

JIANZHU GONGCHENG CELIANG

建筑工程测量

(第2版)

◎主编 唐春平 周跃孝



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业院校课程改革项目优秀教学成果
面向“十三五”高职高专教育精品规划教材

建筑工程测量

(第2版)

主 编	唐春平	周跃孝			
副主编	彭 军	黄友林	汪 新	陈 浩	
参 编	邓 涛	韩永光	张立艳	左海龙	
	吴佼佼	周秋平	蒲正川	何 巧	



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书根据高等职业院校建筑工程技术专业的人才培养计划、课程教学改革要求和实际应用需要编写的。本书共分为5篇,第一篇:测量的基本原理和方法,包括4章,分别是绪论、水准测量、角度测量、平面控制测量与全站仪的使用;第二篇:大比例尺地形图测绘,包括2章,分别是大比例尺地形图的基本知识及应用、大比例地形图测绘;第三篇:施工测量,包括3章,分别是施工测量基本工作与场地控制测量、民用建筑施工测量、工业建筑施工测量;第四篇:施工测量案例,共1章,建筑工程测量案例;第五篇:阅读资料,包括4章,分别是阅读资料1、阅读资料2、阅读资料3、阅读资料4。本书在编写上由测量基本原理和方法导入,然后展开大比例尺地形图测绘、施工测量知识的介绍,最后是案例分析,方便学生透彻地理解理论知识在工程中的运用。

本书可作为高等职业院校建筑工程技术及其相关专业的教材,也可作为成人教育以及相关职业岗位培训的教材,还可作为有关工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/唐春平,周跃孝主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2016.4
(2016.5重印)

ISBN 978-7-5682-2103-0

I. ①建… II. ①唐… ②周… 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(2016)第065587号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京紫瑞利印刷有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/15.5

字 数/387千字

版 次/2016年4月第2版 2016年5月第2次印刷

定 价/38.00元

责任编辑/钟 博

文案编辑/钟 博

责任校对/周瑞红

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

第2版前言

《建筑工程测量》自2011年出版以来,经过各兄弟院校的教学实践,证明它符合高等职业教育和专科教育的培养目标,符合教学规律,因此本次修订保留了原教材的基本结构。为满足不同院校的教学要求、扩大使用范围,在广泛征求意见,并借鉴了同类教材的相关内容的基础上,本教材对部分内容进行了调整,增加了测量实训的内容。本教材在阐述该学科基本理论的同时,注重理论与实践相结合,并着重培养学生分析与解决实际问题的能力。

本教材共分五篇,第一篇为测量技术与方法;第二篇为大比例尺地形图测绘;第三篇为施工测量;第四篇为施工测量案例;第五篇为阅读资料。教学内容可以结合各自的专业方向进行选择。本教材主要内容包括建筑工程测量的基本知识、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、控制测量、大比例尺地形图的测绘、地形图的应用、测量的基本工作、工业与民用建筑施工测量等。

本书由唐春平统稿,唐春平、周跃孝担任主编,彭军、黄友林、汪新、陈浩担任副主编,邓涛、韩永光、张立艳、左海龙、吴佼佼、周秋平、蒲正川、何巧参与了编写工作。具体编写分工为:唐春平编写第10章、阅读资料3、阅读资料4,周跃孝编写第1章,彭军编写附录,黄友林编写第2章,汪新编写第4章,陈浩编写第8章,邓涛编写第9章,张立艳编写第7章,韩永光、左海龙编写第3章,吴佼佼编写第5章,周秋平编写第6章,蒲正川编写阅读资料1,何巧编写阅读资料2。

本教材在编写过程中参考了许多网络资源及精品课程网站的资料,吸取了有关书籍和论文的最新观点,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,难免存在缺点与错误之处,恳请专家、同仁和广大读者批评指正!

编 者

目 录 CONTENTS

第一篇 测量的基本原理和方法

第1章 绪论 1

- 1.1 建筑工程测量的任务及作用 1
 - 1.1.1 测量学的定义及分类 1
 - 1.1.2 建筑工程测量的任务 1
 - 1.1.3 建筑工程测量的作用 2
- 1.2 测量工作的基准面和基准线 2
 - 1.2.1 地球的形状和大小 2
 - 1.2.2 铅垂线、水平线、水平面和水准面 2
- 1.3 地面点位的确定 3
 - 1.3.1 地面点平面位置的确定 3
 - 1.3.2 地面点高程的确定 5
 - 1.3.3 用水平面代替水准面的限度 6
 - 1.3.4 确定地面点的三个基本要素 7
- 1.4 建筑工程测量的原则和程序 7
 - 1.4.1 地物与地貌 7
 - 1.4.2 测量工作的程序与原则 8
- 1.5 建筑工程测量常用的测量仪器 9
 - 1.5.1 水准仪 9
 - 1.5.2 经纬仪 9
 - 1.5.3 全站仪 9
- 练习与作业 10

第2章 水准测量 11

- 2.1 水准仪的使用 11
 - 2.1.1 水准测量的原理 11
 - 2.1.2 水准测量的仪器及工具 12
 - 2.1.3 水准仪的操作步骤 14
 - 2.1.4 其他水准仪介绍 16
- 2.2 水准测量基本方法 17

- 2.2.1 水准点与水准路线 17
- 2.2.2 水准测量方法与记录 18
- 2.2.3 水准测量的误差及注意事项 20
- 2.2.4 水准测量成果计算 22
- 2.3 水准仪的检验与校正 24
 - 2.3.1 水准仪应满足的几何条件 24
 - 2.3.2 水准仪的检验与校正方法 24
- 2.4 水准仪在施工测量中的应用 26
 - 2.4.1 建筑标高与绝对高程 26
 - 2.4.2 施工场地水准点位置的确定 26
 - 2.4.3 三、四等水准测量 27
 - 2.4.4 施工中的标高测量 30
 - 2.4.5 坡度线的测设 31
 - 2.4.6 沉降观测 33
- 练习与作业 36

第3章 角度测量 38

- 3.1 经纬仪的使用 38
 - 3.1.1 角度测量原理 38
 - 3.1.2 角度测量的仪器及工具 39
 - 3.1.3 经纬仪的操作步骤 41
 - 3.1.4 其他经纬仪介绍 42
- 3.2 角度测量 43
 - 3.2.1 水平角的观测 43
 - 3.2.2 竖直角观测 45
 - 3.2.3 角度观测误差及注意事项 48
- 3.3 经纬仪的检验与校正 48
 - 3.3.1 经纬仪的轴线及各轴线间应满足的几何条件 48
 - 3.3.2 经纬仪的检验与校正方法 49
- 3.4 三角高程测量 52
 - 3.4.1 三角高程测量原理 52

3.4.2	光电测距三角高程测量	53
3.5	经纬仪在倾斜观测中的应用	53
3.5.1	利用经纬仪测量建筑物倾斜位移 值的方法	53
3.5.2	建筑物主体倾斜观测的要求	54
3.5.3	建筑物主体倾斜观测的方法	55
	练习与作业	56
第4章	平面控制测量与全站仪的 使用	58
4.1	距离测量与直线定向	58
4.1.1	钢尺量距	58
4.1.2	视距测量	61
4.1.3	直线定向	64
4.2	控制测量	67
4.2.1	控制测量概述	67
4.2.2	导线测量	69
4.3	测设平面点位的方法	79
4.3.1	直角坐标法	79
4.3.2	极坐标法	79
4.3.3	角度交会法	80
4.3.4	距离交会法	80
4.4	全站仪概述	81
4.4.1	全站仪的基本功能	81
4.4.2	全站仪应用的主要特点	82
4.5	全站仪测量操作	83
4.5.1	测量前的准备	83
4.5.2	角度测量	83
4.5.3	距离测量	84
4.5.4	坐标测量	85
4.5.5	放样测量	85
4.5.6	程序测量	86
4.6	全站仪数据采集	88
4.6.1	设置采集参数	88
4.6.2	数据采集文件的选择	88
4.6.3	设置测站点与后视点	89
4.6.4	数据采集	90
4.7	全站仪内存管理与数据通信	90
4.7.1	存储管理	91
4.7.2	数据传输	93

4.7.3	文件操作	95
4.7.4	初始化	95
4.7.5	全站仪使用注意事项	95
	练习与作业	96

第二篇 大比例尺地形图测绘

第5章 大比例尺地形图的基本知识 及应用

5.1	地形图的比例尺	98
5.1.1	比例尺的种类	98
5.1.2	比例尺精度	99
5.2	地物符号和地貌符号	99
5.2.1	地物符号	99
5.2.2	地貌符号	104
5.3	地形图图外注记	107
5.4	地形图的分幅和编号	108
5.4.1	地形图的梯形分幅与编号	108
5.4.2	地形图的矩形分幅与编号	111
5.5	地形图的应用	111
5.5.1	读图方法	112
5.5.2	地形图的基本应用	112
5.5.3	地形图在工程设计中的应用	114
	练习与作业	117

第6章 大比例地形图测绘

6.1	测图前的准备工作	118
6.1.1	图纸准备	118
6.1.2	绘制坐标方格网	118
6.1.3	展绘控制点	119
6.2	碎部测量	119
6.2.1	碎部点的选择	119
6.2.2	经纬仪测绘法	120
6.2.3	地形图的绘制	121
6.3	竣工测量	122
6.3.1	竣工测量的内容	123
6.3.2	竣工总平面图的编绘	123
	练习与作业	125

第三篇 施工测量

第7章 施工测量基本工作与场地控制测量 126

7.1 施工测量概述	126
7.1.1 施工测量的内容	126
7.1.2 施工测量的特点	127
7.2 测设的基本工作	127
7.2.1 已知水平距离的测设	127
7.2.2 已知水平角度的测设	128
7.2.3 已知高程的测设	129
7.3 坐标系统及坐标换算	131
7.3.1 坐标系统	131
7.3.2 坐标换算	131
7.4 平面施工控制网	132
7.4.1 建筑基线	132
7.4.2 建筑方格网	134
7.5 施工场地高程控制测量	135
练习与作业	135

第8章 民用建筑施工测量 136

8.1 民用建筑施工测量概述	136
8.2 测设前的准备工作	136
8.2.1 熟悉图纸	136
8.2.2 现场踏勘	138
8.2.3 平整和清理施工现场	139
8.2.4 编制施工测量方案	139
8.3 民用建筑的定位与放线	140
8.3.1 建筑物的定位	140
8.3.2 建筑物的放线	140
8.4 基础施工测量	141
8.4.1 基础开挖深度的控制	141
8.4.2 基础标高的控制	141
8.5 墙体工程测量	142
8.5.1 墙体定位	142
8.5.2 墙体各部位标高控制	142
8.5.3 轴线投测	144
8.6 高层建筑的施工测量	144
8.6.1 高层建筑施工测量的特点	144

8.6.2 高层建筑轴线投测	144
8.6.3 高层建筑高程传递	146
练习与作业	146

第9章 工业建筑施工测量 147

9.1 厂房矩形控制网和柱列轴线测设	147
9.1.1 厂房矩形控制网测设方法	147
9.1.2 厂房柱列轴线测设	149
9.2 柱基础施工测量	149
9.3 厂房预制构件安装测量	151
9.3.1 柱子安装测量	151
9.3.2 吊车梁安装测量	153
9.3.3 屋架安装测量	154
9.4 烟囱施工测量	154
9.4.1 烟囱的中心定位、放线	155
9.4.2 烟囱基础施工放样	155
9.4.3 烟囱筒身施工放样	155
练习与作业	156

第四篇 施工测量案例

第10章 建筑工程测量案例 157

10.1 工程概况	157
10.2 测量准备	160
10.3 建筑物的定位和轴线控制网的测设	160
10.3.1 建筑物的定位	160
10.3.2 建筑物轴线控制桩的测设	160
10.4 高程控制网的建立	162
10.4.1 高程控制网的布设	162
10.4.2 高程控制	162
10.5 ± 0.000 以下施工测量	163
10.5.1 轴线控制桩的校测	163
10.5.2 平面放样测量	163
10.6 ± 0.000 以上施工测量	164
10.6.1 平面控制测量	164
10.6.2 支立模板时的测量	165
10.6.3 高程的传递	166

10.6.4	±0.000以上各楼层高程控制 测量·····	166
10.7	工程测量人员组织及设备配置···	167
10.7.1	人员组织·····	167
10.7.2	设备配置·····	168
10.8	施工测量质保措施·····	168
10.9	施工测量技术资料·····	168
10.9.1	施工测量放线报验申请·····	168
10.9.2	工程定位测量记录·····	169
10.9.3	楼层平面放线记录·····	171
10.9.4	楼层标高抄测记录·····	172
10.9.5	建筑物垂直度、标高测量记录···	173
	练习与作业·····	174

第五篇 阅读资料

阅读资料1 测量误差基本知识 ···· 175

阅1.1	测量误差概述·····	175
阅1.1.1	测量误差产生的原因·····	175
阅1.1.2	测量误差的分类及特征·····	176
阅1.1.3	偶然误差的特性·····	176
阅1.2	衡量精度的指标·····	177
阅1.2.1	中误差·····	177
阅1.2.2	容许中误差·····	178
阅1.2.3	相对中误差·····	178
阅1.3	算术平均值及其中误差·····	179
阅1.3.1	算术平均值·····	179
阅1.3.2	用观测值的改正数计算中 误差·····	179
阅1.4	误差传播定律·····	181
阅1.4.1	线性函数的中误差·····	181
阅1.4.2	非线性函数的中误差·····	182

阅读资料2 管道与道路施工测量 ··· 184

阅2.1	管道工程测量·····	184
阅2.1.1	施工前的测量工作·····	184
阅2.1.2	地下管道放线测设·····	184
阅2.1.3	地下管道施工测量·····	185
阅2.1.4	架空管道施工测量·····	187
阅2.1.5	顶管施工测量·····	187
阅2.1.6	管线竣工测量和竣工图编绘···	188

阅2.2	道路施工测量·····	188
阅2.2.1	圆曲线主点测设·····	189
阅2.2.2	圆曲线的详细测设·····	190
阅2.2.3	道路施工测量·····	191

阅读资料3 全球定位系统GPS ···· 197

阅3.1	GPS概述·····	197
阅3.1.1	GPS简介·····	197
阅3.1.2	GPS的组成·····	197
阅3.2	GPS定位原理与实施·····	199
阅3.2.1	GPS定位原理·····	199
阅3.2.2	GPS测量的实施·····	199
阅3.2.3	GPS数据处理·····	200

阅读资料4 大比例数字地形图测绘 与应用 ····· 201

阅4.1	使用CASS软件进行数字化 成图·····	201
阅4.1.1	CASS6.1的操作界面介绍·····	201
阅4.1.2	草图法数字测图·····	202
阅4.1.3	电子平板法数字测图·····	204
阅4.1.4	等高线的处理·····	207
阅4.1.5	地形图整饰·····	210
阅4.2	图解地形图的数字化·····	212
阅4.2.1	插入光栅图像·····	212
阅4.2.2	加图框·····	213
阅4.2.3	剪裁光栅图像·····	213
阅4.2.4	设置光栅图像透明·····	214
阅4.2.5	纠正光栅图像·····	214
阅4.2.6	数字化·····	215
阅4.3	数字地形图的应用简介·····	215
阅4.3.1	查询计算与结果注记·····	215
阅4.3.2	土方量的计算·····	217

附录 建筑工程测量实训····· 219

附录A	实训须知·····	219
附录B	课内实训指导·····	221

参考文献····· 240

第一篇 测量的基本原理和方法

第 1 章 绪 论

1.1 建筑工程测量的任务及作用

1.1.1 测量学的定义及分类

测量学是研究如何测定地面点的点位，将地球表面的各种地物、地貌及其他信息测绘成图，以及确定地球的形状和大小的一门科学。其内容包括测定和测设两部分。测定又称测图，它是使用测量仪器和工具，通过测量和计算得到一系列的数据，再把地球表面的地物和地貌运用各种符号及数字缩绘成地形图，供规划设计、经济建设、国防建设和科学研究使用。其实质就是将地面上点的位置测绘到图上。测设又称为放样，它是将图纸上已设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来，作为施工的依据。其实质就是将图纸上点的位置测设到地面上。

大地测量学——研究地球的形状和大小，解决大范围地区的控制测量和地球重力场问题。近年来随着空间技术的发展，大地测量正在向空间大地测量和卫星大地测量方向发展。

摄影测量学——研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息，以确定物体的形状、大小和空间位置的理论和方法。由于获得图片的方式不同，摄影测量又分为航空摄影测量、水下摄影测量、地面摄影测量和航天遥感等。

海洋测量学——以海洋和陆地水域为研究对象，研究港口、码头、航道及水下地形测量的理论和方法。

工程测量学——研究各种在规划设计、施工放样、竣工验收和营运中测量的理论和方法。

地图制图学——研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的一门学科。研究内容主要包括地图编制、地图投影学、地图整饰、印刷等。现代地图制图学向着制图自动化、电子地图制作及地理信息系统方向发展。

1.1.2 建筑工程测量的任务

建筑工程测量是测量学的一个组成部分。它包括建筑工程在勘测设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作。它的主要任务为：

(1)测绘大比例尺地形图——把工程建设区域内的地貌和各种物体的几何形状及其空间位置,依照规定的符号和比例尺绘成地形图,并把建筑工程所需的数据用数字表示出来,为规划设计提供图纸和资料。

(2)施工放样和竣工测量——把图纸上规划设计好的建(构)筑物,按照设计要求在现场标定出来,作为施工的依据;配合建筑施工,进行各种测量工作,确保施工质量;开展竣工测量,为工程验收、日后扩建和维修管理提供资料。

(3)建筑物变形观测——对于一些重要建(构)筑物,在施工和运营期间,定期进行变形观测,以了解建(构)筑物的变形规律,监视其安全施工和运营。

由此可见,测量工作贯穿于工程建设的全过程,其工作质量直接关系到工程建设的速度和质量,因此,建筑工程类的学生必须掌握必要的测量知识和技能。

1.1.3 建筑工程测量的作用

(1)测量是土木工程规划建设的重要依据。

(2)测量是土木工程勘察设计现代化的重要技术。

(3)测量是土木工程顺利施工的重要保证。

(4)测量是房地产管理、工程综合质量检验、重要土木工程设施安全监视的重要手段。

土木工程技术人员明确测量科学在工程建设中的重要地位,熟练掌握测量基本理论和技术原理,熟练掌握和应用工程测量基本理论和方法,是进行交通土木工程技术工作的基本条件。

1.2 测量工作的基准面和基准线

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面,但地球表面形状十分复杂。通过长期的测绘工作和科学调查,人们了解到地球表面上海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%,世界第一高峰珠穆朗玛峰高出海平面 8 848.13 m,而位于太平洋西部的马里亚纳海沟低于海水面 11 022 m。尽管有如此大的高低起伏,但相对于地球半径 6 371 km 来说仍可忽略不计。因此,测量中把地球总体形状看成是由静止的海水面向陆地延伸所包围的球体。

1.2.2 铅垂线、水平线、水平面和水准面

由于地球的自转运动,地球上任意一点都受到离心力和地球引力的双重作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。与所在点位的铅垂线相互垂直的线称为水平线。在施工中,水平线主要是用来控制标高,常见的有 0.5 m 线和 1 m 线。处处与重力方向垂直的连续曲面称为水准面。任何自由静止的水面都是水准面。与水准面相切的平面称为水平面。水准面因其高度不同而有无数个,其中与平均海水面相重合并延伸向大陆且包围整个地球的闭合曲面称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面包围的地球形体,称为大地体。

大地水准面和铅垂线是测量外业所依据的基准面和基准线。用大地体表示地球形体是恰当的，但由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线的方向产生不规则的变化，致使大地水准面是一个复杂的曲面(图 1-1)，无法在这个曲面上进行测量数据处理。为了使用方便，通常用一个非常接近于大地水准面，并可用数学式表示的几何形体(即地球椭球)来代替地球的形状(图 1-2)作为测量计算工作的基准面。

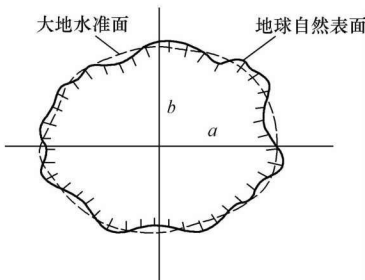


图 1-1 地球自然表面与大地水准面

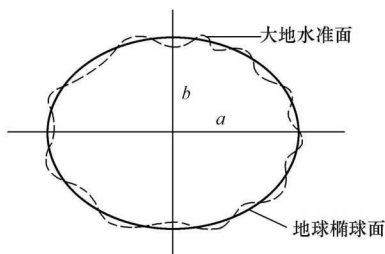


图 1-2 大地水准面与地球椭球面

目前，我国采用了 1975 年国际椭球，该椭球的基本元素为：长半轴 $a=6\,387.14\text{ km}$ ，短半轴 $b=6\,356.74\text{ km}$ ；扁率 $\alpha=1/298.257$ 。

1.3 地面点位的确定

地球表面上的点称为地面点，不同位置的地面点有不同的点位。地面点必须在选定的坐标系里确定其位置。测量工作的实质是确定地面点的点位。

1.3.1 地面点平面位置的确定

地面点的坐标常用地理坐标系和平面直角坐标系来表示。

1. 地理坐标系

按表示坐标所依据的基本线和基本面的不同以及计算坐标方法的不同，地理坐标系又可分为天文地理坐标系和大地地理坐标系两种。

(1)天文地理坐标系。天文地理坐标又称为天文坐标，表示地面点在大地水准面上的位置，它的基准是铅垂线和大地水准面，它用天文经度 λ 和天文纬度 φ 两个参数来表示地面点在球面上的位置。

如图 1-3 所示，过地面上任一点 P 的铅垂线与地球旋转轴 NS 所组成的平面称为该点的天文子午面，天文子午面与大地水准面的交线称为天文子午线，也称经线。设 G 点为英国格林尼治天文台的位置，则过 G 点的天文子午面为首子午面。 P 点天文经度 λ 的定义是：过 P 点的天文子午面 $NPKS$ 与首子午面 $NGMS$ 的两面角，从首

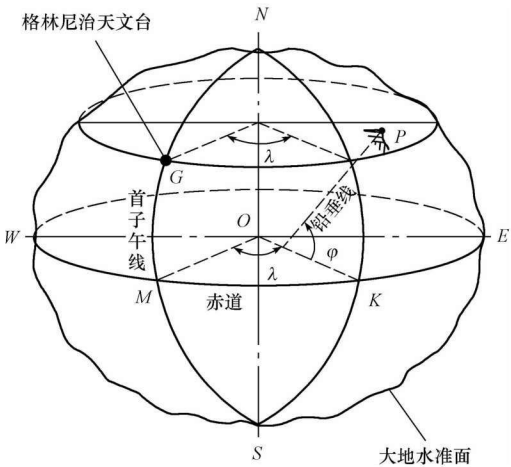


图 1-3 天文地理坐标

子午面向东或向西计算,取值范围是 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$,在首子午线以东为东经,以西为西经。同一子午线上各点的经度相同。过 P 点垂直于地球旋转轴的平面与地球表面的交线称为 P 点的纬线,过球心 O 的纬线称为赤道。 P 点天文纬度 φ 的定义是: P 的铅垂线与赤道平面的夹角,自赤道起向南或向北计算,取值范围为 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$,在赤道以北为北纬,以南为南纬。

(2)大地地理坐标系。大地地理坐标又称大地坐标,是表示地面点在参考椭球面上的位置,它的基准是法线和参考椭球面,它用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。 P 点的大地经度 L 是过 P 点的大地子午面和首子午面所夹的两面角, P 点的大地纬度 B 是过 P 点的法线与赤道面的夹角。大地经、纬度是根据起始大地点的大地坐标,按大地测量所得的数据推算而得的,我国以陕西省泾阳县永乐镇大地原点为起算点,由此建立的大地坐标系,称为“1980 西安坐标系”,简称 80 系或西安系;通过与苏联 1942 年普尔科沃坐标系联测,经我国东北传算过来的坐标系称“1954 北京坐标系”,其大地原点位于苏联列宁格勒^①天文台中央。

2. 平面直角坐标系

(1)高斯平面直角坐标系。高斯投影是由德国数学家高斯(Gauss)提出,后经德国大地测量学家克吕格(Kruger)加以补充完善,故又称“高斯—克吕格投影”,简称“高斯投影”。

高斯投影是将地球按经线划分成带,从首子午线起,每隔经度 6° 划分为一带(称为统一 6° 带),如图 1-4 所示,自西向东将整个地球划分为 60 个带。带号从首子午线开始,用阿拉伯数字表示,位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线。第一个 6° 带的中央子午线的经度为 3° ,任意带的中央子午线经度 L 与投影带号 N 的关系为:

$$L=6N-3 \quad (N \text{ 为 } 6^{\circ} \text{ 带的带号}) \tag{1-1}$$

反之,已知地面任一点的经度 L ,要求计算该点所在的统一 6° 带编号的公式为:

$$N=\text{Int}\left(\frac{L+3}{6}+0.5\right) \tag{1-2}$$

式中,Int 取整函数。

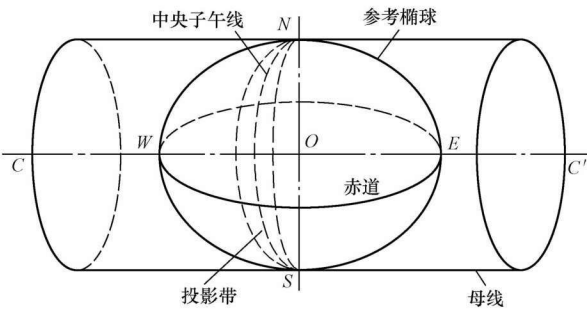


图 1-4 高斯平面直角坐标的投影

在高斯投影中,离中央子午线越近的部分变形越小,离中央子午线越远变形越大,两侧对称。当要求投影变形更小时,可采用 3° 带投影。 3° 带是从东经 $1^{\circ}30'$ 开始,按 3° 的经差自西向东分成 120 个带。按照 3° 带划分的规定,第 1 带中央子午线的经度为 3° ,其余各带中央子午线经度与带号的关系为:

$$L=3n \quad (n \text{ 为 } 3^{\circ} \text{ 带的带号}) \tag{1-3}$$

反之,已知地面任一点的经度 L ,要求计算该点所在的 3° 带编号的公式为:

^① 列宁格勒:今为圣彼得堡。

$$n = \text{Int}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \quad (1-4)$$

6°带投影与 3°带投影的关系，如图 1-5 所示。

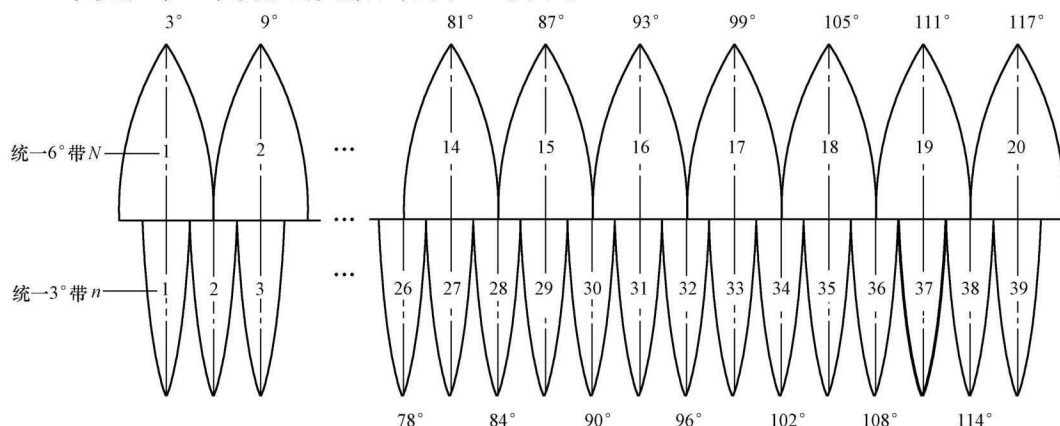


图 1-5 6°带投影与 3°带投影的关系

我国领土所处的概略经度范围是东经 $73^{\circ}27'$ 至东经 $135^{\circ}09'$ ，根据式(1-2)和式(1-4)求得的 6°带投影与 3°带投影的带号范围分别为 13~23，25~45。可见，在我国领土范围内，6°带与 3°带的投影带号不重复。

(2)独立平面直角坐标系。当测区范围较小时，可以将大地水准面当作平面看待，并在该面上建立独立平面直角坐标系。地面点在大地水准面上的投影位置就可以用该平面直角坐标系中的坐标值来确定，如图 1-6 所示。

一般将独立平面直角坐标系的原点选在测区西南方向之外，以使测区内任意点的坐标均为正值。坐标系原点可以是假定坐标值，也可采用高斯平面直角坐标值。规定 x 轴向北为正， y 轴向东为正，坐标象限按顺时针编号，如图 1-7 所示。

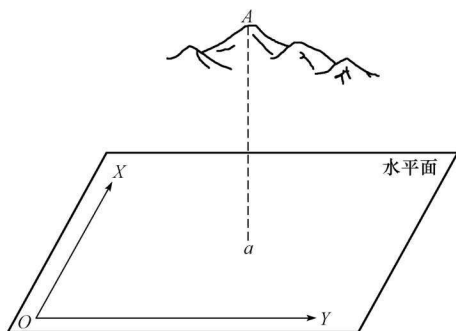


图 1-6 独立平面直角坐标系

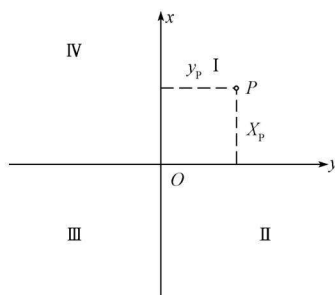


图 1-7 坐标象限

1.3.2 地面点高程的确定

地面点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程，简称高程，用 H 表示。如图 1-8 所示， H_A 、 H_B 分别表示 A 点和 B 点的高程。

我国的高程以青岛 1953—1979 年验潮资料确定的黄海平均海水面为基准，并在青岛建立国家水准原点，其高程为 72.260 m，称为“1985 国家高程基准”。

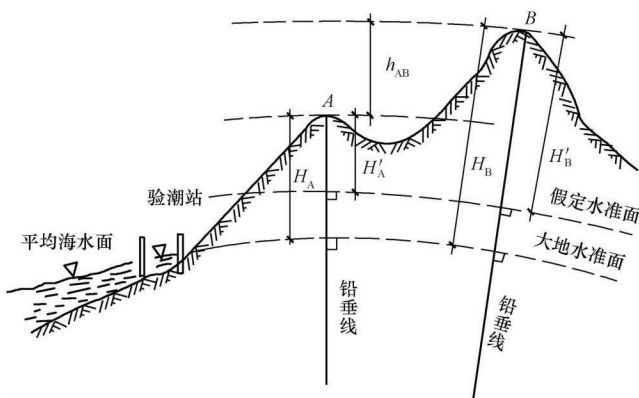


图 1-8 高程和高差

局部地区采用绝对高程有困难时，也可假定一个水准面作为高程起算面(指定某个固定点并假设其高程为零)，地面点到假定水准面的铅垂距离称为该点的相对高程。如图 1-8 所示， H'_A 、 H'_B 分别表示 A 点和 B 点的相对高程。地面两点之间的高程差称为高差，用 h 表示。A、B 两点的高差为： $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ ，B、A 两点的高差为： $h_{BA} = H_A - H_B = H'_A - H'_B$ ，由此可见 $h_{AB} = -h_{BA}$ 。

1.3.3 用水平面代替水准面的限度

水准面是一个曲面，曲面上的图形投影到平面上，总会产生一定的变形，当变形不超过测量误差的容许范围时，可以用水平面代替水准面，如图 1-9 所示。但在多大面积范围内才允许这种代替。下面讨论将大地水准面近似为水平面看待时，对水平距离和高程的影响。

1. 对水平距离的影响

由图 1-9 可知：

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-5)$$

式中， θ 为弧长 D 所对的圆心角，以弧度为单位； R 为地球的平均曲率半径。将 $\tan \theta$ 按三角级数展开并略去高次项，得：

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \dots \approx \theta + \frac{1}{3} \theta^3 \quad (1-6)$$

将式 (1-6) 代入式 (1-5) 并顾及 $\theta = \frac{D}{R}$ ，得 $\Delta D =$

$R \left[\left(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 \right) - \theta \right] = R \frac{\theta^3}{3} = \frac{D^3}{3R^2}$ ，则有 $\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2}$ ，以不同的 D 值代入上式，求出距离误差 ΔD 及其相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$ 列于表 1-1。

表 1-1 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{mm}$	相对误差 $\Delta D/D$
10	8	1 : 1 220 000

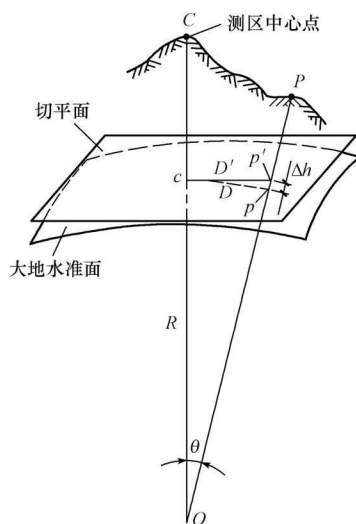


图 1-9 用水平面代替水准面对距离和高程的影响

续表

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{mm}$	相对误差 $\Delta D/D$
20	128	1 : 200 000
50	1 026	1 : 49 000
100	8 212	1 : 12 000

从表 1-1 可知, 当距离 D 为 10 km 时, 所产生的相对误差为 1/1 220 000, 这样小的误差, 即使是精密量距, 也是允许的。所以, 在半径为 10 km 的圆内的距离, 可用水平面代替大地水准面。

2. 对高程的影响

由图 1-9 可知:

$$\Delta h = Op' - Op = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \tag{1-7}$$

将 $\sec \theta$ 按三角级数展开并略去高次项, 得:

$$\sec \theta = 1 + \frac{1}{2} \theta^2 + \frac{5}{24} \theta^4 + \dots \approx 1 + \frac{1}{2} \theta^2 \tag{1-8}$$

将式(1-8)代入式(1-7), 得:

$$\Delta h = R \left(1 + \frac{1}{2} \theta^2 - 1 \right) = \frac{R}{2} \theta^2 = \frac{D^2}{2R} \tag{1-9}$$

由不同的距离 D 代入式(1-9), 可得表 1-2 所列的结果。

表 1-2 水平面代替水准面的高程误差

距离 D/km	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
$\Delta h/\text{mm}$	0.8	3	7	13	20	78	314	1 962	7 848

由表 1-2 可知, 用水平面代替大地水准面作为高程的起算面, 对高程的影响很大, 距离 200 m 时就有 3 mm 的高差误差, 这是不能允许的。因此, 高程的起算面不能用水平面代替, 最好使用大地水准面。如果测区内没有国家高程点时, 可以假设通过测区内某点的水准面为零高程水准面。所以, 高程的起算面不能用切平面代替。

1.3.4 确定地面点的三个基本要素

地面点的空间位置是以投影平面上的坐标 (x, y) 和高程 H 确定的, 而点的坐标一般是通过测量水平角和水平距离来确定的, 点的高程是通过测定高差推算高程来确定的。

因此, 高差测量、水平角测量和水平距离测量是测量的三项基本工作。

1.4 建筑工程测量的原则和程序

1.4.1 地物与地貌

地球表面错综复杂的各种形态称为地形。地形可以分为地物和地貌两大类。地面上固定性的自然和人工物体称为地物, 地物一般可分为两大类: 一类是自然地物, 如河流、湖泊、森林、草地、独立岩石等; 另一类是经过改造的人工地物, 如房屋、高压输电线、铁路、

公路、水渠、桥梁等。地面上高低起伏的形态称为地貌，如山岭、谷地、悬崖与陡壁等。

图 1-10 中前部有两幢并排的房屋，其平面位置由房屋的轮廓线组成，如能测定 1~8 个屋角点的平面位置，这两幢房屋的位置也就确定了。对于地貌，其地势起伏变化虽然复杂，仍可看成是由许多不同方向、不同坡度的平面相交而成的几何体，相邻平面的交线就是方向变化线和坡度变化线。只要测定这些方向变化线和坡度变化线交点的平面坐标，则地貌的形状和大小也基本反映出来。因此，不论地物或地貌，它们的形状和大小都是由一些特征点的位置所决定的，这些特征点称为碎部点。地形测图就是通过测定这些碎部点的平面坐标和高程来绘制地形图。

1.4.2 测量工作的程序与原则

测量工作不可避免地会产生误差，为防止误差的传递与积累，保证测区内地面点位置的测量精度，测量工作必须按一定的程序和原则进行。如图 1-10 所示，以如何将地物与地貌测绘到图纸上为例，介绍测定工作的原则和程序。

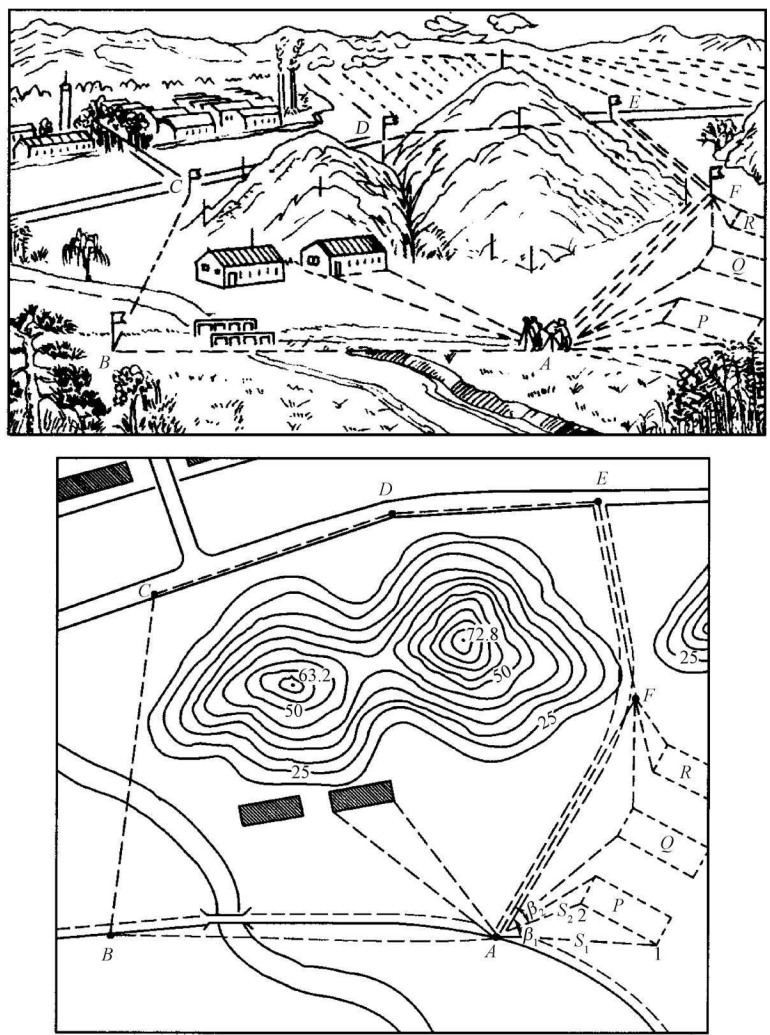


图 1-10 地形图测量示意图

测定碎部点的位置，其工作程序通常可分为两步：首先，进行控制测量。先在测区内选择具有控制意义的点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 作为控制点，用比较精确的测量方法测定其位置，这些控制点就可以控制误差传递的范围和大小；其次，进行碎部测量。即在控制点基础上，用稍低一些精度的测量方法（即碎部测量）测定地面各碎部点的位置（坐标及高程），如在控制点 A 上测定其周围的碎部点 1、2、3 等。最后，根据这些碎部点的坐标与高程，按一定的比例尺将整个测区缩小绘制成地形图。

从上述分析可知，测量工作必须遵循的原则是：布局上“由整体到局部”，精度上“先高级后低级”，程序上“先控制后碎部”。测量工作的这些重要原则，不但可以保证减少测量误差的积累，还可使测量工作在几个控制点上同时进行，从而加快测量工作的进度。另外，为了防止和检查测量工作中出现的错误、提高测量工作效率，测量工作必须重视检核，防止发生错误，避免错误的结果对后续测量工作的影响。因此，“前一步工作未做检核不得进行下一步工作”，这是测量工作应遵循的又一个原则。

1.5 建筑工程测量常用的测量仪器

现代测绘科学技术的快速发展促进了建筑工程测量技术的变革。十年前还在广泛使用的传统测量仪器、工具和测绘方法已逐渐被更先进的测量仪器、工具和测绘方法所取代。测量仪器和测量方法的更新换代，为建筑工程测量快速、准确、高效地进行提供了一个更高的平台。下面就几种常用仪器进行简单介绍。

1.5.1 水准仪

水准仪主要作用是提供一条水平视线，通过对水准尺的读数差值测出两点之间的高差，从而可以间接推算出未知点的高程，在建筑工程中主要用于场地抄平以及控制标高。例如，用水准仪把建筑水平标高根据施工的要求，直接引测到模板安装位置。

水准仪的种类包括微倾水准仪、自动安平水准仪、电子水准仪等。

1.5.2 经纬仪

经纬仪主要用于水平角以及竖直角观测，在建筑工程中进行角度的测量以及视距测量。在建筑工程的轴线测设时，常用经纬仪进行角度放样；对于高层建筑的垂直度以及变形监测，也常用到经纬仪。

经纬仪的种类包括光学经纬仪、电子经纬仪、激光经纬仪等。

1.5.3 全站仪

全站仪集电子测距、电子测角和微处理机于一体，能自动记录、存储并具备某些固定计算程序。全站仪的出现，完全取代了经纬仪，并在高程精度要求不高时进行高程控制测量。全站仪的出现，使得测量外业的效率大大提高，同时也促进了数字化成图的快速发展。

全站仪的种类包括光学全站仪、免棱镜全站仪、自动全站仪等。另外，建筑工程上还用到了光电测距仪、GPS 接收机、激光垂线仪、激光指向仪、手持测距仪等。关于各种仪器的具体使用及其功能，在后面的章节会详细介绍。