

21

世纪高等职业技术教育规划教材
—— 土木工程类

GONGCHENG CELIANG
JISHU YU YINGYONG

工程测量 技术与应用

张志刚 主 编
张福荣 陈金芳 副主编
杨志强 主 审



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

工程测量技术与应用

张志刚	主 编
张福荣 陈金芳	副主编
杨志强	主 审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

工程测量技术与应用 / 张志刚主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2009.7 (2011.8 重印)

21 世纪高等职业技术教育规划教材. 土木工程类

ISBN 978-7-5643-0311-2

I. 工… II. 张… III. 工程测量—高等学校: 技术学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 119592 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

工程测量技术与应用

张志刚 主编

*

责任编辑 王 旻

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

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: 14.125

字数: 353 千字

2009 年 7 月第 1 版 2011 年 8 月第 4 次印刷

ISBN 978-7-5643-0311-2

定价: 22.00 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

前言

本教材以高等职业技术教育培养高素质技能型专门人才的目标为指导思想,依据工业与民用建筑、给水与排水工程、工程监理等多个专业测量学教学大纲编写。本书在原《普通测量》的基础上,保留了测量学经典内容,并在改编后,较为全面地介绍了现代测量技术。为使学生便于自学,本书围绕每章知识目标、能力目标和技能目标编写了指导性学习目标。

我们力求知识面宽,各专业可根据专业大纲选择教学内容。本教材理论联系实际,突出实践应用知识,章节内容均附有例题,内容精练、通俗易懂,以便于学生自学。结合实践教学配有《普通测量课间实习指导书与报告书》(另册)以帮助学生更好地完成实践教学。

本书共分十二章。第一、二、三、四章介绍测量基础理论、现代测绘仪器;第五章介绍测量误差基本理论;第六、七、八章介绍控制测量、地形图基本知识、大比例尺地形图测绘与应用及大比例尺数字测图;第九、十、十一章介绍施工放样的基本理论和方法,重点以各建筑工程为例,较详细地讨论了施工控制、场地平整、民用建筑施工测量、工业厂房施工测量、高程建筑施工测量、管道施工测量及工程建筑物变形观测;第十二章介绍GPS定位测量技术基础与应用。为使广大基层从事测量工作的相关人员工作便利,本书最后附有部分fx-4800计算器实用程序。

本教材由长安大学地测学院杨志强教授主审,陕西铁路工程职业技术学院张志刚主编,并负责全书统稿。张福荣(陕西铁路工程职业技术学院)、陈金芳(天津铁道职业技术学院)任副主编。具体参编章节分工:绪论及第二、六、八章由张志刚编写;第九章由姜留涛编写;第一、三章由张福荣编写;第四、五章由白俊编写;第七章由吴迪编写;第十二章由曾庆伟编写;fx-4800计算器实用程序,由孙孝军编写;第十、十一章由陈金芳编写。编写本书的过程中,编者得到陕西铁路工程职业技术学院、天津铁道职业技术学院领导和同仁的关心与帮助,得到西南交通大学出版社的大力支持,在此表示衷心感谢。

编 者

2009年5月

目 录

绪 论	1
第一章 测量学基础知识	4
第一节 测量工作的基准面和铅垂线	4
第二节 地面点位的确定	5
第三节 测量工作概述	9
思考题与习题	11
第二章 水准测量	12
第一节 水准测量原理与高程计算	12
第二节 水准仪构造与水准尺	14
第三节 水准点	17
第四节 水准仪的使用	18
第五节 水准测量的方法	20
第六节 水准测量误差及其注意事项	29
第七节 微倾式水准仪的检验与校正	31
第八节 电子水准仪	34
第九节 精密水准仪简介	36
思考题与习题	38
第三章 角度测量	40
第一节 角度测量原理	40

第二节	光学经纬仪的构造	41
第三节	经纬仪的使用	44
第四节	水平角的观测	46
第五节	竖直角测量	50
第六节	经纬仪的检验和校正	53
第七节	角度测量的误差来源及注意事项	57
第八节	电子经纬仪的构造及其使用	58
思考题与习题		60
第四章 距离测量与直线定向		62
第一节	钢尺量距	62
第二节	视距测量	67
第三节	全站型电子速测仪的使用	70
第四节	直线定向	74
思考题与习题		76
第五章 测量误差的基础知识		78
第一节	概述	78
第二节	偶然误差的特性	80
第三节	评定精度的标准	81
第四节	算术平均值	82
思考题与习题		84
第六章 控制测量		85
第一节	概述	85
第二节	导线测量	87
第三节	导线测量内业计算	89
第四节	三、四等水准测量	98
第五节	光电测距三角高程测量	100
思考题与习题		103
第七章 地形图的基础知识		105
第一节	概述	105
第二节	地形图比例尺	107
第三节	地形图的分幅、编号和注记	109
第四节	地物的表示方法	110
第五节	地貌的表示方法	113
思考题与习题		116

第八章 大比例尺地形图测绘与应用	117
第一节 碎部点测定的基本方法	117
第二节 测图前的准备工作	118
第三节 经纬仪测绘法测绘地形图	119
第四节 地形图的拼接、检查和整饰	122
第五节 地形图判读与应用	123
第六节 大比例尺数字测图概述	128
第七节 地籍测量概述	131
思考题与习题	134
第九章 施工测量的基本工作	136
第一节 施工测量的基本工作	136
第二节 点的平面位置测设方法	140
第三节 已知坡度直线的测设	142
思考题与习题	144
第十章 建筑工程施工测量	145
第一节 概述	145
第二节 建筑施工控制测量	146
第三节 场地平整测量	149
第四节 民用建筑施工测量	152
第五节 高层建筑施工测量	159
第六节 工业厂房施工测量	161
第七节 烟囱或水塔施工测量	165
第八节 管道施工测量	168
思考题与习题	176
第十一章 工程建筑物的变形观测	177
第一节 概述	177
第二节 沉降观测	177
第三节 水平位移观测	181
第四节 建筑物的倾斜观测	182
第五节 建筑物的裂缝观测	184
思考题与习题	184
第十二章 GPS 定位测量技术基础与应用	185
第一节 GPS 定位系统的组成及卫星信号	185
第二节 GPS 定位测量的基本原理	189

第三节	GPS 定位误差的来源	192
第四节	GPS 接收机的种类及选择	194
第五节	GPS 实时差分动态定位	197
第六节	GPS 在工程测量中的应用	201
思考题与习题		206
附录 CASIO fx-4800P 应用程序		207
综述		207
程序一 往返水准高程测量计算		207
程序二 附和（闭合）水准路线高程平差计算		209
程序三 坐标正算计算程序		211
程序四 坐标反算计算程序		211
程序五 三、四等水准测量计算程序		212
程序六 附和（闭合）导线简易平差与坐标计算程序		213
参考文献		218

绪 论

【学习目标】

了解测量学学科研究的对象及任务、普通测量的任务；了解现代测量技术应用，使学生明确测量在工程建设中的重要地位，提高学生学习本课程的兴趣。

测量学是研究地球形状和大小以及如何测定地面点空间位置或将地球表面的地物、地貌的形状、大小、位置等其他信息测绘成图的学科。

随着现代科学技术的发展，高新技术在测量学中的应用，测量学已成为一门多分支学科。按研究内容及学科特点分为以下主要学科：大地测量学、普通测量学、摄影测量学、工程测量学等。

大地测量学——研究地球的形状和大小，为全国各种测量工作提供控制。测量范围大，应考虑地球曲率的影响。

摄影测量学——研究利用摄影或遥感手段获取被测物体的信息（影像的或数字的），经过分析、处理，确定被测物体的形状、大小和位置，并判断其属性的学科。

工程测量学——研究工程建设在设计、施工和管理各阶段中进行测量工作的理论、技术和方法的学科。

普通测量学——测量学的基础，一般不考虑地球曲率的影响，是研究小区域如何将地球表面局部区域内的地物、地貌及其他有关信息测绘成地形图的理论、方法和技术的学科。

一、普通测量工作的任务

普通测量有两方面的任务：测绘与测设。

1. 测 绘

应用测量仪器工具，确定地面点的平面位置和高程，将局部区域地表的地形转绘成各种比例尺地形图，供工程建设规划设计、施工使用。

2. 测 设

测设也称为施工放样，就是将图纸上设计建筑物的特征点的平面位置和高程，按设计精度要求标定在地面上，作为工程施工的依据。

二、测量在工程建设中的作用

测量在国民经济建设中发挥着极其重要的作用，在铁路、公路、水运、交通建设、城市规划与建设、矿山、水利、农田基本建设及各种资源的勘察开发中，从勘测、设计到施工都需要测量工作紧密配合，测量贯穿于工程建设的各个阶段。测量是设计与施工质量的根本保证。

工程建设一般分三个阶段：勘测设计、施工和运营管理。

勘测设计阶段：主要由测量工作提供各种比例尺的地形图，以供不同的设计阶段使用。例如，铁路、公路的方案研究是在 $1:5\,000 \sim 1:50\,000$ 地形图上进行，方案确定以后，初测的主要测量工作是测绘 $1:2\,000$ 的带状地形图和高程测量，供选线设计使用。定测就是将图上设计的中线测设于地面，主要测量工作有中线测设、高程测量和断面测量。桥梁隧道设计还需测绘 $1:500 \sim 1:1\,000$ 的地形图。又如城市规划、建筑设计等，都需要各种比例尺的地形图进行平面和竖向设计。总之，设计均以测量结果为依据，测量是设计的基础。

施工阶段：施工测量工作主要是结构物的平面位置及高程放样。例如，公路、铁路施工前要对平面控制点、高程控制点、中线点进行复测和恢复丢失的桩点，施工过程中也需要测量的紧密配合。对于较大且复杂的建筑结构，如特大桥、长大隧道、高层建筑、建筑群等，为保证测设点位精度达到设计要求，还需建立施工控制网，作为施工放样的依据。工程竣工后，还要进行竣工测量。

运营管理阶段：使用期间为了管理、维修、改建、扩建的需要，进行的各种测量工作。对于重点工程，要定期进行变形观测，监视其安全性和稳定性，为预报、维护、使用提供可靠的技术资料。

三、现代测量技术概述

随着现代科学技术的发展和高新技术的应用，传统的测量技术理论、方法、手段逐步或已经被现代测量技术所取代，以全球定位系统 (GPS)、遥感技术 (RS)、地理信息系统 (GIS) 为一体的 3S 技术，使测量学科发生了很大的改变。

全球定位系统以快捷、方便、高精度的地面点定位技术取代了传统的测距、测角的控制测量方法。例如，长达 18 km 的秦岭隧道首次使用 GPS 定位技术布设了洞外 GPS 控制网。

遥感技术是在航空摄影测量的基础上，随着空间技术、电子技术和地球科学的发展而发展起来的获取空间信息的一种方法，扩大了获取地面、空间信息的范围，其速度快、信息广。例如，雷达遥感技术首次在世界最高隧道——青藏铁路风火山隧道全面检测，检测结果各项技术指标均符合设计要求。

地理信息系统是由计算机系统、各种地理数据和用户组成，通过计算机对各种地理数据进行统计、分析、合成和管理，生成并输出用户所需要的各种地理信息，其在城市规划管理、交通运输、测绘、环保、农业、制图等领域发挥了重要的作用，并取得了良好的经济效益和社会效益。例如，北京某测绘部门以北京市大比例尺地形图为基础图形数据，在此基础上综合叠加地下及地面的八大类管线（包括上水、污水、电力、通信、燃气、工程管线等）以及测量控制网、规划路线等基础测绘信息，形成一个测绘数据的城市地下管线信息系统，从而

实现了对地下管线信息的全面现代化管理。

传统的测绘仪器、方法、手段也在发生巨大改变。如全站型电子速测仪、数字水准仪、电子经纬仪等，使测量方法、手段向测量自动化发展，逐步取代了传统测量的三大件：普通经纬仪、水准仪、钢尺。

本教材针对工程类各专业所需测量知识，主要阐述普通测量与工程测量相联系的实用测量知识。

第一章

测量学基础知识

【学习目标】

通过本章学习，了解测量外业工作的基准面的选择，理解大地水准面的作用和实际意义；了解测量常用坐标系——独立平面直角坐标系、高斯平面直角坐标系的建立和适用条件；能够掌握地面点空间位置的确定方法；能够理解测量工作的基本原则。

第一节 测量工作的基准面和铅垂线

测量工作是在地球自然表面上进行的，而地球表面是一个极不规则的封闭曲面，为了确定地面点的空间位置，首先要选择描述点的空间位置的基准面和基准线。

一、大地水准面

地球表面最高的山峰是珠穆朗玛峰，海拔为 8 844.13 m，最低的是太平洋西部的马里亚纳海沟，海拔为 11 022 m，两者相比，起伏变化很大，高低相差约 20 km，但与平均半径约为 6 371 km 的地球体相比，这样的高低起伏仍然可以忽略不计。此外，通过长期的测绘实践和科学调查，人们发现地球表面海洋面积约占 71%，而陆地面积约占 29%，所以，人们把地球总的形状看做是被海水包围的球体。我们可以设想有一个静止的海洋面向陆地无限延伸，从而形成一个封闭的曲面，这个封闭的曲面（静止的海洋面）称为水准面。海水有潮汐涨落、时高时低，水准面就位于不同的高度，所以水准面有无数个。另外，由于潮汐波浪关系，完全处于静止平衡状态的海水面是难以求得的。因此，人们在海岸边设立验潮站，用验潮站所测得的平均海洋面来代替静止的海洋面，这个唯一的平均海洋面称为大地水准面，它所包围的形体称为大地体，大地体代表了地球的形状和大小。

当液体表面处于静止状态时，液面必然与铅垂线（重力的作用线）垂直，否则液体会流动。因此，水准面的特点是曲面上各点均与铅垂线垂直，大地水准面具有同样的特点。大地水准面与铅垂线是测量的基准面和基准线，如图 1.1 所示。

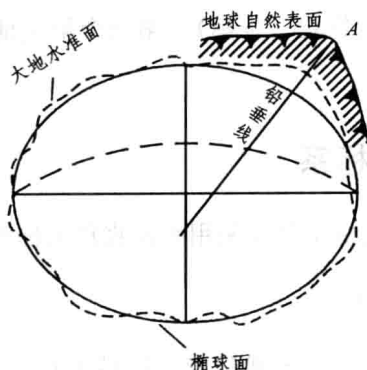


图 1.1 大地水准面、自然表面、椭球体面

二、参考椭球面

如图 1.1 所示，由于地球的内部质量分布不均匀，引起各处铅垂线方向不规则的变化，所以大地水准面仍然是一个有微小起伏的不规则曲面，在这个不规则的曲面上无法进行测量计算。为了能在地球表面上进行各种测量计算，必须要寻找一个与大地水准面较吻合，而且能用数学公式表达的规则曲面来代替大地水准面，作为测量计算的基准面。经过长期研究发现，这个面是数学中的一个椭球面，如图 1.2 所示。椭球面围绕它的短半轴旋转所形成的椭球，认为是地球的形状，它的大小可由长半径 a 、短半径 b 或扁率 α 来决定。为了测量工作的需要，在一个国家或地区，需要选择一个接近于本地区大地水准面的椭球定位，这个球体称为参考椭球体。参考椭球面是测量计算的基准面。

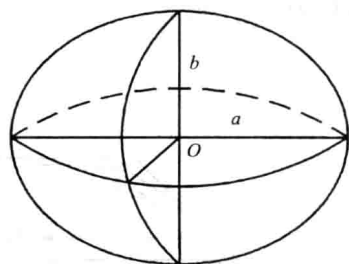


图 1.2 参考椭球体

我国 1980 年宣布，在陕西省泾阳县永乐镇新设立大地坐标原点，并采用 1975 年国际大地测量协会推荐的大地参考椭球体。通过椭球定位，建立了中国自己的大地坐标系，称为 1980 国家大地坐标系。

长半径： $a = 6\,378\,140\text{ m}$

短半径： $b = 6\,356\,755\text{ m}$

扁率： $\alpha = 1 : 298.257$

由于地球的扁率很小，所以在局部区域测量工作中，可以把地球近似看做一个圆球来处理，其半径为：

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

第二节 地面点位的确定

测量工作的实质是确定地面点的空间位置。点的空间位置通常由三个量确定，其中两个

量是地面点在大地水准面的平面位置（坐标），第三个量是地面点到大地水准面的铅垂距离（高程）。

一、测量常用平面坐标系

地面点的平面位置在工程测量上通常采用平面直角坐标系、高斯平面直角坐标系两种。

（一）独立平面直角坐标系

如图 1.3 所示，在普通测量工作中，测区范围比较小（半径为 10 km 的圆面积范围以内），可以不考虑地球曲率的影响，通常以过测区中心点的切平面（水平面）代替水准面，用平面直角坐标系来表示地面点的平面位置。平面直角坐标系是由平面内互相垂直的两条轴组成，如图 1.4 所示，南北方向为纵坐标轴，即 x 轴， x 轴向北为正，向南为负；东西方向为横坐标轴，即 y 轴， y 轴向东为正，向西为负；纵横坐标轴的交点 O 为坐标原点，坐标轴将平面分为四个象限，象限的顺序是从数学上的第一象限开始，按顺时针方向排列。对于独立测区，可以任意假设坐标原点，为了使地面点的坐标均为正值，坐标原点一般选在测区的西南角以外。地面点的平面位置是以地面点到纵横坐标轴的垂直距离来决定，如图 1.4 中 A 点的平面坐标为 x_A, y_A 。

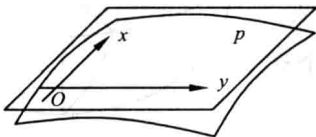


图 1.3 水平面代替水准面

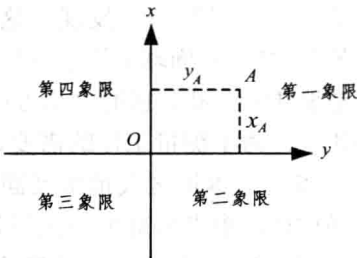


图 1.4 平面直角坐标系

测量中的平面直角坐标系与数学中的平面直角坐标系的区别是 x 轴与 y 轴互换，象限按顺时针计。这是因为，测量中直线的方向都是从正北方向按顺时针方向以角度计量的，改变后可将数学中的三角函数公式直接应用到测量计算中，不需要再做任何变更。

（二）高斯平面直角坐标系

当测区范围较大时，超过水平面代替水准面的限度，就不能把椭球表面作为水平面看待。若在球面上进行计算和绘图仍然很复杂，如何将参考椭球面上的地面点转化到平面上，我国采用的是高斯横圆柱投影方法（高斯投影）来实现的。

1. 高斯投影

高斯投影首先按经线将地球划分为若干带状区域，称为投影带，可分为 6° 、 3° 带。如图 1.5 所示， 6° 带的划分是从首子午线起，每隔经差 6° 为一带，自西向东将整个地球划分为 60 个带，每带的带号 N 用阿拉伯数字表示，依次为 1、2、3、...、60。位于各投影带中央的子午线称为中央子午线，若经度用 “ L ” 表示，则 6° 带的带号 N 与

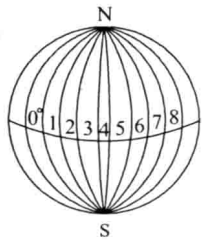


图 1.5 6° 带的划分

该带中央子午线的经度关系为：

$$L_0 = 6N - 3 \tag{1.1}$$

式中 L_0 —— 6° 带中央子午线的经度；
 N —— 6° 投影带的带号。

3° 带是在 6° 带基础上划分成的，从东经 $1^\circ30'$ 子午线开始，由西向东每隔 3° 划分为一带，全球共划分为 120 个带。 3° 带与 6° 带的关系如图 1.6 所示， 3° 带的中央子午线与 6° 带的中央子午线相重合。 3° 带的带号 n 与该带中央子午线经度 L'_0 的关系为：

$$L'_0 = 3n \tag{1.2}$$

式中 L'_0 —— 3° 带中央子午线的经度；
 n —— 3° 投影带的带号。

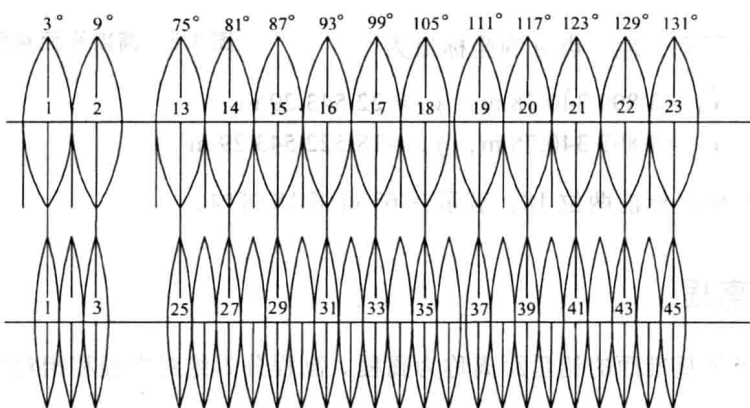


图 1.6 高斯投影 6° 带和 3° 带的关系

如图 1.7 所示，高斯投影的方法是设想一个空心横圆柱套在椭球体外面，使其与某投影带的中央子午线相切，横圆柱的中心轴位于赤道平面内且通过椭球的中心，在图形保持等角的条件下，然后将投影带投影在椭球面上，再沿通过南北极的母线切开，展成平面。这个平面称为高斯投影面。

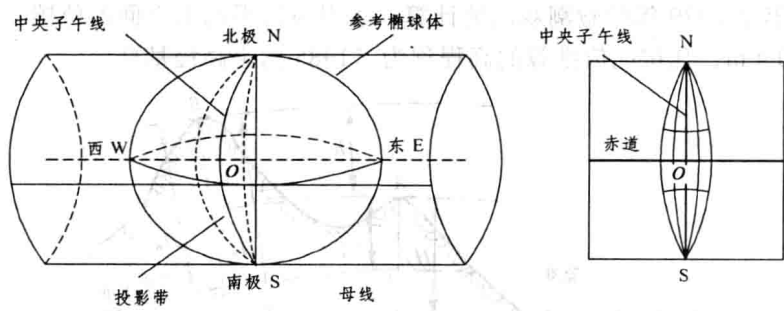


图 1.7 高斯投影与高斯平面

2. 高斯平面直角坐标系的建立

在高斯投影面上，中央子午线和赤道为相互垂直的直线，其他子午线和纬线为曲线，如图 1.7 所示。以中央子午线为 x 轴，指北方向为正，以赤道为 y 轴，指东方向为正，其交点 O

为坐标原点，即构成高斯平面直角坐标系，如图 1.8 所示。每一个带都独立进行投影，因此，每一个投影带都有各自的直角坐标，这种坐标通常称为自然坐标。我们国家的地理位置位于北半球，故 x 值均为正， y 值则有正、负之分。如图 1.8 (a) 中的 B 点位于纵坐标轴以西， y_B 坐标值为负值。为了计算方便，避免 y 坐标出现负值，故规定每带的中央子午线各自西移 500 km，这样在某带一点的横坐标值均需加 500 km。为了区别某一坐标值属于哪一带，规定在自然坐标的横坐标值前冠以所在的带号，这个坐标值称为通用坐标值。

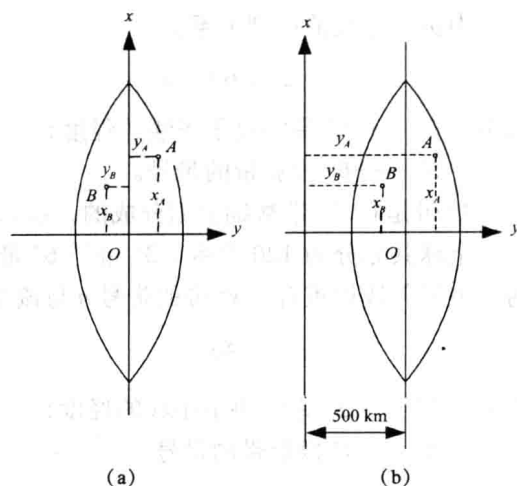


图 1.8 高斯平面直角坐标系

如图 1.8 (b) 所示，地面点 A 的坐标值为：

自然坐标值 $x_A = 3\,899\,340.78\text{ m}$, $y_A = 22\,543.29\text{ m}$

通用坐标值 $x_A = 3\,899\,340.78\text{ m}$, $y_A = 18\,522\,543.29\text{ m}$

通用坐标值的横坐标前两位 18，表示在 6° 带第 18 带内。

二、点的高程

地面上任一点至基准面的铅垂距离称为高程。高程分为绝对高程和相对高程。

(一) 绝对高程

地面上任一点至大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程(海拔)。如图 1.9 所示， H_A 、 H_B 分别为地面点 A 、 B 的绝对高程。

为了确定大地水准面的位置，我国在青岛设立了验潮站，常年观测海水的高度，在 1956 年推算出黄海平均海水面的位置。为了使用方便，在我国青岛观象山设立了水准原点。1985 年重新以 1952 年至 1979 年的验潮观测值计算，求得黄海平均海平面的位置，并求得水准原点的高程 72.260 4 m，凡按此值推算的高程称为“1985 国家高程基准”。

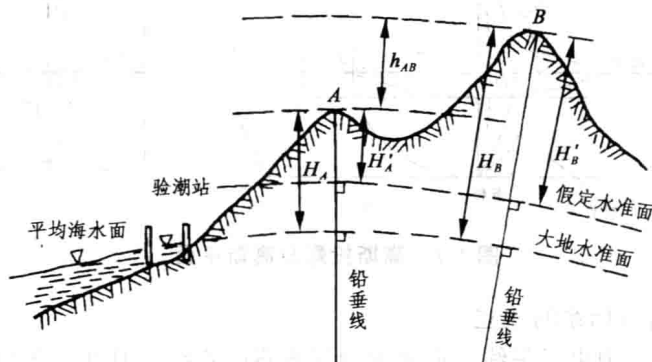


图 1.9 高程和高差的关系

(二) 相对高程

在局部地区, 如果引测绝对高程有困难, 可以假定一个水准面作为高程起算面。地面上任一点到假定水准面的铅垂距离, 称为相对高程或假定高程。如图 1.9 所示, H'_A 、 H'_B 分别为 A 、 B 点的相对高程。

两个地面点之间的高程差, 称为高差, 用 h 表示。由图 1.9 可知, 高程与高差的关系为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.3)$$

式中, h_{AB} 表示 B 点对 A 点的高程差。由此可见, 高差的大小与高程起算面无关。

第三节 测量工作概述

一、测量工作的基本原则

测量过程当中产生误差是必然的, 无论是测定或测设, 若从一点开始逐点进行测量, 前一点测量的误差会传递到下一点, 依次积累, 随着范围的扩大, 使点位误差超出所要求的限度。为了限制误差传递和误差积累, 提高测量精度, 测量工作必须遵循“先整体后局部, 先控制后碎部, 由高级到低级”的原则来组织实施。首先在测区范围内全盘考虑, 布设若干个有利于碎部测量的点, 然后再以这些点为依据进行碎部地区的测量工作, 这样可以减小误差的积累, 使测区内精度均匀。因此, 测量工作的基本程序可分为控制测量、碎部测量两步。如图 1.10 所示, 在测区范围内选择一些具有控制意义的点 1、2、3、..., 这些点称为控制点。由控制点构成的几何图形, 称为控制网。以较高精度的测量方法测定控制点的平面位置和高程, 称为控制测量, 然后根据控制点再测定碎部点的位置, 称为碎部测量。例如, 在控制点 1 测定其周围的碎部点, 这样道路、房屋的位置就可以绘在图纸上。

测量工作有外业测量和内业计算之分。在野外用仪器测量水平距离、水平角和高差称为外业, 而在室内进行整理计算、平差、绘图称为内业。测量工作无论是外业测量还是内业计算, 都必须遵循边工作边校核的原则, 以防止错误发生。

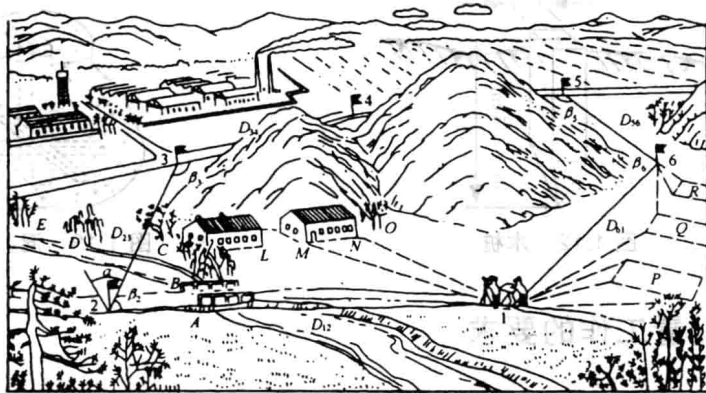


图 1.10 控制测量与碎部测量