

高等职业技术教育规划教材——土木工程类

铁路工程测量

(第二版)

主编 肖 利 王海生

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书共分 4 篇 14 章。第一篇测量基本知识，介绍常规仪器的使用方法，熟悉我国测量的规范和标准，学会运用测量基本理论解决工程实际问题；第二篇简单介绍平面控制测量和工程控制测量的相关知识以及地形图的测绘；第三篇介绍施工测量的几种常规方法，以及在铁路中的应用，并根据高铁测量的实际需要，特增加了高速铁路施工测量这一内容；第四篇主要介绍测量仪器的日常维护以及检验和校正的基本方法。

.....
图书在版编目（C I P）数据

铁路工程测量 / 肖利，王海生主编. —2 版. 成都：西南交通大学出版社，2014.8
高等职业技术教育规划教材. 土木工程类
ISBN 978-7-5643-3319-5

I. ①铁...II. ①肖... ②王... III. ①铁路测量 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①U212.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 191984 号
.....

高等职业技术教育规划教材——土木工程类

铁路工程测量

（第二版）

主编 肖 利 王海生

*

责任编辑 孟苏成

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路 146 号 邮政编码：610031

发行部电话：028-87600564

<http://www.xnjdcbs.com>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸：185 mm×260 mm 印张：15.25
字数：378 千字
2014 年 8 月第 2 版 2014 年 8 月第 3 次印刷
ISBN 978-7-5643-3319-5
定价：29.80 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

《铁路工程测量》

编 委 会

主 编	肖 利	王海生	
参编人员	刘东菊	蒋远兰	王 猛
	雷 雨	王霏涵	尹陈艳
	徐 成	王建明	马 强
	张春艳		
主 审	倪星航		

再版前言

随着科学技术的不断发展，在测量领域中新技术被广泛采用，为了使高职、中职学生面向社会方面有更大的发展余地，测量教材的内容亟待改革更新。《铁路工程测量（第二版）》的编写正是基于此目的。本书是在第一版的基础上，紧密结合当前铁路工程测量最新方法和工程实际修订而成的。本书的系统性、实用性很强，注重深入浅出，理论联系实际，并增加了高速铁路测量相关知识，具有很强的现实性。为便于学生学习、复习、应用及实践，专门针对本书编写了配套的习题与实习指导。本书为高等、中等职业教育教材，也可作为测绘专业及相关专业的基础教材。

本书共分4篇14章。第一章到第六章为第一篇，以测量基本知识为主，分别介绍了常规仪器与全站仪等电子仪器的使用方法，通过对这篇的学习，学生可熟悉我国的测量规范和标准，学会运用测量基本理论解决工程实际问题；第七章与第八章为第二篇，以控制测量为主，简单介绍平面控制测量和高程控制测量以及地形图测绘的相关知识；第九章到第十三章为第三篇，以铁路工程测量知识为主，分别介绍了施工测量的几种常规方法，施工测量在铁路中的应用，根据高铁测量的实际需要，特增加了高速铁路测量这一内容；第十四章为第四篇，主要介绍测量仪器的日常维护以及检验和校正的基本方法。

本书由肖利、王海生主编。第一章、第十一章由刘东菊编写；第二章由蒋远兰、张春艳编写；第三章由王猛编写；第四章、第六章由雷雨编写；第五章由肖利编写；第七章由王霏

涵编写；第八章由尹陈艳编写；第九章由徐成编写；第十章由王建明、张春艳编写；第十二章、第十三章由王海生编写；第十四章由马强编写。全书由中国石油工程设计有限公司西南分公司倪星航工程师主审。

本书在编写过程中参阅了大量的文献，引用了同类书刊中的一些资料，在此，谨向这些文献和资料的作者表示谢意。

本书在编写过程中，得到了西南交通大学出版社、成都铁路工程学校领导的热心帮助和指导，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不妥和疏漏在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2014年6月

目 录

第一篇 测量基础知识和基本工作

第一章	绪 论	1
第一节	测量学的任务、分类及作用	1
第二节	地球的形状和大小	2
第三节	地面点位置的确定	3
第四节	测量工作概述	8
第二章	水准测量	10
第一节	水准测量原理	10
第二节	DS3 水准仪及其使用	12
第三节	水准测量的外业实施	20
第四节	水准测量的内业工作	24
第五节	自动安平水准仪简介	28
第六节	水准测量误差及注意事项	30
第三章	角度测量	36
第一节	角度测量原理	36
第二节	光学经纬仪的构造与使用	37
第三节	水平角的测量方法与记录计算	41
第四节	竖直角测量方法与记录计算	45
第五节	角度测量误差	48
第四章	距离测量	51
第一节	测量距离的仪器工具和方法	51
第二节	钢尺量距的方法	52
第三节	钢尺的检定	57
第四节	钢尺量距的误差分析	58
第五节	直线定向	60
第五章	全站仪测量简介	64
第一节	全站仪的测量原理	64
第二节	全站仪的构造及功能	66

第三节	几种全站仪的基本使用	70
第六章	测量误差的基本知识	86
第一节	测量误差概述	86
第二节	评定精度的指标	89
第三节	最或然值及其中误差	91
第四节	误差传播定律	95

第二篇 控制测量和地形测量

第七章	控制测量	99
第一节	控制测量概述	99
第二节	导线测量	102
第三节	导线测量的内业计算	108
第四节	小三角测量	113
第五节	测角交会定点	118
第六节	高程控制测量	120
第八章	大比例尺地形图的测绘与应用	127
第一节	地形图的基本知识	127
第二节	地物和地貌在地形图上的表示方法	129
第三节	地物和地貌的测绘	135
第四节	地形图的应用	138
第五节	数字地形图测量	143

第三篇 铁路工程测量

第九章	施工测量的基本工作	147
第一节	测设已知水平距离	147
第二节	测设已知水平角	149
第三节	测设已知高程	150
第四节	测设点的平面位置	151
第五节	已知坡度线的测设	154
第十章	线路中线测量	156
第一节	概 述	156
第二节	圆曲线测设	160
第三节	圆曲线的详细测设	163
第四节	圆曲线加缓和曲线及其主点测设	167
第五节	加缓和曲线后曲线的详细测设	173

第六节 虚交与复曲线	176
第七节 坐标计算	179
第十一章 线路纵横断面测量	186
第一节 线路纵断面测量	186
第二节 线路横断面测量	190
第十二章 建筑物的变形监测	194
第一节 概 述	194
第二节 变形监测的精度和频率	194
第三节 垂直位移观测	195
第四节 水平位移观测	201
第五节 挠度与裂缝观测	204
第六节 倾斜观测	205
第七节 变形监测的成果处理	210
第十三章 高速铁路测量概述	214
第一节 概 述	214
第二节 高铁工程独立坐标系	214
第三节 CPIII控制网	215
第四节 CPIII点标志	218
第五节 CPIII所用的测量仪器	220
第四篇 测量仪器的维护和检校	
第十四章 测量仪器的维护与检校	223
第一节 测量仪器的维护	223
第二节 普通测量仪器的检校	225
第三节 全站仪使用的注意事项与维护	230
第四节 电子水准仪的检校与维护	232
参考文献	234

第一篇

测量基础知识和基本工作

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务、分类及作用

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的地形及其他信息测绘成图（含地图和地形图），以及研究地球的形状和大小等的一门科学。

测量学应用范围很广，测量对象由地球表面扩展到空间星球，由静态发展到动态，现按照研究范围和对象的不同，可分为以下几个分支学科：

（1）大地测量学：研究在较大区域或全球建立三维大地控制网、重力网，测定地球形状、大小和地球重力场及其变化的理论、技术和方法的学科，可分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

（2）摄影测量与遥感学：研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的形状、大小和空间位置（影像或数字形式），进行分析处理，绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。

（3）地图制图学：它是研究地图的信息传输、空间认知、投影原理、制图综合和地图的

设计、编制、复制以及建立地图数据库等的理论和技术的学科。

(4) 海洋测绘学：研究海洋定位、测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布，及编制各种海图的理论和技术的学科。

(5) 普通测量学：研究地球表面小范围测绘的基本理论、技术和方法，不顾及地球曲率的影响，把地球局部表面当做平面看待，是测量学的基础。

(6) 工程测量学：研究工程建设和自然资源开发中在勘测设计、施工、竣工和运营管理各个阶段所进行的控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测及建立相应信息系统的理论和技术的学科。其任务概括起来有三个方面：

① 将地球表面或地球表面局部区域的形状和大小测绘成地形图——由实地到图纸(测图或称测定)。

② 将图纸上设计好的工程建筑物，采用一定的仪器和方法标定到实地——由图纸到实地(放样或称测设)。

③ 对正在建设中及竣工后的建筑物，进行定期的形变监测——变形观测。

主要内容有：工程控制网的建立、地形图测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和维修养护测量的理论、技术和方法。

工程测量按工程建设的对象分为：建筑、水利、铁路、公路、桥梁、隧道、矿山、地质、城市、国防工程测量等。

(7) 地籍测绘学：研究调查和测定地籍要素、编制地籍图、建立和管理地籍信息系统的技术的学科。

(8) 测绘仪器学：研制为测绘工作设计制造的数据采集、处理、输出等仪器和装置的学科。

测量技术是了解自然和改造自然的重要手段，也是国民经济建设中一项基础性、前期和超前期的工作，应用十分广泛。它能为城镇规划、市政工程、土地与房地产开发、农业、防灾等领域提供各种比例尺的地形图或专用图等测绘资料，能按照规划设计部门的要求，进行道路规划定线、拨地测量以及各种土木工程的勘察测量，直接为建设工程项目的设计与施工服务；在工程施工过程和运营管理阶段，对高层、大型建（构）筑物进行沉降、位移、倾斜等变形观测，可以确保建（构）筑物的安全，并为建（构）筑物结构和地基基础的研究提供多种可靠的测量数据。所以，测量工作将直接关系到工程的质量和预期效益的实现，是我国现代化建设不可缺少的一项重要工作。

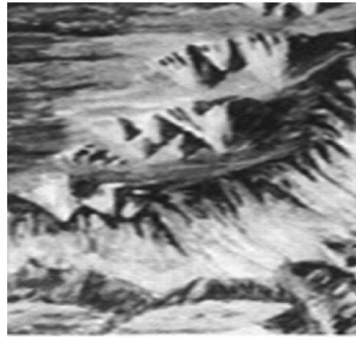
此外，测绘科学在国防建设和科学研究中也发挥着十分重要的作用：军事地图的制作、空间武器和人造卫星的发射，都必须依靠准确和全面的测绘与计算；空间科学技术的研究、地壳的形变、地震预报及地极周期性运动的研究等，都要应用测绘资料。随着测绘科技的发展和新技术的研究开发与应用，各个行业必将得到更多、更好、更及时的信息服务与准确、适用的测绘成果。

第二节 地球的形状和大小

地球表面的构成：71% 是海洋，29% 是陆地，最高峰是珠穆朗玛峰（8 844.43 m），海洋最深处是太平洋西北的马里亚纳海沟（- 11 022 m），如图 1.1 所示。



珠穆朗玛峰 (8 844.43 m)



马里亚纳海沟 (- 11 022 m)

图 1.1 珠穆朗玛峰与马里亚纳海沟

地球上任一质点在静止状态下都同时受到两个作用力，即离心力和地球引力，其合力的作用线，称铅垂线。处于静止状态的水面，称水准面，其特点是表面处处与铅垂线垂直。与水准面相切的平面，叫水平面。设想全球海洋水面平静下来，取一个平均海面，穿过大陆、岛屿而形成的团合曲面，称为大地水准面，并以此代表整个地球的实际形体。地球内部质量不均匀，引起铅垂线产生不规则变化，使得大地水准面形成有微小起伏的、不规则的、很难用数学方程表示的复杂曲面。将地球表面上的物体投影到大地水准面上，计算起来非常困难。通常选择一个与大地水准面非常接近的、能用数学方程表示的椭球面作为测量工作计算和绘图的基础面，这个椭球面是由一个椭圆绕其短轴旋转而成的旋转椭球，称为参考椭球，其表面称为参考椭球面，如图 1.2 所示。在适当地面上选定一点 P (P 点称为大地原点)，令 P 点的铅垂线与椭球面上相应 P_0 点的法线重合，并使该点的椭球面与大地水准面相切，而且使本国范围内的椭球面与大地水准面尽量接近。

图中：长轴 $a = 6\,378\,137\text{ m}$

短轴 $b = 6\,356\,752\text{ m}$

$$\text{扁率 } f = \frac{a-b}{a} = 1:298.257$$

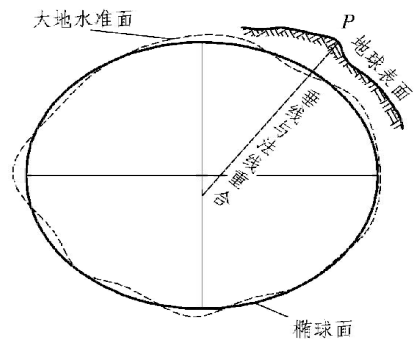


图 1.2 参考椭球

对于高程测量，以大地水准面作为投影面；对于高精度、大区域的控制测量，以旋转椭球体面作为投影面；对于一般的地形测量及普通工程测量，由于地球椭球的扁率甚小，当测区范围不大时，可以采用与地球相近似的圆球面作为投影面，其半径可近似取

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

(旋转椭球体积的计算公式为 $V = \frac{4}{3}\pi b a^2$, 圆球体积的计算公式为 $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, 以旋转椭球与圆球体积相等为条件, 可求得 $R^3 = b a^2$, 即 $R = \sqrt[3]{a^2 b} \approx \frac{1}{3}(a + a + b) = 6\,371 \text{ km}$ 。)

第三节 地面点位置的确定

测量工作的基本任务是确定地面点的位置。地面点的空间位置须用三维坐标来表示。在测量工作中, 一般将点的空间位置用球面或平面位置 (二维) 和高程 (一维) 来表示, 它们分别属于大地坐标系、平面直角坐标系和高程系统。

一、大地坐标系

大地坐标系又称“地理坐标系”, 是用大地经度 L 、纬度 B 表示该点的水平位置, 用地面点到地球椭球面上投影点的法线距离表示该点的大地高程 (H), 如图 1.3 所示。

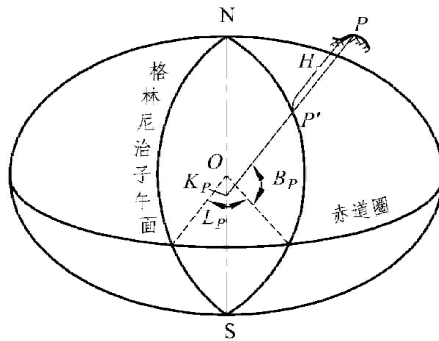


图 1.3 大地坐标系

二、空间三维直角坐标系 (地心坐标系)

空间三维直角坐标系是以地球椭球的中心 (即地球质心) O 为坐标原点, 起始子午面与赤道平面的交线为 X 轴, 地球自转轴为 Z 轴, Y 轴与 X 、 Z 轴构成右手坐标系, 如图 1.4 所示。

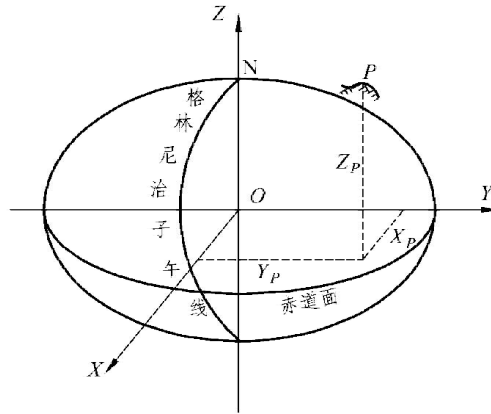


图 1.4 空间三维直角坐标系

三、地区平面直角坐标系

当测区范围（如半径不大于 10 km）较小时，可把测区的地表一小块球面当做平面看待。将坐标原点选在测区西南角，使测区内各点的坐标均为正值，如图 1.5 所示，以该地区中心的子午线作为纵轴 x 轴，且向北为正；横轴为 y 轴，且向东为正。象限名称按顺时针方向编号。

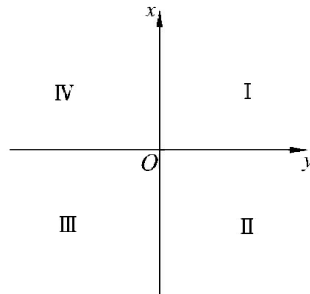


图 1.5 独立平面直角坐标系

四、高斯平面直角坐标系

当测区面积较大，就不能把水准面当做水平面，测量工作中，此时常采用高斯投影法。在高斯投影面上，把中央子午线作为 x 轴，赤道作为 y 轴，交点为坐标原点，这样便形成了高斯平面直角坐标系，如图 1.6 所示。

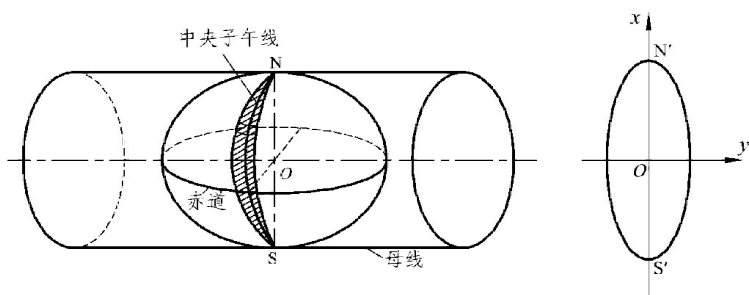


图 1.6 高斯投影

为了将高斯投影的变形限制在一定允许范围之内，可以将投影区域限制在中央子午线两侧的狭长区域内，这就是分带投影的思想。投影宽度以两条中央子午线间的经差来划分，有 6° 带和 3° 带两种，如图 1.7 所示。

1. 6° 投影带的划分方法

从首子午线起，自西向东以经差每 6° 划为一带，将全球划分为 60 个投影带，即第一个投影带为经度（东经） $0^\circ \sim 6^\circ$ ，第二个投影带为经度（东经） $6^\circ \sim 12^\circ$ ……则各带的中央子午线经度（东经）分别为 3° 、 9° 、 15° ……

根据等差数列的第 n 项公式：

$$a_n = a_1 + (n-1)d \quad (1.1)$$

可知，中央子午线经度与投影带带号的关系为：

$$L_6^0 = 6N_6 - 3 \quad (1.2)$$

我国境内的 6° 投影带的带号为：13~23 带，共 11 个投影带。

6° 投影带主要用于 1:50 万、1:20 万、1:10 万、1:5 万、1:2.5 万比例尺地形图的投影计算。

2. 3° 投影带的划分方法

从东经 1.5° 子午线起，自西向东以经差每 3° 划为一带，将全球划分为 120 个投影带，即第一个投影带为经度（东经） $1^\circ 30' \sim 4^\circ 30'$ ，第二个投影带为经度（东经） $4^\circ 30' \sim 7^\circ 30'$ ……则各带的中央子午线经度分别为 3° 、 6° 、 9° ……

根据等差数列的第 n 项公式可知，中央子午线经度与投影带带号的关系为：

$$L_3^0 = 3N_3 \quad (1.3)$$

我国境内的 3° 投影带的带号为：25~45 带，共 21 个投影带。

3° 投影带主要用于 1:1 万或更大比例尺地形测图的投影计算。

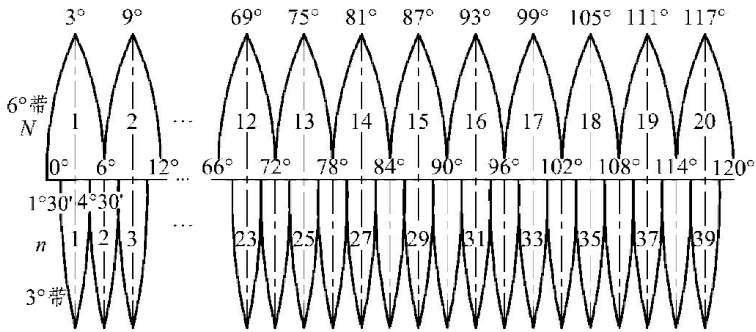


图 1.7 6°带、3°带

我国位于北半球，在高斯平面直角坐标系内，纵坐标 X 均为正值，横坐标 Y 有正有负。为了避免横坐标出现负值，因此规定将坐标纵轴 X 西移 500 km，并在横坐标 Y 前标注带号。

例： p 点在 19 带的高斯平面直角坐标为： $X_p = 346\ 216.985\text{ m}$ ； $Y_p = 286\ 755.433\text{ m}$ ；那么 p 点的国家统一坐标为： $X_p = 346\ 216.985\text{ m}$ ； $Y_p = 19\ 786\ 755.433\text{ m}$ 。

五、高程系

地面点到大地水准面的铅垂距离，称为绝对高程（简称高程，又称海拔）。如图 1.8 中 A 、 B 两点的高程分别为 H_A 、 H_B 。

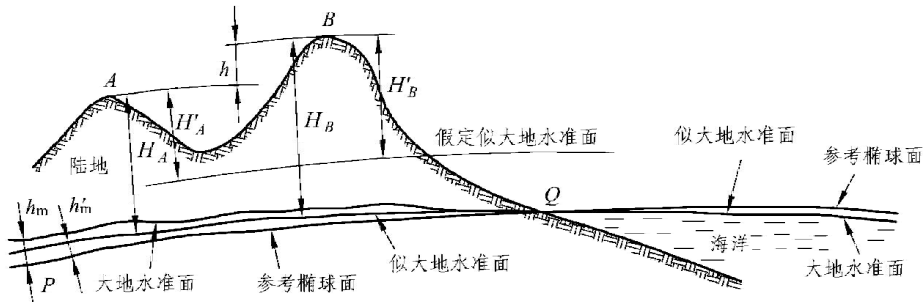


图 1.8 高程和高差

由于受潮汐、风浪等影响，海水面是一个动态的曲面，它的高低时刻在变化，通常是在海边设立验潮站，进行长期观测，取海水的平均高度作为高程零点。我国的验潮站设立在青岛，并在观象山建立了水准原点，如图 1.9 所示。1956 年经过多年观测后，得到从水准原点到验潮站的平均海水面高程为 72.289 m。这个高程系统称为“1956 年黄海高程系统”，全国各地的高程都是以水准原点为基准得到的。

20 世纪 80 年代，我国根据验潮站多年的观测数据，又重新推算了新的平均海水面，由此测得水准原点的高程为 72.260 m，称为“1985 年国家高程基准”。

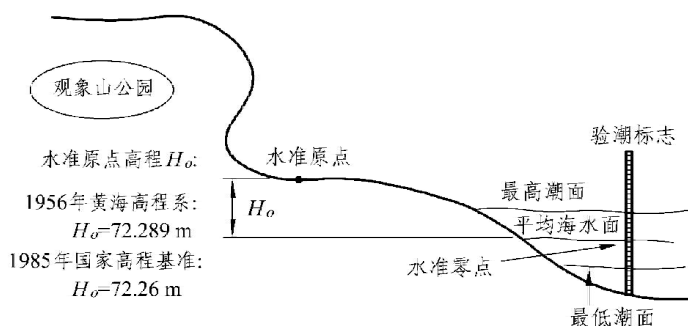


图 1.9 青岛验潮站示意图

(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该点的绝对高程或海拔，以 H 表示。

(2) 相对高程：地面点沿铅垂线方向至某一假定水准面的距离称为该点的相对高程，亦称假定高程，以 H' 表示。

(3) 地面上两点间绝对高程或相对高程之差称为高差，用 h 表示。如图 1.10 中， A 、 B 两点间的高差为：

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.4)$$

注意： h_{AB} 与 h_{BA} 应是绝对值相等而符号相反。

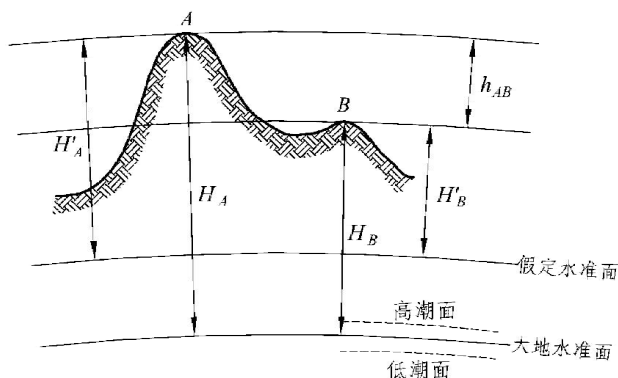


图 1.10 高程示意图

用水平面代替水准面作为投影计算的基准面，可以简化计算工作。但是，其使用的前提条件是：必须保证必要的精度。实践总结：

(1) 在半径 10 km 范围内，对距离的影响可以忽略不计。

(2) 对于在面积 100 km² 区域内的多边形，水平面与水准面间的误差对水平角的影响只在最精密的角度测量中考虑，一般测量工作是不必考虑的。

(3) 在高程测量中，即使距离很短也应考虑地球曲率的影响。

第四节 测量工作概述

一、测量学的主要内容

(1) 测定：使用测量仪器和工具，通过测量和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，供科学研究和工程建设规划设计使用。

(2) 测设：将在地形图上设计出的建筑物和构筑物的位置在实地标定出来，作为施工的依据。

(3) 监测：在铁路运营及使用管理过程中，需要监视工程建筑物的变形情况，尤其是大型建筑物和高路堤或地质不良地段，需要经常地观测它们的变化状况，以便采取相应的措施，确保工程质量和行车安全。

1. 测图过程

先精确地测量出少数点的位置(1, 2, ..., 6)，这些点在测区中构成一个骨架，起着控制的作用，可以将它们称为控制点，测量控制点的工作称为控制测量。然后以控制点为基础，测量它周围的地形，也就是测量每一控制点，周围各地形特征点的位置，这一工作称为碎部测量，如图 1.11 所示。

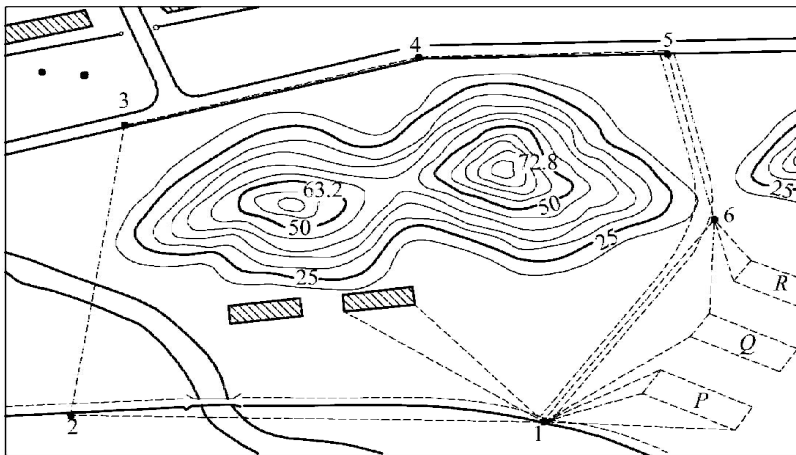


图 1.11 碎步测量示意图

2. 测设过程

设图 1.12 是已测绘出来的地形图。根据需要，设计人员已经在图纸上设计出了 P 、 Q 、 R

三幢建筑物，可用极坐标法将它们的位置标定到实地。

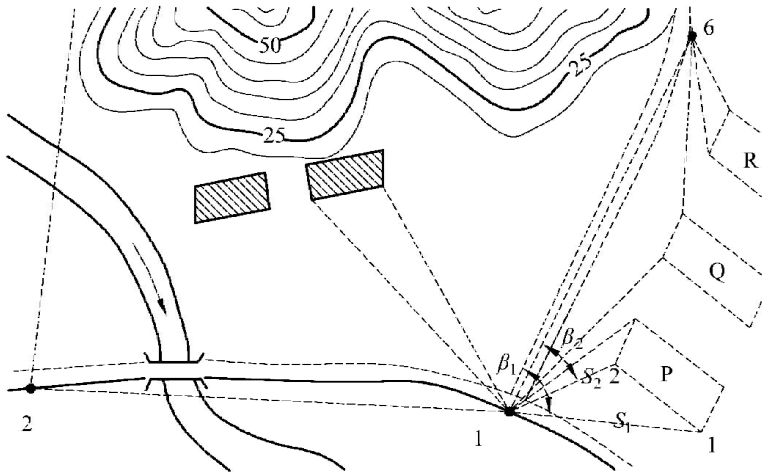


图 1.12 地形图

二、测量工作的基本原则

测量工作的首要任务，就是真实、准确地测定和采集基础数据。工作中，应严肃、认真，严格执行规范及工程设计任务书中的相关规定，按照正规程序进行内、外业的作业，工作中应按规范要求步步进行检核，对不符合规范要求的观测成果，必须重测。

(1) 从整体到局部。

(2) 从高级到低级（指从精度高的控制网到精度低的控制网）。

(3) 先控制后碎部。

(4) 步步检核。测绘工作的每一个过程，每一项成果都必须检核，否则前面一项成果出错，会导致后面数据全部作废。如：地形图测绘工作中，控制点展绘错误导致碎部测量成果不合格。

测量的三个基本工作：高程测量、水平角测量、距离测量。

三个基本元素：高差、水平角、距离。

本课程学习应掌握的内容如下：

(1) 准确掌握测绘学的基本概念、基本理论（含误差基本理论）。

(2) 熟练掌握常规测量仪器的正规使用方法，掌握小区域图根控制测量的内、外业，基本掌握大比例尺地形图的测绘方法以及地形图的阅读与应用方法。

上述内容，具体地说包括如下五项基本技能：测、记、算、绘、用。

测——仪器使用和观测的正规操作方法。

记——正规的记录方法。

算——准确地按正规格式进行内业计算或应用计算机编程进行计算。

绘——绘制地形图方法。

用——地形图的阅读与应用方法。

