



PUTONG GAODENG YUANXIAO
TUMU GONGCHENG LEI GUIHUA XILIE JIAOCAI
普通高等院校土木工程类规划系列教材

工程测量学

(第2版)

GONGCHENG CELIANGXUE

主 编 李章树 刘蒙蒙 张齐坤
副主编 张长福 黄敬林 曾全英



西南交通大学出版社

GONGCHENG CELIANGXUE



PUTONG GAODENG YUANXIAO
TUMU GONGCHENG LEI GUIHUA XILIE JIAOCAI
普通高等院校土木工程类规划系列教材

工程测量学

(第2版)

GONGCHENG CELIANGXUE

主 编 李章树 刘蒙蒙 张齐坤
副主编 张长福 黄敬林 曾全英

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是根据高等学校大土木类专业的实际需要,结合工程测量规范、新技术、新标准编写的。主要内容有:角度测量、距离测量、高程测量、误差的基本知识、控制测量、地形图的测绘和应用、施工测量的基本知识等。

本书可作为高等学校及高等职业技术学院土木工程专业的教材,也可以作为成人中专、技工学校土木专业及施工单位新职工、临时工的培训用书,还可供从事土木工作的相关人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量学 / 李章树, 刘蒙蒙, 张齐坤主编. —2
版. —成都: 西南交通大学出版社, 2015.8
普通高等院校土木工程类规划系列教材
ISBN 978-7-5643-4112-1

I. ①工… II. ①李… ②刘… ③张… III. ①工程测
量—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 180865 号

普通高等院校土木工程类规划系列教材

工程测量学

(第2版)

李章树 刘蒙蒙 张齐坤 主编

责任编辑 曾荣兵
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区交大路 146 号)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印 张 19.25

字 数 476 千

版 次 2015 年 8 月第 2 版

印 次 2015 年 8 月第 3 次

书 号 ISBN 978-7-5643-4112-1

定 价 39.80 元

课件咨询电话: 028-87600533

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

普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

编 委 会

主 任 易思蓉

委 员 (按姓氏笔画排序)

毛 亮	王月明	王玉锁	田北平	刘蒙蒙
孙吉祥	江 毅	李文渊	李章树	杨 虹
陈一君	陈广斌	周俐俐	范 涛	胡利超
贺丽霞	项 勇	袁 翱	贾 彬	贾媛媛
郭仕群	康 锐	曹 伦		

第2版前言

随着科学技术的迅速发展,测绘技术的发展也是日新月异。为使教学紧密结合实际,也为了满足生产单位对毕业学生知识、能力等的要求,以西华大学土木学院为主组织人员编写了本书。

本书在编写内容和要求上,以全面介绍土木工程测量为主,以现行有关规章、国家标准、行业标准为依据,按照“理论少而精,充分联系实际”的原则,及时将测量技术的发展和测量方法的更新纳入其中,力求体现出科学性、系统性,以便更加符合现代化、管理科学化和培养应用型人才的要求。通过本课程的课堂理论教学,再结合校内实训和现场生产实习,使学生熟悉测量设备,掌握测量的各种基本技能,学会运用规范处理测量工作中的有关问题。

本书由西华大学李章树、刘蒙蒙和天津铁道职业技术学院张齐坤主编,成都纺织高等专科学校张长福和西华大学黄敬林、曾全英副主编,成都纺织高等专科学校张璐参编。具体编写分工如下:第2章由刘蒙蒙编写;第8、第9章由黄敬林编写;第10章由曾全英编写;第12、第13章由成都纺织高等专科学校张长福编写;第14章由成都纺织高等专科学校张璐编写;第3、第4、第7章由天津铁道职业技术学院张齐坤编写;其他由李章树编写。

本书的编写,参考了国内有关教材及规范,并得到了西南石油大学、天津铁道职业技术学院及成都纺织高等专科学校等院校的支持,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏之处难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2015年5月

第 1 版前言

随着科学技术的迅速发展,测绘技术的发展也是日新月异。为使教学紧密结合实际,也为了满足现场生产单位对高职人才知识和技能的要求,西华大学工程土木建筑学院组织人员编写了本教材。

本书在编写内容和要求上,我们以全面介绍土木测量为主,以现行有关规章、国家标准、行业标准为依据,按照“理论少而精,充分联系实际”的原则,及时将测量技术的发展和测量方法的更新纳入到教材之中,力求体现教材的科学性、系统性,使教材更加符合现代化、管理科学化和培养应用型人才的要求。宗旨为通过本课程的课堂理论教学,再结合校内实训和现场生产实习,使学生熟悉测量设备,掌握测量工种的基本技能,学会运用规范处理测量工作的有关问题。

本书由西华大学李章树、刘蒙蒙主编,编写具体分工如下:第 2 章、第 3、第 4 章由刘蒙蒙编写;第 8、第 9 章由马思捷编写;第 14 章由成都纺织高等专科学校张璐编写;其他由李章树编写。

在本书的编写过程中,参考了国内有关教材及参考书,得到了西南石油大学等有关单位的支持,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏之处难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 3 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 工程测量学简介	1
1.2 地面点位的表示方法	2
1.3 地球曲率对测量工作的影响	8
1.4 测量工作的原则	9
第 2 章 高程测量	12
2.1 概 述	12
2.2 水准测量的原理	13
2.3 水准测量的仪器和工具	14
2.4 水准测量的方法	20
2.5 三、四等水准测量	25
2.6 微倾式水准仪的检验和校正	29
2.7 水准测量的误差及其消减方法	33
2.8 自动安平水准仪	35
第 3 章 角度测量	40
3.1 角度测量原理	40
3.2 光学经纬仪	41
3.3 光学经纬仪的安置和使用	45
3.4 水平角测量	47
3.5 竖直角测量	50
3.6 经纬仪的检验和校正	54
3.7 角度测量的误差分析	58
3.8 电子经纬仪	62
第 4 章 距离测量	68
4.1 钢尺量距	68
4.2 视距测量	73
4.3 光电测距	76
4.4 直线定向	81
4.5 用罗盘仪测定直线的磁方位角	85
第 5 章 测量误差基本理论	88
5.1 概 述	88

工 程 测 量 学
GONGCHENG CELIANGXUE

5.2	评定精度的指标	91
5.3	误差传播定律	93
5.4	算术平均值及其中误差	97
5.5	加权平均值及其中误差	99
第 6 章	全站仪	103
6.1	概 述	103
6.2	全站仪的基本操作与使用方法	106
6.3	全站仪程序测量	110
6.4	全站仪观测误差	113
6.5	全站仪测距误差的检验	113
6.6	全站仪使用的注意事项与维护	115
第 7 章	小区域控制测量	117
7.1	概 述	117
7.2	导线测量	124
7.3	控制点加密	130
7.5	三角高程测量	134
第 8 章	大比例尺地形图测绘	139
8.1	地形图的基本知识	139
8.2	大比例尺地形图解析测绘方法	148
8.3	大比例尺数字化测图	163
8.4	地籍测量简介	166
第 9 章	地形图的应用	171
9.1	地形图的基本应用	171
9.2	地形图在工程上的应用	173
第 10 章	施工测量的基本工作	179
10.1	概 述	179
10.2	施工控制测量	180
10.3	施工测量的基本工作	181
10.4	平面点位的测设方法	185
10.5	已知坡度直线的测设	189
第 11 章	工业与民用建筑施工测量	191
11.1	概 述	191
11.2	施工控制测量	191
11.3	民用建筑施工测量	197
11.4	工业厂房施工测量	203

11.5 高层建筑施工测量	211
11.6 建筑竣工总平面图的编绘	214
第 12 章 道路工程测量	217
12.1 概 述	217
12.2 铁路勘测设计阶段的测量工作	217
12.3 铁路线路施工测量	237
12.4 铁路线路竣工测量	242
12.5 公路工程测量	243
第 13 章 桥梁与隧道工程测量	247
13.1 概 述	247
13.2 桥梁施工控制测量	247
13.3 桥梁施工放样	252
13.4 桥梁变形监测	257
13.5 隧道施工控制测量	258
13.6 隧道施工测量与竣工测量	270
第 14 章 变形监测	274
14.1 变形监测的内容、目的和意义	274
14.2 变形监测的特点和方法	276
14.3 建筑物的变形监测	280
14.4 变形分析与成果整理	290
参考文献	296

第1章 绪论

本章重点：工程测量的任务；大地水准面；参考椭球面；高斯平面直角坐标系；独立平面直角坐标系；高程坐标系；高差、测量定位元素；地球曲率对高程测量、角度测量、距离测量的影响；测量工作的组织原则。

1.1 工程测量学简介

1.1.1 工程测量学的任务

“工程测量学”是一门结合工程建设，研究测定地面点位的学科。具体讲，它是在工程建设的各个阶段运用测绘学科的理论方法来解决相应问题的学科。工程测量广泛应用于水利、房建、管线、能源、交通等工程的勘测、设计、施工和管理各阶段，是土木从业人员必备的专业技能。

将地面现状用一定的方法表示出来，形成图形资料，作为工程设计用图，称为测定；同样，将设计图上相关的建（构）筑物，通过在实地的定位和放样，就可在施工现场标定出图形建筑物的形状、大小和位置，作为施工的依据，称为测设。所以，工程测量学的任务根据施测对象和建设阶段的不同，可用测定和测设两个方面来加以概括。

（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、规定符号缩小绘制成地形图。

（2）测设——将地形图上设计的建筑物、构筑物的位置在实地标定出来，作为施工的依据。

1.1.2 测绘学的分类

测绘学在发展过程中形成了大地测量学、摄影测量与遥感学、地图制图学、工程测量学、海洋测绘学等分支学科。

（1）大地测量学。

大地测量学是研究和确定地球形状、大小、重力场、整体与局部运动、地表面点的几何位置以及它们的变化的理论和技术的学科。大地测量学是测绘学各分支学科的理论基础，其基本任务是建立地面控制网、重力网，精确测定控制点的空间三维位置，为地形测图提供控制基础，为各类工程施工提供测量依据，为研究地球形状、大小、重力场及其变化、地壳形变及地震预报提供信息。

（2）摄影测量与遥感学。

先采用摄影方法或电磁波成像的方法，以获得地表形态的信息；再根据摄影测量的理论

和方法, 将获得的地表形态信息以模拟的或解析的方式进行处理, 转变为各种比例尺的地形原图或形成地理数据库。

(3) 地图制图学。

地图制图学是研究地图及其编制和应用的学科。地图制图学由理论部分、制图方法和地图应用三部分组成。地图是测绘工作的重要产品形式。计算机制图技术和地图数据库的发展, 促使了地理信息系统 (GIS) 的产生。

(4) 工程测量学。

工程测量学是研究在工程建设和自然资源开发各个阶段所进行的各种测量工作的理论和技术的学科。它是测绘学在国民经济建设和国防建设中的直接应用, 包括规划设计阶段的测量、施工阶段的测量和运营管理阶段的测量等。其主要内容有: 工程控制网的建立、大比例尺地形图测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形监测和维修养护测量等的理论、技术与方法。

(5) 海洋测绘学。

海洋测绘学是以海洋水体和海底为对象, 研究海洋定位和测定海洋大地水准面与平均海面、海底和海面地形、海洋重力、海洋磁力、海洋环境等自然、社会信息的地理分布, 以及编制各种海图的理论和技术的学科。

1.2 地面点位的表示方法

为了确定地球表面点的位置, 需要有确定地球表面点位置的基准以及表示地球表面点位置的方法。确定地球表面点位置的基准同地球的形状和大小有关, 而表示地球表面点的位置需建立坐标系。

1.2.1 地球形状和大小

地球的自然表面是极不规则的, 有高山、丘陵、平原、河流、湖泊和海洋, 如世界第一高峰珠穆朗玛峰高达 8 844.43 m, 而位于太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11 022 m。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。地球形状是极其复杂的, 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%, 因此, 测量中把地球看作是由静止的海水面向陆地延伸并围绕整个地球所形成的球体。

地球表面任一点, 都同时受到地球自转产生的惯性离心力和整个地球质量产生的引力的作用, 这两种力的合力称为重力。引力方向指向地球质心; 如果地球自转角速度是常数, 惯性离心力的方向垂直于地球自转轴向外, 重力方向则是两者合力的方向 (见图 1.1)。重力的作用线又称为铅垂线, 用细绳悬挂一个垂球, 其静止时所指示的方向即为铅垂线方向。

处于静止状态的水面称为水准面。由物理学可知, 这个面是一个重力等位面, 水准面上处处与重力方向 (铅垂线方向) 垂直。在地球表面重力的作用空间, 通过任何高度的点都有一个水准面, 因而水准面有无数个。其中, 把一个假想的、与静止的平均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。

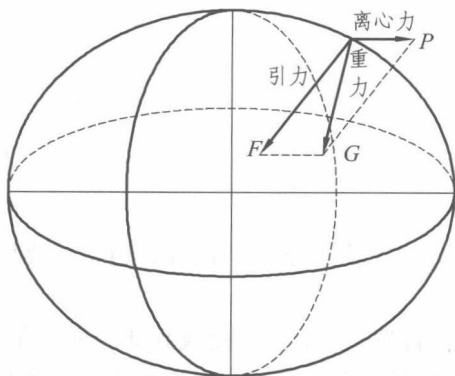


图 1.1 引力、离心力和重力

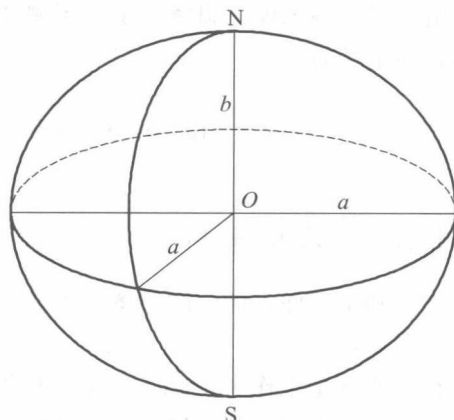


图 1.2 旋转椭球体

大地水准面和铅垂线分别是测量外业所依据的基准面和基准线。

1.2.2 参考椭球体

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并不均匀，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。经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。旋转椭球面可以用数学公式准确地表达。因此，在测量工作中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，见图 1.2。

代表地球形状和大小的旋转椭球，称为“地球椭球”。与大地水准面最接近的地球椭球称为总地球椭球；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。

在几何大地测量中，椭球的形状和大小通常用长半轴 a 和扁率 f 来表示，其关系如下：

$$f = \frac{a-b}{a}$$

表 1.1 所示为与我国大地坐标基准有关的几个地球参考椭球体的参数值。

表 1.1 地球椭球几何参数

椭球名称	年代	长半轴 a/m	扁率 f	附注
克拉索夫斯基	1940	6 378 245	1 : 298.3	苏联
1975 大地测量参考系统	1975	6 378 140	1 : 298.257	IUGG 第 16 届大会推荐值
1980 大地测量参考系统	1979	6 378 137	1 : 298.257	IUGG 第 17 届大会推荐值
WGS—84	1984	6 378 137	1 : 298.257 223 563	美国国防部制图局 (DMA)

注：IUGG —— 国际大地测量与地球物理联合会 (International Union of Geodesy and Geophysics)。

工程测量学 GONGCHENG CELIANGXUE

由于参考椭球体的扁率很小, 当测区面积不大时, 在普通测量中可把地球近似地看做圆球体, 其半径为

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

1.2.3 测量坐标系

为了确定地面点的空间位置, 需要建立坐标系。一个点在空间的位置, 通常需要用三个坐标量来表示。

在一般测量工作中, 地面点的空间位置常用平面位置 (大地经纬度或高斯平面直角坐标) 和高程表示, 它们分别从属于大地坐标系 (或高斯平面直角坐标系) 和指定的高程系统, 即用一个二维坐标系 (椭球面或平面) 和一个一维坐标系 (高程) 的组合来表示。

由于卫星大地测量的迅速发展, 地面点的空间位置也采用三维的空间直角坐标表示。

1. 大地坐标系

地面上一点的空间位置, 可用大地坐标 (B, L, H) 表示。大地坐标系是以参考椭球面作为基准面, 以起始子午面和赤道面作为在椭球面上确定某一点投影位置的两个参考面。

图 1.3 中, 过地面点 P 的子午面与起始子午面之间的夹角, 称为该点的大地经度, 用 L 表示。规定从起始子午面起算, 向东为正, 由 0° 至 180° 称为东经; 向西为负, 由 0° 至 180° 称为西经。过地面点 P 的椭球面法线与赤道面的夹角, 称为该点的纬度, 用 B 表示。规定从赤道面起算, 由赤道面向北为正, 从 0° 到 90° 称为北纬; 由赤道面向南为负, 由 0° 到 90° 称为南纬。 P 点沿椭球面法线到椭球面的距离 H , 称为大地高, 从椭球面起算, 向外为正, 向内为负。

对于 P 点的大地经度、大地纬度, 可用天文观测方法测得其天文经度 λ 、天文纬度 ϕ , 再利用其法线与铅垂线的相对关系 (称为垂线偏差) 换算为大地经度 L 、大地纬度 B 。在一般测量工作中, 可以不考虑这种换算。

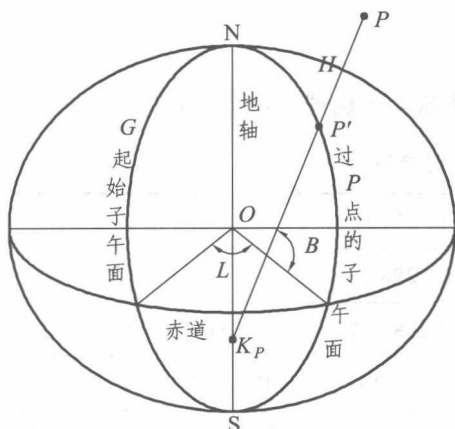


图 1.3 大地坐标系

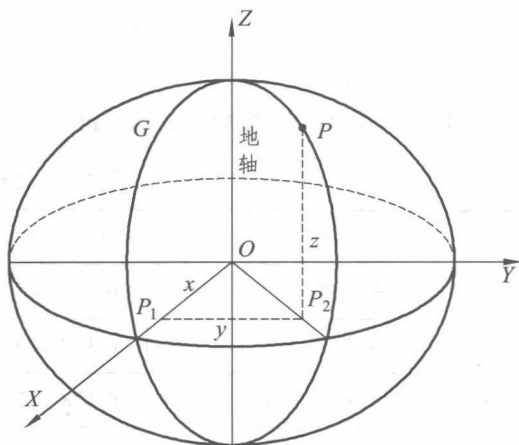


图 1.4 空间直角坐标系

2. 空间直角坐标系

以椭球体中心 O 为原点, 起始子午面与赤道面交线为 X 轴, 赤道面上与 X 轴正交的方向为 Y 轴, 椭球体的旋转轴为 Z 轴, 构成右手直角坐标系 $O-XYZ$ 。在该坐标系中, P 点的点位用 OP 在这三个坐标轴上的投影 (x, y, z) 表示, 见图 1.4。

3. 高斯平面直角坐标系

椭球面是测量计算的基准面, 但在它上面进行各种计算并不简单, 甚至还可以说是相当复杂和繁琐的; 若要在平面图纸上绘制地形图, 就需要将椭球面上的图形转绘到平面上。另外, 工程实际中采用的椭球面上表示点、线位置的经度、纬度、大地线长度及大地方位角等大地坐标元素, 对于工程建设中经常使用的大比例尺测图控制网和工程建设控制网的建立和应用也很不方便。因此, 在测量计算和生产实践中, 将椭球面上的元素换算到平面上, 就可以在平面直角坐标系中采用简单公式很方便地计算出平面坐标。我国现行的大于 $1:50$ 万比例尺的各种地形图都采用高斯投影。高斯投影是德国测量学家高斯于 1825—1830 年首先提出的。但实际上直到 1912 年, 由德国另一位测量学家克吕格推导出实用的坐标投影公式后, 这种投影才得到推广, 所以该投影又称高斯-克吕格投影。

如图 1.5 所示, 设想用一个椭圆柱面横套在地球椭球体外面, 使它与椭球上某一子午线 (该子午线称为中央子午线) 相切, 椭圆柱的中心轴通过椭球体中心, 然后用一定的投影方法将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到椭圆柱面上, 再将此柱面展开, 即得到该投影面。故高斯投影又称为横轴椭圆柱投影。

在高斯投影面上, 中央子午线和赤道的投影都是直线。以中央子午线和赤道的交点 O 作为坐标原点, 以中央子午线的投影线作为纵坐标轴 X , 规定 X 轴向北为正; 以赤道的投影为横坐标轴 Y , Y 轴向东为正, 这样便形成了高斯平面直角坐标系, 见图 1.6。

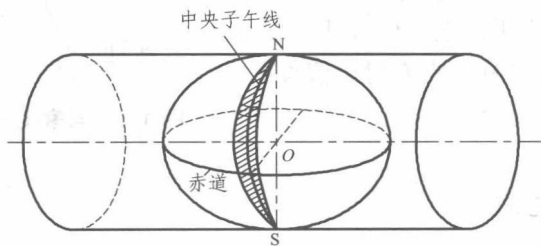


图 1.5 高斯投影

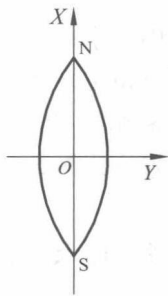


图 1.6 高斯平面直角坐标系

高斯投影中, 除中央子午线外, 各点均存在长度变形, 且距中央子午线越远, 长度变形越大。为了控制长度变形, 将地球椭球面按一定的经度差分成若干范围不大的带, 称为投影带。带宽一般分为经差 6° 、 3° , 分别称为 6° 带、 3° 带, 见图 1.7。

6° 带: 从 0° 子午线起, 每隔经差 6° 自西向东分带, 依次编号 1, 2, 3, ..., 60, 每带中间的子午线称为轴子午线或中央子午线, 各带相邻子午线叫分界子午线。我国领土跨 11 个 6° 投影带, 即第 13~23 带。带号 N 与相应的中央子午线经度 L_0 的关系为

$$L_0 = 6N - 3$$


$$l_0 = 3n$$

图 1.8 国家统一坐标

1.2.4 我国大地坐标系的建立

1954 年我国完成了北京天文原点的测定, 采用了克拉索夫斯基椭球体参数(见表 1.1), 并与“苏联 1942 年坐标系”进行了联测, 建立了“1954 年北京坐标系”。“1954 年北京坐

标系”属参心坐标系，可认为是“苏联 1942 年坐标系”的延伸，大地原点位于苏联的普尔科沃。

我国在 1972—1982 年期间进行天文大地网平差时，建立了新的大地基准，相应的大地坐标系称为“1980 年国家大地坐标系”。其大地原点地处我国中部，位于陕西省西安市以北 60 km 处的泾阳县永乐镇，简称“西安原点”。椭球参数（既含几何参数又含物理参数）采用 1975 年国际大地测量与地球物理联合会第 16 届大会的推荐值，见表 1.1。

“2000 国家坐标系”是一种地心坐标系，坐标原点在地球质心（包括海洋和大气的整个地球质量的中心）， Z 轴指向 BIH1984.0 所定义的协议地极方向， X 轴指向 BIH1984.0 所定义的零子午面与协议地极赤道的交点， Y 轴按右手坐标系确定。椭球参数有：长半轴 $a = 6\,378\,137\text{ m}$ 、扁率 $f = 1/298.257\,222\,101$ 、地球自转角速度 $\omega = 7.292\,115 \times 10^{-5}\text{ rad/s}$ 、地心引力常数 $GM = 3.986\,004\,418 \times 10^{14}\text{ m}^3/\text{s}^2$ 。

1.2.5 高程

地面点到高度起算面的垂直距离称为高程，其中高度起算面又称高程基准面。选用不同的面作高程基准面，可得到不同的高程系统；在一般测量工作中以大地水准面作为高程基准面。某点沿铅垂线方向到大地水准面的距离，称为该点的绝对高程或海拔，简称高程，用 H 表示。

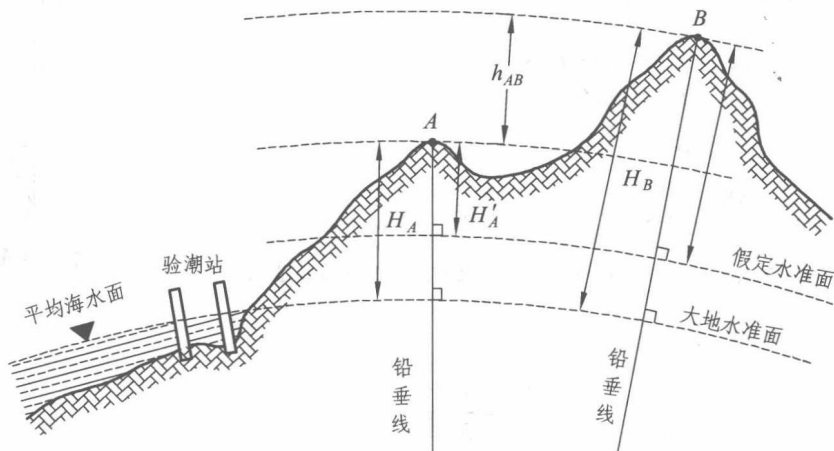


图 1.9 地面点的高程与高差

为了建立全国统一的高程系统，必须确定一个高程基准面。通常采用平均海水面代替大地水准面作为高程基准面，平均海水面的确定是通过验潮站长期验潮来求定的。由青岛验潮站验潮结果推算的黄海平均海面作为我国高程起算的基准面。我国曾采用青岛验潮站 1950—1956 年期间的验潮结果推算得到的黄海平均海面（称为“1956 年黄海平均高程面”），建立了“1956 年黄海高程系”。我国自 1959 年开始，全国统一采用“1956 年黄海高程系”。后来又利用该站 1952—1979 年期间的验潮结果计算确定了新的黄海平均海面，称为“1985 国家高程基准”。我国自 1988 年 1 月 1 日起开始采用“1985 国家高程基准”作为高程起算的统一基准。

