法

如图 2-8 所示，已知 AB 水平距离为 s ，若观测 AP 边的水平距离为 s_1 ， $\angle PAB$ 的水平角为 α ，则按正弦定理可以推出 β 大小，如式 (2-4) 所示。

$$\beta = \operatorname{arccot} \frac{s - s_1 \cos \alpha}{s_1 \sin \alpha} \quad (2-4)$$

然后代入式 (2-2) 即可求出点 P 的平面坐标。

边角交会法形式多样、灵活，在工程实践中经常用到。

4) 摄影测量法

摄影测量法是利用影像点坐标 (x, y) 和相机的相关参数，通过一定的数学手段，将其转换成大地坐标 (X, Y, Z) 的方法，如式 (2-5) 所示。近些年，随着遥感技术的发展和 GIS 地理信息系统建设的需要，以数字摄影测量技术为代表的影像坐标解算方法已成为获取地面点坐标的主要手段。

$$\begin{cases} X = f_1(x, y) \\ Y = f_2(x, y) \\ Z = f_3(x, y) \end{cases} \quad (2-5)$$

式 (2-6) 就是摄影测量中描述两种坐标关系的基本数学模型，或称共线方程。

$$\begin{cases} x - x_0 = -f \frac{a_1(X - X_0) + b_1(Y - Y_0) + c_1(Z - Z_0)}{a_3(X - X_0) + b_3(Y - Y_0) + c_3(Z - Z_0)} \\ y - y_0 = -f \frac{a_2(X - X_0) + b_2(Y - Y_0) + c_2(Z - Z_0)}{a_3(X - X_0) + b_3(Y - Y_0) + c_3(Z - Z_0)} \end{cases} \quad (2-6)$$

式中 f ——摄影机焦距；

(x_0, y_0) ——像片主点坐标；

$\{a_1 \ b_1 \ c_1\}$ ——与像片空间定向元素有关的系数矩阵；

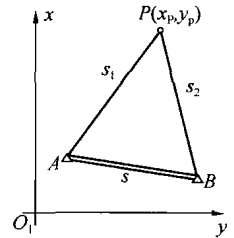


图 2-9 距离交会法

$\{X_0 \ Y_0 \ Z_0\}$ ——摄影机中心大地坐标。

(11) 获取点高程的方法：

1) 水平视线法

几何水准测量利用一条水平线（与高程基准面平行）可以间接获取待求点高程，其中以光学视线（包括可见激光）为水平视线的方法，称几何水准法。

几何水准测量是高程测量中精度最高、用途最广、使用最普遍的一种测量方法。如图 2-10 所示，欲得到地面点 A 到点 B 的高差，分别在 A、B 两点竖立水准尺，利用水准仪提供的一条水平视线，截取尺上读数 a 、 b ，则 A、B 两点的高差为

$$h_{AB} = a - b \quad (2-7)$$

式 (2-7) 中，若 $a > b$ ， h_{AB} 为正，表示点 B 高于点 A；若 $a < b$ ， h_{AB} 为负，表示点 B 低于点 A。

若点 A 的高程 H_A 已知，则 a 称为后视读数，点 A 称后视点， b 称为前视读数，点 B 称为前视点。待定点 B 的高程 H_B ，可通过 H_A 和 h_{AB} 由式 (2-8) 求得。

$$\text{即} \quad H_B = H_A + h_{AB} = H_A + (a - b) \quad (2-8)$$

水平视线也可由激光提供，采用这种光源进行水准测量的方法称为激光水准法，主要用于建筑工程和变形监测中。

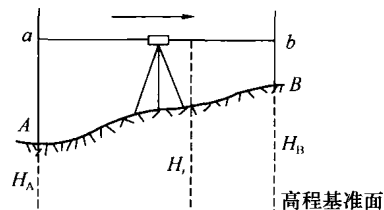


图 2-10 几何水准测量

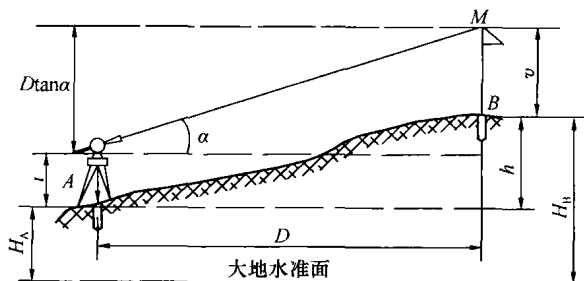


图 2-11 三角高程测量

2) 三角几何法

利用三角函数关系，也可以获取 A、B 两点的高差。三角高程测量是根据两点的水平距离和竖直角，计算两点的高差。如图 2-11 所示，已知点 A 的高程 H_A ，欲测定点 B 的高程 H_B ，可在点 A 安置经纬仪，在点 B 竖立标杆，用望远镜中丝瞄准标杆的顶点，测得竖直角 α ，量出仪器高 i 及标杆高 v ，再根据测量的 AB 之平距 D ，由式 (2-9) 算出 AB 的高差：

$$h = D \tan \alpha + i - v \quad (2-9)$$

结合式 (2-8)，可由式 (2-10) 得到点 B 的高程

$$H_B = H_A + h = H_A + D \tan \alpha + i - v \quad (2-10)$$

高程测量还可借助物理手段，包括气压测高、液体水准测量等。

(12) 水下地形点的测量方法

1) 水位观测及计算公式如式 (2-11) 所示

$$H' = H_0 + a(t) \quad (2-11)$$

2) 水深测量

回声测深仪可以完成水深测量任务，基本原理是，假设声波在水中的传播速度为 v ，在换能器探头加载脉冲声波信号后，声波经探头发射到水底，并由水底反射回来，被探头接收，测得声波信号往返行程所经历的时间为 t ，则

$$h = \frac{1}{2}vt \quad (2-12)$$

式 (2-12) 中， h 是从换能器探头到水底的深度。

利用测深仪可获得换能器到水底的距离 h ，考虑换能器入水深度 h_0 ，如图 2-12 所示，则水下地形点高程：

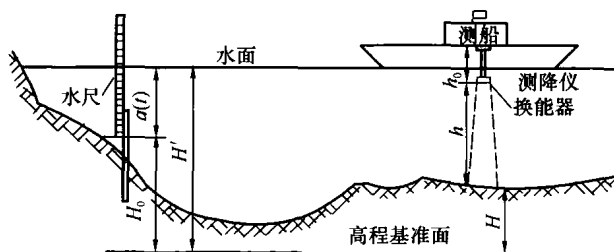


图 2-12 水下高程测量

水下高程测量计算公式如式 (2-13) 所示

$$H = H' - h - h_0 \quad (2-13)$$

3) 平面定位测量

平面测量方法包括断面索法、经纬仪角度前方交会法、微波定位法及 GPS 坐标法等。

2.2 例题解析

2.2.1 名词解释

(1) 水准面：当水处于静止状态时，其表面必然处处与铅垂线垂直，我们称水在静止时的表面为水准面。

(2) 水平面：与水准面相切的平面称为水平面。

(3) 大地水准面：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。

(4) 大地体：大地水准面包裹的地球形体为大地体。

(5) 总地球椭球面：测量学中把拟合地球总形体的旋转椭球面称为总地球椭球面。

(6) 参考椭球面：测量学中把拟合一个区域的旋转椭球面称为参考椭球面。

(7) 子午面：地面点与地球南北极的共面称为过该点的子午面。

(8) 赤道面：通过地心 O 垂直于地球自转轴的平面为赤道面。

(9) 子午线：子午面与地球表面相交的线为子午线。

(10) 赤道：赤道面与地球面相交的线为赤道。

(11) 分界子午线：位于各带边上的子午线，称为分界子午线。

(12) 中央子午线：位于各带中央的子午线，称为中央子午线。

(13) 高程：地面点沿投影方向（即铅垂方向）到高程基准面的距离称为高程。

(14) 绝对高程：地面点至大地水准面的铅垂距离，称为该点的绝对高程或海拔。