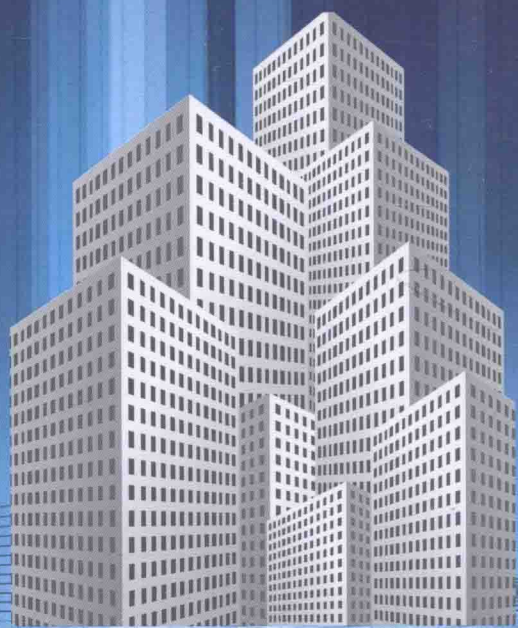


普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程测量

第二版

刘玉梅 常 乐 主 编
姚 敬 副主编



化学工业出版社



普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程测量

TUMU GONGCHENG CELIANG

第二版

刘玉梅 常 乐 主 编

姚 敬 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共分十五章,前四章介绍了测量学的基本知识及常规测量仪器的使用基本技术;第五章介绍了测量误差的基本知识;第六章介绍了小地区控制测量的基本内容、GNSS的基本原理和施测方法;第七章至第九章介绍了大比例尺地形图的基本知识、测绘方法及其在工程规划设计中的应用;第十章介绍了测设的基本工作;第十一章至第十四章介绍了建筑工程、道路工程、桥梁工程、地下工程在设计、施工、运营各阶段的测量工作;第十五章介绍了全站仪的原理及其使用的基本技术。

本书可供本科及大、中专院校的建筑工程、道路工程、桥梁工程、环境工程、给水排水工程、地下工程、土地资源管理、建筑学、城市规划、测绘工程等专业作为“测量学”或“工程测量”课程的教材,也可供从事测绘工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/刘玉梅,常乐主编.—2版.—北京:
化学工业出版社,2016.2

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-25956-1

I. ①土… II. ①刘…②常… III. ①土木工程-工程
测量-高等学校-教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第315967号

责任编辑:满悦芝 石磊

文字编辑:荣世芳

责任校对:王素芹

装帧设计:刘亚婷

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张16 $\frac{3}{4}$ 字数430千字 2016年3月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:38.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书是以 2011 年出版的《工程测量》教材为基础,结合编者多年的教学经验,根据具体的教学需要,具有针对性地进行了修改与编写并更名为《土木工程测量》。

本书以“地面点位的确定”为核心,在介绍了测量的基本工作以及数据处理的基础上,阐述了控制测量到地形测量的全过程,最后重点落到工程测量上。将“地面点定位”与各种工程建设中需要的“点位确定”紧密地联系起来,强调测量技术在各种工程中,尤其是土木工程中的位置,强调测量技术原则在工程上的具体表现形式,强调测量技术原理在工程上的应用,强调测量技术方法与工程的勘测设计阶段、施工阶段以及竣工运营阶段的密切联系。比较全面地体现了测量技术在土木工程建设中的重要作用和意义。

在编写过程中,保持了学科的原有体系,力求与目前测绘学科发展水平相适应,为此,对一些陈旧内容及目前不采用的测量方法进行了慎重删减。尽可能多地介绍符合现代测绘发展方向的新内容、新技术、新仪器和新方法。为此增加了 GNSS 技术、测绘数字化技术等,将全站测量技术由原来的一节增加为一章,把当今工程测量技术集中到现代“全站测量”的意义上,充分地体现了测量技术的最新发展。

为满足教学需要,每章之后附有思考题及习题。为配合实验、实习教学,本书有配套的《工程测量实验实习指导书与报告》。

全书由沈阳建筑大学交通工程学院测绘工程教研室教师刘玉梅、姚敬、王欣,研究生刘芳、杨文波,以及沈阳城市建设学院土木工程系测绘工程教研室教师常乐、曹雪、郭春蕾共同编写。刘玉梅、常乐担任主编,姚敬为副主编。全书由刘玉梅负责统稿。编写人员的具体分工如下:刘玉梅编写第一章、第五章、第十章、第十一章;常乐编写第三章、第四章;姚敬编写第二章;曹雪编写第六章、第七章;郭春蕾编写第八章、第九章;刘玉梅、王欣编写第十二章、第十三章;刘芳编写第十四章;杨文波编写第十五章。全书由姚敬校核。

由于编写人员水平及时间有限,书中不当之处一定存在,恳请读者指出,以便不断完善。

编 者
2016 年 1 月

第一版前言

近年来,随着测绘技术的高速发展,新仪器新产品的不断问世以及市场经济对人才培养的需求,为使教材内容满足经济建设的需要,适应工科院校宽口径专业改革的需要以及复合型人才的要求,结合编者们的多年的教学经验,对1997年出版的《测量学》进行重新编写并更名为《工程测量》。

本书以“地面点位的确定”为核心,在介绍了测量的基本工作以及数据处理的基础上,阐述了控制测量到地形测量的全过程,最后重点落到工程测量上。将“地面点定位”与各种工程建设中需要的“点位确定”紧密地联系起来,强调测量技术在各种工程中,尤其是土木类工程中的位置,强调测量技术原则在工程上的具体表现形式,强调测量技术原理在工程上的应用,强调测量技术方法与工程的勘测设计阶段、施工阶段以及竣工运营阶段的密切联系,比较全面地体现了测量技术在工程建设中的重要作用和意义。

在编写过程中,保持了学科的原有体系,力求与目前测绘学科发展水平相适应,为此,编者对一些陈旧内容及目前不采用的测量方法进行了慎重删减,如精密钢尺量距方法和小平板与经纬仪联合测图法等。同时,尽可能多地介绍符合现代测绘发展方向的新内容、新技术、新仪器和新方法。为此增加了GNSS技术、测绘数字化技术等,将全站测量技术由原来的一节增加为一章,把当今工程测量技术集中到现代“全站测量”的意义上,充分地体现了测量技术的最新发展。

为满足教学需要,每章之后附有思考题与习题。为配合实验、实习教学,与本书配套的《工程测量实验实习指导书与报告》也即将出版。

全书由沈阳建筑大学测绘工程教研室编写。刘玉梅、王井利担任主编。编写人员的分工如下:刘玉梅编写第五章、第十一章和第十二章;王井利编写第一章、第八章、第十四章和第十五章;姚敬、王欣编写第二章;姚敬编写第四章;丁华编写第三章;王岩编写第六章;王岩、王欣编写第十三章;刘茂华编写第七章;马运涛编写第九章;孙立双编写第十章。本书由姚敬、王欣校核。

由于编写人员水平及实践经验有限,书中难免有不妥之处,恳请读者指出,以便不断完善。

编 者
2011年5月

目 录

第一章 绪论	1	第八节 自动安平水准仪	30
第一节 土木工程测量的任务	1	一、视线自动安平原理	30
一、测量学概述	1	二、自动安平补偿器	31
二、测量学的分类	1	三、自动安平水准仪的使用	32
三、土木工程测量的任务	2	第九节 精密水准仪与电子水准仪	32
四、学习测量学的目的	2	一、精密水准仪及水准尺	32
第二节 测量学的发展简况	2	二、电子水准仪	34
一、测量学的发展简史	2	思考题与习题	36
二、测量学的发展现状	3	第三章 角度测量	38
第三节 测量工作的基准	5	第一节 角度测量原理	38
一、地球的形状和大小	5	一、水平角测量原理	38
二、测量基准的确定	6	二、竖直角测量原理	38
三、用水平面代替水准面的范围	10	第二节 光学经纬仪	39
四、确定地面点位的三个基本要素	11	一、DJ ₆ 级光学经纬仪的构造	39
第四节 测量工作的组织原则与程序	11	二、DJ ₂ 级光学经纬仪的构造	41
第五节 测量常用的计量单位与换算	13	第三节 水平角测量	43
第六节 测量计算数值凑整规则	13	一、经纬仪的操作	43
思考题与习题	13	二、水平角观测方法	45
第二章 水准测量	14	第四节 竖直角测量	47
第一节 水准测量原理	14	一、竖直度盘的构造	47
第二节 水准测量的仪器及工具	15	二、竖直度盘自动归零装置	47
一、DS ₃ 型微倾式水准仪的构造	15	三、竖直角度的计算	47
二、水准尺和尺垫	19	四、竖直角观测	48
第三节 水准仪的使用	19	第五节 经纬仪的检验与校正	49
第四节 水准测量的实施	20	一、照准部水准管的检验与校正	49
一、水准点及其埋设	20	二、十字丝竖丝的检验与校正	50
二、水准路线	21	三、视准轴的检验与校正	50
三、水准测量外业的实施	22	四、横轴的检验与校正	51
第五节 水准测量的内业处理	24	五、光学对中器的检验与校正	52
一、附和水准路线闭合差的计算与调整	24	第六节 水平角测量的误差分析及注意	
二、闭合水准路线闭合差的计算与调整	25	事项	52
第六节 微倾式水准仪的检验与校正	25	第七节 全站仪水平角测量	54
一、圆水准器轴平行仪器竖轴的检验		一、全站仪概念	54
校正	26	二、全站仪的基本结构	55
二、十字丝横丝垂直仪器竖轴的检验与		三、全站仪测角原理	55
校正	27	四、全站仪测角应用	55
三、水准管轴平行视准轴的检验与校正	27	五、全站仪的操作使用注意事项	57
第七节 水准测量的误差及注意事项	28	六、全站仪的特点	58
一、仪器误差	28	思考题与习题	58
二、观测误差	29	第四章 距离测量与直线定向	60
三、外界条件影响	29	第一节 钢尺量距	60

一、钢尺及其辅助工具	60	四、工程测量平面控制网概况	90
二、直线定线	61	五、高程控制测量概况	92
三、钢尺量距的一般方法	62	第二节 导线测量	93
第二节 电磁波测距	63	一、导线测量概述	93
一、测距原理	63	二、导线测量的外业工作	94
二、全站仪测距应用	64	三、导线测量的内业计算	95
三、测距误差和标称精度	67	四、查找导线测量粗差的基本方法	100
第三节 直线定向	67	第三节 小三角测量	102
一、标准方向的种类	67	一、小三角网的布设形式	103
二、直线方向的表示方法	68	二、小三角测量的外业工作	103
三、几种方位角之间的关系	68	三、小三角测量的内业计算	104
四、坐标方位角	69	第四节 交会定点	106
五、象限角与坐标方位角	69	一、前方交会	106
六、距离、方位角与坐标之间的关系	70	二、后方交会	107
七、坐标方位角的推算	70	三、侧方交会	108
八、罗盘仪测定磁方位角	71	四、测边交会	108
思考题与习题	72	第五节 全球导航卫星系统	109
第五章 测量误差的基本知识	73	一、概述	109
第一节 测量误差	73	二、GPS 的构成	109
一、测量误差产生的原因	73	三、GPS 定位原理	110
二、测量误差的分类	73	四、GPS 的特点及主要误差来源	113
三、偶然误差特性	74	五、GPS 测量的实施	113
第二节 衡量精度的标准	76	六、RTK 简介及应用	114
一、方差与中误差	76	第六节 高程控制测量	116
二、相对误差	77	一、概述	116
三、容许误差	77	二、三、四等水准测量	116
第三节 误差传播定律	78	三、三角高程测量	119
一、和差函数	78	思考题与习题	120
二、倍数函数	80	第七章 地形图的基本知识	122
三、线性函数	80	第一节 地形图的比例尺	123
四、一般函数	81	一、比例尺的表示方法	123
第四节 算术平均值及其中误差	82	二、地形图按比例尺分类	123
一、算术平均值	82	三、比例尺精度	124
二、观测值改正数	82	第二节 地形图的分幅和编号	124
三、由观测值改正数计算观测值中误差	83	一、经纬网梯形分幅方法	124
四、算术平均值的中误差	84	二、矩形分幅方法（正方形分幅方法）	127
第五节 加权平均值及其中误差	85	第三节 地形图的图外注记	128
一、观测值的权	85	一、图号、图名、接图表	128
二、加权平均值及其中误差	85	二、比例尺和图廓线	128
三、单位权中误差的计算	86	三、经纬度及坐标格网	128
思考题与习题	87	四、地形图的坐标系统和高程系统	129
第六章 小地区控制测量	88	五、测图单位、时间、方式、人员	129
第一节 控制测量概述	88	第四节 地形图图式	129
一、控制测量的定义与分类	88	一、地物符号	129
二、平面控制测量的基本方法	88	二、地貌符号	129
三、国家平面控制网概况	88		

三、注记	129	三、已知高程的测设	163
第五节 等高线	132	第二节 点的平面位置测设	164
一、等高线的概念	132	一、直角坐标法	164
二、几种典型地貌的等高线表示方法	132	二、极坐标法	165
三、等高线的特性	134	三、角度交会法	165
思考题与习题	135	四、距离交会法	166
第八章 大比例尺地形图的测绘	136	第三节 已知坡度直线的测设	166
第一节 碎部测量	136	思考题与习题	167
一、测图前的准备工作	136	第十一章 建筑工程测量	168
二、碎部测量方法	137	第一节 建筑场地施工控制网概述	168
第二节 视距测量	139	一、平面控制网	168
一、视线水平时的距离与高差公式	139	二、高程控制网	169
二、视线倾斜时的距离与高差公式	140	第二节 民用建筑放样	170
三、影响视距测量精度的主要因素	140	一、建筑物放样	170
四、视距测量注意事项	141	二、龙门板（或控制桩）设置	170
第三节 地形图的绘制	142	三、高层建筑施工测量	171
一、地物的测绘	142	第三节 工业厂房放样	174
二、地貌的测绘	142	一、厂房控制网的放样	174
三、地形图的拼接、检查与整饰	144	二、厂房柱列轴线放样	175
第四节 数字化测图方法	145	三、柱列基础放样	175
一、概述	145	四、厂房构件安装测量	175
二、野外数字化数据采集方法	145	第四节 建筑物的变形观测	176
三、地形图的处理与输出	149	一、建筑物的沉降观测	176
思考题与习题	150	二、建筑物的倾斜观测	179
第九章 地形图的应用	151	三、挠度和裂缝观测	179
第一节 地形图的基本应用	151	第五节 竣工总平面图的编绘	180
一、确定图上点的坐标	151	思考题与习题	181
二、确定两点间的水平距离	151	第十二章 道路工程测量	182
三、确定两点间直线的坐标方位角	152	第一节 道路工程测量概述	182
四、确定点的高程	152	第二节 初测与定线	183
五、确定两点间直线的坡度	153	一、初测	183
六、面积的量算	153	二、定线	184
第二节 按限定的坡度选定等坡路线	154	第三节 中线测量	185
第三节 绘制已知方向纵断面图	155	一、交点测设	185
第四节 确定两点间是否通视	155	二、转点测设	186
第五节 确定汇水面积的边界线	156	三、转角测定	187
第六节 土方量的计算	156	四、里程桩设置	187
一、方格网法	156	第四节 圆曲线测设	188
二、等高线法	159	一、圆曲线主点测设	188
三、断面法	159	二、圆曲线的详细测设	189
思考题与习题	160	第五节 困难地段圆曲线测设	192
第十章 测设的基本工作	161	一、虚交	192
第一节 水平距离、水平角度和高程的 测设	161	二、偏角法视线受阻	194
一、已知水平距离的测设	161	第六节 回头曲线	194
二、已知水平角的测设	162	一、推磨法	195
		二、顶点切基线法	195

第七节 缓和曲线	196	第四节 隧道施工测量	230
一、缓和曲线公式	196	一、隧道洞内中线和腰线测设	230
二、圆曲线带有缓和曲线段的主点测设	198	二、隧道洞内施工导线测量和水准测量	230
三、带有缓和曲线的曲线详细测设	199	三、隧道盾构施工测量	230
第八节 道路纵、横断面测量	200	第五节 管道施工测量	231
一、道路纵断面测量	200	一、准备工作	231
二、道路横断面测量	203	二、地下管道放线测设	232
第九节 道路施工测量	205	三、地下管道施工测量	232
一、道路施工测量的准备工作	205	四、架空管道施工测量	234
二、路线复测	206	五、顶管施工测量	234
三、中线控制桩引桩的设置	206	第六节 地下建筑工程竣工测量	234
四、路基边桩的测设	207	第七节 地下工程变形监测	235
五、路基边坡的测设	208	一、监测对象及意义	235
六、竣工测量	209	二、地下工程施工监测控制网的特点	235
第十节 全站仪与全球定位系统在道路工程 测量中的应用	209	三、监测方案设计	236
一、全站仪在道路工程测量中的应用	209	四、监测内容与方法	236
二、全球定位系统在道路工程测量中的 应用	209	五、监测资料的整理	238
思考题与习题	210	第八节 新技术在隧道施工中的应用	239
第十三章 桥梁工程测量	212	一、激光技术	239
第一节 概述	212	二、自动导向系统	239
一、我国桥梁的发展	212	思考题与习题	240
二、桥梁建设中的测量工作	212	第十五章 全站仪及其使用	241
第二节 桥梁控制网的布设与测量	213	第一节 电子全站仪概述	241
一、桥梁平面控制网的布设与测量	213	一、全站仪概念	241
二、桥梁高程控制网的布设与测量	214	二、全站仪的分类	241
第三节 桥梁施工测量	216	三、全站仪的等级与检测	241
一、桥梁墩、台中心的测设	216	第二节 全站仪的结构原理	242
二、墩、台的纵、横轴线的测设	217	一、全站仪的原理	242
三、基础施工放样	217	二、全站仪的构造	242
四、桥墩细部放样	218	第三节 全站仪的功能及使用	245
五、架梁时的测量工作	218	一、全站仪的功能	245
六、桥梁工程变形监测	218	二、全站仪的操作及使用	247
七、桥梁的竣工测量	218	第四节 全站仪的数据通信	253
思考题与习题	219	一、电脑中数据文件的上载 (UPLOAD)	253
第十四章 地下工程测量	220	二、全站仪中数据文件的下载 (DOWNLOAD)	254
第一节 地下工程测量概述	220	第五节 全站仪的检校及注意事项	255
第二节 地下工程控制测量	221	一、全站仪的检验校正项目	255
一、地下工程平面控制测量	221	二、全站仪的检验方法	255
二、地下工程高程控制测量	224	三、全站仪使用注意事项	257
第三节 隧道联系测量	224	四、全站仪的养护	257
一、隧道洞口联系测量	224	思考题与习题	257
二、竖井联系测量	225	参考文献	258

第一章 绪 论

第一节 土木工程测量的任务

一、测量学概述

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地球表面（包括空中、地下和海底）点位的科学。测量学的主要技术体现在测量与绘图，因此测量学也称为测绘学。

测量学研究的内容主要包括测定和测设两个部分。测定是指使用各种测量仪器和工具，通过实地测量和计算，把地球表面缩绘成地形图，供科学研究、国防建设和经济建设规划设计使用。测设是将图纸上设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来，作为施工的依据。

测量学的应用非常广泛。在国防方面，诸如国界的划分、战略的部署、战役的指挥，都要应用地形图和进行测量工作。在经济建设方面，计划生产是社会主义国民经济建设的特点，必须对我国的资源进行一系列的调查和勘测工作，根据获得的资料编制各种规划，在进行这种调查和勘测时，都需要应用地形图和进行测量工作。另外，在进行各项工农业基本建设中，从勘测设计开始，直至施工、竣工为止，都需要进行大量的测绘工作。在科学实验方面，诸如地壳的升降、海岸线的变迁、地震预报以及地极周期性运动的研究等，都要用到测绘资料。在工程建设方面，如工业与民用建筑、道路桥梁、给水排水、地下工程、建筑学及城市规划等专业的工作中，测量技术都有着广泛的应用。例如：在勘测设计阶段，要测绘各种比例尺的地形图，供选择厂址及管道线路之用，供总平面图设计及竖向设计之用；在施工阶段，要将设计的建筑物和管线等的平面位置和高程测设在实地，作为施工的依据；还要进行竣工测量，施测竣工图，供日后扩建和维修之用；即使竣工以后，对某些大型及重要的建筑物还需要进行变形观测，以保证建筑物的安全使用。

二、测量学的分类

随着生产的发展和科学的进步，测量学包括的内容越来越丰富，按照研究的范围、对象和技术手段不同又产生了许多分支科学。

大地测量学——研究地球的形状和大小，解决大地区测量基准和地球重力场问题。随着空间技术的发展，大地测量正向着空间大地测量和卫星大地测量方向发展。

普通测量学——测量小区域地球表面的形状时，不顾及地球曲率的影响，把地球表面当作平面看待所进行的测量工作。

摄影测量学——利用摄影像片和或遥感影像获取信息，进行测绘工作的理论和技术。由于相片获取方法不同，摄影测量又分为航空摄影测量、地面摄影测量和水下摄影测量。

工程测量学——研究在各种工程建设规划设计、施工放样及竣工运营各个阶段中，测量工作的理论、技术和方法。主要包括控制测量、地形测量、施工测量及变形监测等测量工作。

海洋测量学——研究海洋定位，测定海洋水准面、重力、磁力、海底地形及编制各种海图的理论和技术。

地图制图学——利用测量所得的成果，研究如何编绘和制印各种地图的理论、工艺技术及应用的学科。研究内容主要包括地图编制、整饰、印刷及建立地图数据库等。现代地图制图学正向着制图自动化、电子地图制作及地理信息系统方向发展。

三、土木工程测量的任务

土木工程测量属于工程测量学范畴，其主要是面向建筑学、城市规划、工业与民用建筑工程、道路工程、桥梁工程、地下工程、环境工程等学科。主要任务如下。

① 研究测绘地形图的理论、技术与方法。

② 研究地形图上进行规划、设计的技术与方法。

③ 研究建筑物与构筑物施工放样、管道施工测量、道路施工测量、桥梁施工测量、地下施工测量以及工程质量检验的技术和方法。

④ 研究工程施工、运营中的变形监测的理论、技术和方法。

本教材主要介绍普通测量学和土木工程测量学中的部分内容。

四、学习测量学的目的

测量学是测绘学科中的一门基础技术课，也是土木工程、交通工程、建筑学、城市规划、给水排水以及工程管理等建筑类各专业的一门必修课，学习本课程的目的：通过测量学的基本知识、基本理论的学习和基本的实验、实习训练，从而掌握各种常用测量仪器（如水准仪、经纬仪、全站仪、GPS 接收机等）的操作及数据处理技能，具有识读和应用各种地形图的能力，在工程建设中能进行基本的施工测量工作，更好地应用测量知识及测量技能为其本专业工作服务。

第二节 测量学的发展简况

一、测量学的发展简史

测量学有着悠久的历史。古代的测绘技术起源于水利和农业等生产的需求。古埃及尼罗河每年洪水泛滥，淹没了土地界线，水退以后需要重新划界，从而在公元前 1400 年就有了地产边界的测量。公元前 2 世纪，中国司马迁在《史记·夏本纪》中叙述了禹受命治理洪水的情况：“左准绳，右规矩，载四时，以开九州、通九道、破九泽、度九山”。这段记载说明在公元前很久，中国人为了治水，已经会使用简单的测量工具了。

测量学的发展是从人类对地球形状的认识过程开始的，公元前 6 世纪古希腊的毕达哥拉斯（Pythagoras）最早提出地球是球形的概念。17 世纪末，英国牛顿（I. Newton）和荷兰的惠更斯（C. Huygens）首次从力学的观点探讨地球形状，提出地球是两极略扁的椭球体，称为地扁说。19 世纪初，随着测量精度的提高，通过对各处弧度测量结果的研究，发现测量所依据的垂线方向同地球椭球面的法线方向之间的差异不能忽略。因此法国的 P. S. 拉普拉斯和德国的 C. F. 高斯相继指出，地球形状不能用旋转椭球来代表。1849 年 Sir G. G. 斯托克斯提出利用地面重力观测资料确定地球形状的理论。1873 年，利斯廷（J. B. Listing）首次使用“大地水准面”一词，以该面代表地球形状。人类对地球形状的认识和测定，经过了“球—椭球—大地水准面”3 个阶段，花去了约二千五六百年的时间，随着对地球形状和大小的认识和测定的日益精确，测绘工作中精密计算地面点的平面坐标和高程逐步有了可靠的科学依据，同时也不断丰富了测绘学的理论。

测量学的发展和地图制图的发展是分不开的。地图的出现可追溯到远古时代，那时由于人类从事生产和军事等活动，就产生了对地图的需要。据文字记载，中国春秋战国时期地图

已用于地政、军事和墓葬等方面。公元 2 世纪,古希腊的 C. 托勒密所著《地理学指南》一书,提出了地图投影问题。16 世纪,地图制图进入了一个新的发展时期,随着测量技术的发展,尤其是三角测量方法的创立,西方一些国家纷纷进行大地测量工作,并根据实地测量结果绘制图家规模的地形图,这样测绘的地形图不仅有准确的方位和比例尺,具有较高的精度,而且能在地图上描绘出地表形态的细节,还可按不同的用途,将实测地形图缩制成各种比例尺的地图。

同时测量学的发展与测绘技术和仪器工具的变革是分不开的。17 世纪之前,人们使用简单的工具,例如中国的绳尺、步弓、矩尺和圭表等进行测量。1730 年,英国的西森(Sisson)制成测角用的第一架经纬仪,大大促进了三角测量的发展,使它成为建立各种等级测量控制网的主要方法。

19 世纪初,随着测量方法和仪器的不断改进,测量数据的精度也不断提高,精确的测量计算就成为研究的中心问题。1806 年和 1809 年法国的勒让德(A. M. Legendre)和德国的高斯分别发表了最小二乘准则,这为测量平差计算奠定了科学基础。19 世纪 50 年代初,法国洛斯塔(A. Laussedat)首创摄影测量方法。随后,相继出现立体坐标量测仪,地面立体测图仪等。

从 20 世纪 50 年代起,测绘技术又朝电子化和自动化方向发展。首先是测距仪器的变革。1948 年起陆续发展起来的各种电磁波测距仪,由于可用来直接精密测量长达几十千米的距离,因而使得大地测量定位方法除了采用三角测量外,还可采用精密导线测量和三边测量。大约与此同时,电子计算机出现了,并很快应用到测绘学中。这不仅加快了测量计算的速度,而且还改变了测绘仪器和方法,使测绘工作更为简便和精确。继而在 20 世纪 60 年代,又出现了计算机控制的自动绘图机,可用以实现地图制图的自动化。

自从 1957 年第一颗人造地球卫星发射成功后,测绘工作有了新的飞跃,在测绘学中开辟了卫星大地测量学这一新领域。同时,由于利用卫星可从空间对地面进行遥感,因而可将遥感的图像信息用于编制大区域内的小比例尺影像地图和专题地图。所以 20 世纪 50 年代以后,测绘仪器的电子化和自动化以及许多空间技术的出现,不仅实现了测绘作业的自动化,提高了测绘成果的质量,而且使传统的测绘学理论和技术发生了巨大的变革,测绘的对象也由地球扩展到月球和其他天体。

二、测量学的发展现状

随着空间技术、计算机技术和信息技术的发展,测绘学同时也得到飞速发展。以“3S”为代表的现代测绘技术使测绘学在空间化、信息化和自动化方面发生了革命性变化。而其中,以“3S”集成为核心的地球空间信息科学是建立“数字地球”的基础。

1. “3S”技术

“3S”是指:全球卫星定位系统(GNSS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)。

全球卫星定位系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)是一种以卫星为基础的无线电导航系统,该系统可发送高精度、全天候、连续实时的导航、定位和授时信息,是一种可供海陆空领域的军民共享的信息资源。包括美国的全球定位系统 GPS、俄罗斯的格洛纳斯卫星导航系统 GLONASS、欧盟的伽利略系统 Galileo 及中国的北斗系统 COMPASS。

遥感(remote sensing, 简称 RS),是不接触物体本身,用传感器采集目标物的电磁波信息,经处理、分析后,得到目标物几何、物理性质的一项技术。其主要是利用物体本身的特征和所处的环境不同,具有不同的电磁波反射或反射辐射特征。目前,遥感平台主要以飞机和卫星为主,因而可以在较短时间内获得大面积区域的信息。遥感数据呈现出高空间分辨

率、高光谱分辨率和高时相分辨率的发展趋势,卫星遥感 QuickBird 的空间分辨率已达到 0.61m。随着遥感分辨率的提高,其应用也越来越普及,如资源勘察、测绘、农业、林业、水文、环境、气象和灾害监测等,成为快速获取地理信息的重要手段。

地理信息系统 (geographic information system, 简称 GIS) 是一种以采集、存储、管理、分析和描述整个或部分地球表面与空间和地理分布有关的数据的信息系统。其核心技术是利用计算机表达和管理地理空间对象及其特征。目前,常用的国外 GIS 基础软件主要有 ArcGIS、MapInfo 等,国内的 GIS 基础软件主要有 MapGIS、SuperMap、GoStar 等。目前,GIS 的进展主要表现在:组件 GIS,即采用面向对象的 COM/GCOM 技术,使得可以方便地利用 VC、VB、Delphi 等语言进行应用系统开发;互联网 GIS,利用互联网进行地理数据的分布式采集、存储和查询,是 GIS 发展的必然趋势;多维动态 GIS,从传统的二维加属性形式向三维发展,最终发展到含时态信息的四维 GIS;移动 GIS,利用移动终端(如掌上电脑)结合 GPS、移动通信等技术,可进行移动定位、车辆导航等移动服务。

目前,“3S”技术正趋于集成化。GPS 主要用于实时、快速地提供目标的空间位置;RS 用于实时、快速地提供大面积地表地物及其环境的几何与物理信息,以及它们的各种变化;GIS 则对多种来源的时空数据与属性数据进行综合处理与分析应用。

2. 地球空间信息科学

地球空间信息科学 (Geo-Spatial Information Science, 简称 Geomatics) 是实现数字地球的基础,是以全球定位系统 (GPS)、地理信息系统 (GIS)、遥感 (RS) 等空间信息技术为主要内容,并以计算机技术和通信技术为主要技术支撑,用以采集、量测、分析、存储、管理、显示、传播和应用与地球和空间分布有关数据的一门综合和集成的信息科学和技术。地球空间信息科学理论框架的核心是地球空间信息机理,即通过对地球圈层间信息传输过程与物理机制的研究,揭示地球几何形态和空间分布及变化规律。

3. 工程测量中的测绘新技术

目前,工程测量正趋于内外业一体化和自动化,即数据的外业获取和内业处理的自动化。例如,在大坝变形监测中,可以采用自动照准全站仪(测量机器人)或 GPS 接收机进行实时、自动的数据采集,通过有线或无线的数据传输系统将观测数据传入主控计算机中,在数据处理软件的支持下变形分析和作业控制。

近年来,激光仪器在工程测量中得到长足的发展和应用。例如,常规工程测量使用的激光扫平仪、激光垂准仪,大大方便了施工测量工作,提高了工程施工效率。在精密工程测量中,激光跟踪测量仪可以以 0.05mm 的精度方便地进行各种高精度的工业测量。目前该仪器在宝马汽车公司、波音飞机制造公司、中国科学技术大学同步辐射实验室等高精度工业安装及仪器定位监测中得到广泛应用。三维激光扫描仪可以进行近距离对地物海量点位的扫描,从而通过扫描获得的点云数据进行地物的三维建模。

4. 数字地球与智慧城市

数字地球是美国前副总统戈尔于 1998 年 1 月 31 日在《数字地球——认识 21 世纪我们这颗星球》的报告中提出的一个概念。其可以理解为对真实地球及其相关现象统一的数字化重现和认识,特点是嵌入海量地理数据,实现多分辨率的、对地球三维的描述。数字地球的支撑技术主要包括:信息高速公路和计算机宽带高速网络技术、高分辨率卫星影像技术、空间信息技术、大容量数据处理与存储技术、科学计算以及可视化和虚拟现实技术。数字城市是数字地球的重要组成部分,是传统城市的数字化形态。

智慧城市是在数字城市的基础上,通过高速互联网络,以及云计算等新技术,打破信息孤岛现象,实现大数据协作与共享;在数据采集方面,主要是借助物联网技术的发展,通过

各类传感设备大量代替人工干预的方式,实现智能化操作,并采集的各类数据汇聚于云计算中心,再借助于人工分析,对数据进行深度分析处理,找出其中关联性,实现对企业、公众操作的便捷性,对政府决策提供更加科学有效的依据。

智慧城市也称为智能城市,是数字城市信息化建设的延伸和发展;其主要目的是实现绿色、环保的社会发展机制,建立便捷、高效的社会环境,使自然与人类和谐相处,为世界的可持续发展提供内生动力。

第三节 测量工作的基准

一、地球的形状和大小

由于测量工作是以地球为核心进行的,因此必须首先研究地球的形状和大小。目前,人们已经知道,地球的总体形状是一个不规则的曲面包围的形体,如图 1-1 所示。由于地球表面形态非常复杂,例如,珠穆朗玛峰高出海平面达 8844.43m,而马里亚纳海沟则在海平面下 11034m,但与 6000 余千米的地球半径相比只能算是极其微小的起伏。就整个地球表面而言,海洋的面积约占 71%,陆地面积约占 29%,可以认为地球是一个由水面包围的球体。若直接用地球表面形态作为地球形体来研究则非常复杂而无法进行。

由于地球的自转,地球上任一点都受到离心力和地心吸引力的作用,这两个力的合力称为重力。重力的作用线称为铅垂线,可用线绳悬挂一个垂球表示铅垂线。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,其中与静止的平均海水面相重合并延伸向大陆岛屿且包围整个地球的闭合曲面称为大地水准面。大地水准面包围的形体称为大地体。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高低起伏不规则的复杂的曲面,如图 1-1(a) 所示,因此无法在该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,如图 1-1(b) 所示的地球的椭球面来代替地球的形状,椭球面可作为测量计算工作的基准面,地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体,故地球椭球又称为旋转椭球。如图 1-2 所示,旋转椭球体的形状和大小是由其基本元素决定的。椭球的基本元素是:长半轴 a , 短半轴 b 和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 。

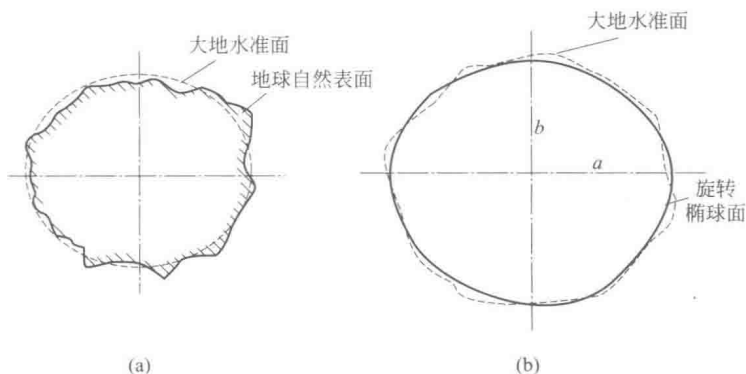


图 1-1 地球的形状

1980 年我国国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球, 该椭球的基本元素是: 长半轴 $a=6378140\text{m}$, 短半轴 $b=6356755.3\text{m}$, $\alpha=\frac{a-b}{a}=1/298.257$ 。

根据一定条件, 确定参考椭球与大地水准面相对位置的测量工作, 称为参考椭球体的定位。在一个国家适当地点选一点 P , 过 P 作大地水准面的铅垂线, 设其交点为 P' (图 1-3), 再按以下条件确定参考椭球面。

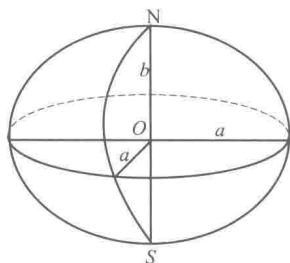


图 1-2 椭球面

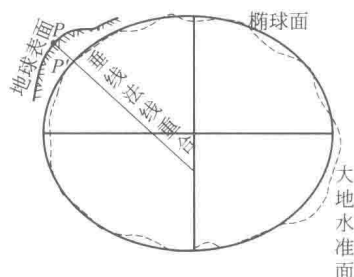


图 1-3 参考椭球体的定位

① 使 P' 点为参考椭球面的切点, 这时大地水准面的铅垂线与该椭球面的法线在 P 点重合。

② 使椭球的短轴与地球自转轴平行。

③ 使椭球面与这个国家范围上的大地水准面的差距尽量地小。

这样就确定了参考椭球面与大地水准面的相对位置关系, 它称为椭球的定位。由于椭球的中心和地球的质量的中心不重合, 因此依此建立起来的坐标系也称参心坐标系。

这里, P 点称为大地原点。我国大地原点位于陕西泾阳永乐镇, 在大地原点上进行了精密天文测量和精密水准测量, 获得了大地原点的平面起算数据, 以此建立的坐标系称为“1980 年国家大地坐标系”。

由于参考椭球体的扁率很小, 当测区不大时, 可将地球当做圆球, 其半径的近似值为 6371km 。

二、测量基准的确定

1. 地面点的确定

地面上各种地形都是由一系列连续不断的点所组成的, 确定地面上的图形位置, 最基本的就是确定地面点的位置。地面点属于空间的点, 可用三维元素表示其空间位置。

如图 1-4 所示, 地面点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 沿法线方向投影到椭球面上, 投影点 a 、 b 、 c 、 d 、 e 点在椭球面上的坐标作为确定地面点的二维元素。如图 1-5 所示, 地面点 A 、 C 沿着铅垂线方向投影到大地水准面上, 得到投影点 a 、 c , 其投影的铅垂距离 H_A 、 H_C 称为地面点 A 、 C 的高程, 作为确定地面点的一维元素。因此, 在测量学中, 地面点的空间位置用上述三维元素来表示。

2. 大地坐标系

在一般测量工作中, 常将地面点投影到椭球面上的位置用大地经度 L 、纬度 B 表示, 大地坐标系是以参考椭球面作为基准面, 如图 1-6 所示, 以起始子午面 (即通过格林尼治天文台的子午面) 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。过地面某点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 (图 1-6)。规定从起始子午面起算, 向东为正, $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经; 向西为负, $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。

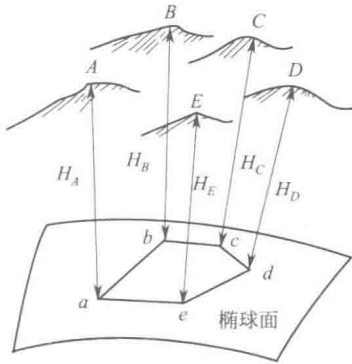


图 1-4 地面点坐标的投影图

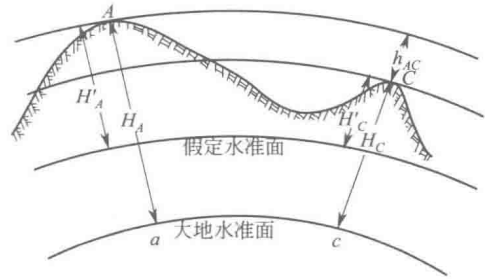


图 1-5 地面点的高程投影图

过地面某点的椭球面法线与赤道面的交角，称为该点的大地纬度，用 B 表示。规定从赤道面起算，由赤道面向北为正， $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬；由赤道面向南为负， $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。

地面 P 点的大地经度、纬度，可由天文观测方法测得 P 点的天文经度 λ 、纬度 φ ，再利用 P 点的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 、纬度 B 。在一般测量工作中，可以不考虑这种换算。

3. 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，指向符合右手定则。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（图 1-7）。

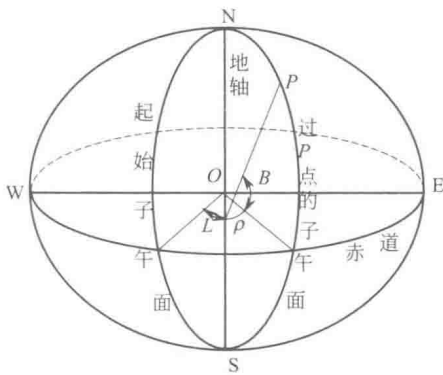


图 1-6 大地坐标系

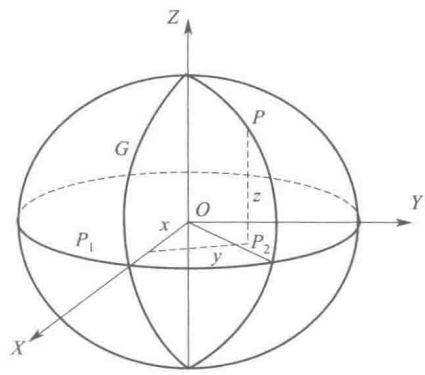


图 1-7 空间直角坐标系

4. 独立平面直角坐标系（又称为假定平面直角坐标系）

大地水准面虽然是曲面，但当测量区域较小时，如图 1-8 所示，可以用测区中心的切平面，水平面 P 来代替大地水准面，用 ab' 直线代替 ab 弧。为避免坐标出现负值，将坐标原点选在测区西南角，南北方向为纵轴 X 轴，向北为正；东西方向为横轴 Y 轴，向东为正，构成了独立平面直角坐标系，如图 1-9 所示。该坐标系适用于附近没有国家控制点的工业与民用建筑地区。

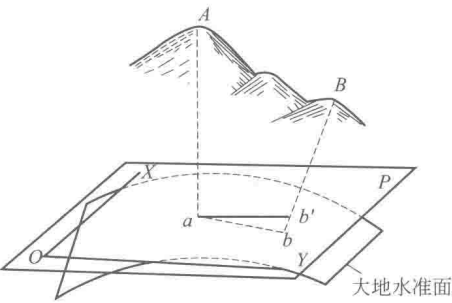


图 1-8 水平面 P 来代替大地水准面

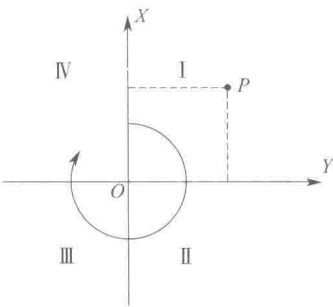


图 1-9 独立平面直角坐标系

5. 高斯平面直角坐标系

(1) 高斯投影

高斯平面直角坐标系采用高斯投影方法建立。高斯投影是由德国测量学家高斯于 1825—1830 年首先提出，到 1912 年由德国测量学家克吕格推导出实用的坐标投影公式，所以又称高斯-克吕格投影。

如图 1-10 所示，设想有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，再将此柱面展开即成为投影面。故高斯投影又称为横轴椭圆柱投影。

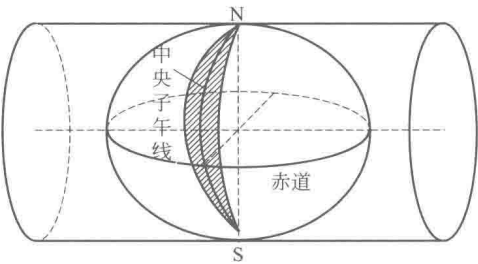


图 1-10 高斯投影

(2) 投影带

高斯投影中，除中央子午线外，各点均存在长度变形，且距中央子午线愈远，长度变形愈大。为了控制长度变形，将地球椭球面按一定的经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°和 3°，分别称为 6°带、3°带。

6°带：如图 1-11 所示，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，各带中间子午线称为中央子午线，两相邻带之间的子午线为分界子午线。带号 N 与相应的中央子午线经度 L_0 满足如下关系式：

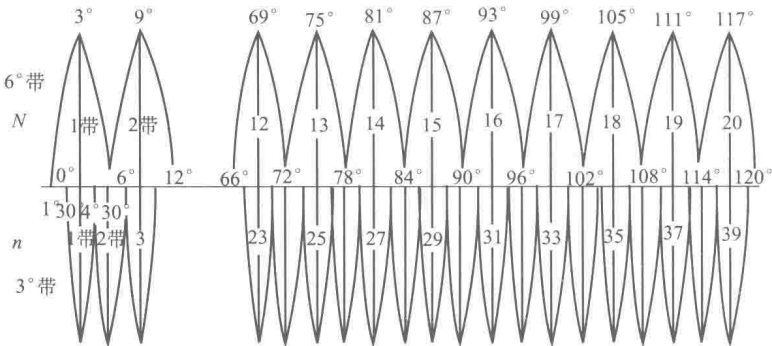


图 1-11 分带示意图

$$L_0 = 6N - 3$$

(1-1)