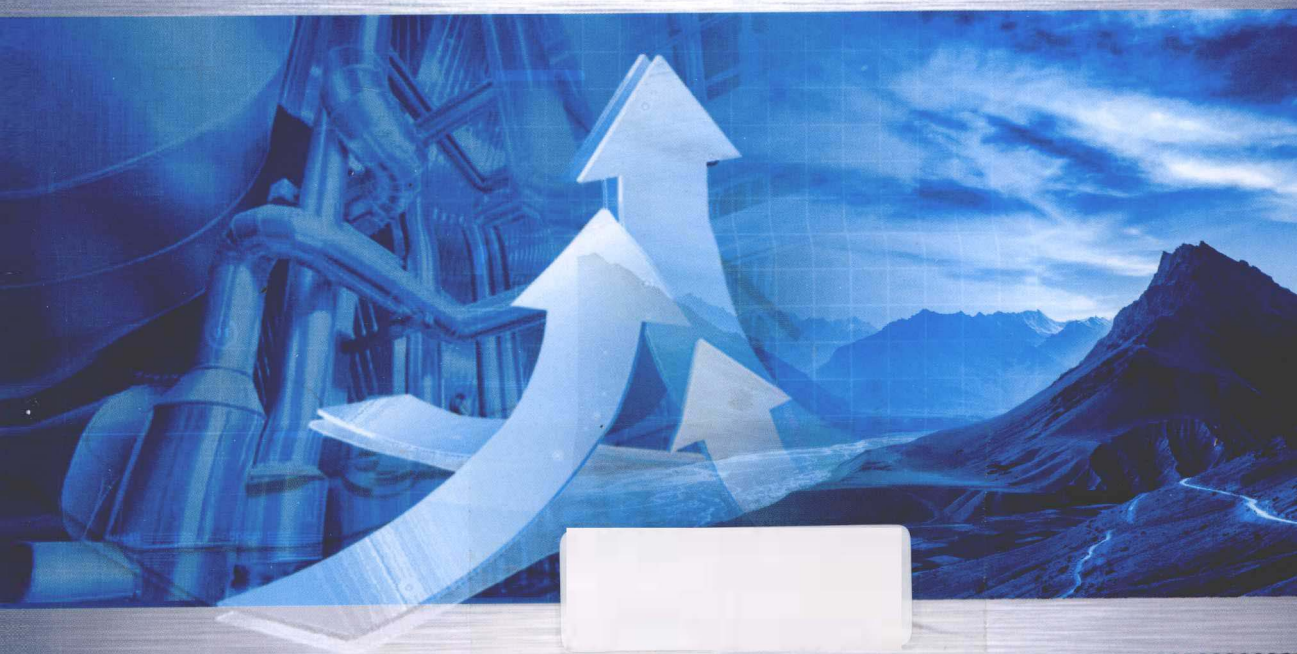


 北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

工程测量技术



赵俊岭  编著

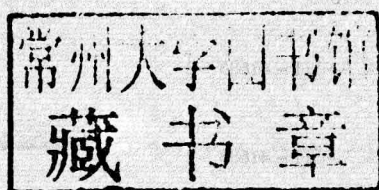
 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

工程测量技术

赵俊岭 编著



机械工业出版社

本书是作者在总结多年来教学和工程应用经验的基础上编写而成的。全书共分 10 个项目, 内容包括工程测量入门、水准测量、角度测量、距离测量和直线定向、全站仪的使用、测量误差的计算及应用、小地区控制测量、大比例尺地形图的测绘、全球定位系统的介绍、地下管线的测量。

本书可作为各院校给水排水、市政工程、燃气、热力等相关专业的教材, 也可供相关专业的科研、生产、教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量技术/赵俊岭编著. —北京: 机械工业出版社, 2013.3

北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

ISBN 978-7-111-41685-2

I. ①工… II. ①赵… III. ①工程测量-高等职业教育-教材
IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 038889 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 罗 莉 责任编辑: 江婧婧

版式设计: 霍永明 责任校对: 樊钟英

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 张 楠

北京京丰印刷厂印刷

2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.25 印张·324 千字

0 001—2 500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-41685-2

定价: 39.90 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

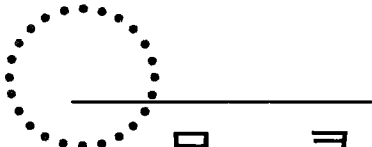
网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版



目 录

前言

项目 1 工程测量入门	1
1.1 学习工程测量的目的	1
1.1.1 测量学概念	1
1.1.2 测量学的分科	1
1.1.3 工程测量的学习目的与要求	2
1.2 测绘学的发展简史	3
1.2.1 人类对地球形状的认识过程	3
1.2.2 地图制图的演变	4
1.2.3 测绘技术和仪器工具的变革	4
1.2.4 我国测量技术发展概况	5
1.3 地面点位的确定	6
1.3.1 地球的形状和大小	6
1.3.2 地面点位置的表示方法	7
1.4 用水平面代替水准面的限度	9
1.4.1 用水平面代替水准面对距离的影响	9
1.4.2 对水平角的影响	10
1.4.3 用水平面代替水准面对高程的影响	10
1.5 测量的工作和原则	11
1.5.1 测量工作概述	11
1.5.2 测量工作应遵循的原则	12
思考题与习题	12

项目 2 水准测量	13
2.1 水准测量的原理	13
2.1.1 高程测量	13
2.1.2 水准测量原理	13
2.1.3 转点、测站	14
2.2 水准测量的仪器和工具	15
2.2.1 水准仪	15
2.2.2 水准尺	18

2.2.3 尺垫	18
2.3 水准仪的使用	19
2.3.1 微倾式水准仪的使用方法	19
2.3.2 水准测量的基本方法	20
2.4 三等、四等水准测量	23
2.4.1 三等、四等水准测量的技术要求	23
2.4.2 三等、四等水准测量的施测方法	24
2.5 水准测量的成果计算	25
2.5.1 内业成果计算的步骤	26
2.5.2 附和水准路线的计算	27
2.5.3 闭合水准路线成果计算	29
2.5.4 支线水准路线的计算	29
2.6 微倾式水准仪的校验和校正	30
2.6.1 水准仪轴线及其应满足的条件	30
2.6.2 水准仪轴线的检验和校正	30
2.7 水准测量的误差分析	33
2.7.1 仪器误差	34
2.7.2 观测误差	34
2.7.3 外界环境的影响	35
2.8 水准测量的技能实训实例	35
训练一 水准仪的认识与使用实训	35
训练二 水准测量实施	36
思考题与习题	38

项目 3 角度测量	41
3.1 角度测量的原理	41
3.1.1 水平角测量原理	41
3.1.2 竖直角测量原理	42
3.2 DJ6 型光学经纬仪	42
3.2.1 DJ6 型光学经纬仪	42
3.2.2 DJ6 型光学经纬仪的读数方法	44

3.2.3 光学经纬仪的使用	44	思考题与习题	80
3.3 水平角观测	45	项目5 全站仪	81
3.3.1 测回法	46	5.1 全站仪的结构	81
3.3.2 全圆测回法	46	5.1.1 全站仪整体结构	81
3.4 竖直角观测	48	5.1.2 仪器的辅助设备	81
3.4.1 竖直角的用途	48	5.1.3 面板上按键功能	84
3.4.2 竖直度盘的构造	48	5.1.4 显示屏上显示符号的含义	84
3.4.3 竖直度盘的计算	49	5.2 GTS-100 系列全站仪的基本操作	84
3.4.4 竖盘指标差	50	5.2.1 测前的准备工作	84
3.4.5 竖直角的观测	51	5.2.2 测量模式	85
3.5 经纬仪的校验和校正	52	5.2.3 GTS-100 系列全站仪的功能	87
3.5.1 经纬仪的轴线及其应满足的 条件	52	5.2.4 全站仪与电脑的数据通信	89
3.5.2 经纬仪的检验和校正	53	5.2.5 批量点的坐标放样	90
3.6 角度测量的误差分析	57	5.2.6 面积测量及单位换算	91
3.6.1 仪器误差的影响	57	5.3 全站仪检验与校正	92
3.6.2 观测误差	57	5.3.1 仪器外观及功能检查	92
3.6.3 外界条件影响	58	5.3.2 圆水准器的水准轴与仪器的旋转轴 平行的检验与校正	93
3.7 角度测量的技能实训实例	58	5.3.3 照准部水准管轴应垂直于竖轴的 检验与校正	93
训练一 经纬仪的认识与使用实习	58	5.3.4 十字丝竖丝垂直于横轴的检验与 校正	93
训练二 经纬仪测回法观测水平角	59	5.3.5 横轴垂直于竖轴的检验	93
训练三 经纬仪观测竖直角实习	61	5.3.6 视准轴应垂直于横轴的检验与 校正	94
训练四 地形测量实训	62	5.3.7 竖盘指标差的检验	94
思考题与习题	63	5.3.8 光学对中器检验与校正	95
项目4 距离测量和直线定位	66	5.3.9 距离加常数测定	95
4.1 钢尺量距	66	思考题与习题	96
4.1.1 钢尺量距的工具	66	项目6 测量误差的计算及应用	97
4.1.2 直线定线	67	6.1 测量误差概述	97
4.1.3 钢尺量距的一般方法	67	6.1.1 误差产生的原因	97
4.1.4 钢尺的精密量距方法	69	6.1.2 观测误差分类	97
4.1.5 距离丈量的误差及注意事项	71	6.1.3 偶然误差的特性	98
4.2 视距测量	72	6.2 评定精度的标准	100
4.2.1 视距测量原理	72	6.2.1 中误差	100
4.2.2 视距测量的观测与计算	73	6.2.2 相对误差	101
4.2.3 视距测量误差及注意事项	73	6.2.3 容许误差	101
4.3 直线定向	74	6.3 算数平均值及中误差	102
4.3.1 标准方向的种类	74	6.3.1 算术平均值	102
4.3.2 表示直线方向的方法	75	6.3.2 观测值的改正值	102
4.3.3 罗盘仪使用	76	6.3.3 由观测值的改正值计算中 误差	103
4.3.4 距离、方位角与坐标之间的 关系	76		
4.4 距离测量的技能实训实例	77		
训练 钢尺量距与视距测量	77		

6.3.4 算术平均值(最或然值)的中 误差	104	8.5.3 地形图应用的基本内容	148
6.4 误差传播定律及其应用	105	8.5.4 面积量算	150
6.4.1 观测值倍数函数中误差	105	8.6 大比例尺数字测图及其在工程中的 应用	152
6.4.2 观测值和或差的函数中误差	106	8.6.1 数字化测图概论	152
6.4.3 观测值线性函数的中误差	108	8.6.2 数字测图的发展过程和主要 特点	152
6.4.4 观测值一般函数的中误差	110	8.6.3 数字化测图的组成	154
6.5 权及其应用	112	8.6.4 控制测量	154
6.5.1 权与中误差的关系	112	8.6.5 地面数字测图	154
6.5.2 加权算术平均值及其中误差	113	8.6.6 数字地形图应用基础	165
思考题与习题	114	8.6.7 数字地形图与 GIS 的数据 交换	170
项目 7 小地区控制测量	115	思考题与习题	172
7.1 控制测量基本概念	115	项目 9 全球定位系统的介绍	173
7.1.1 控制测量概念	115	9.1 GPS 概述	173
7.1.2 国家级控制网	115	9.1.1 卫星导航系统的发展	173
7.2 导线测量	117	9.1.2 GPS 系统的特点	173
7.2.1 导线测量概述	117	9.2 GPS 的组成	174
7.2.2 导线测量的外业工作	117	9.2.1 空间卫星部分	174
7.2.3 导线测量的内业计算	118	9.2.2 地面监控部分	176
7.3 交会测量	125	9.2.3 用户设备部分	177
7.3.1 角度前方交会	125	9.3 GPS 的基本原理	178
7.3.2 距离交会	127	9.3.1 伪距的概念及伪距测量	178
7.4 小地区控制测量技能实训实例	128	9.3.2 载波相位测量	179
训练 导线测量	128	9.3.3 绝对定位	181
思考题与习题	131	9.3.4 相对定位原理	181
项目 8 大比例尺地形图的测绘	132	9.3.5 载波相位实时差分技术	181
8.1 地物和地貌在地形图上的表示 方法	132	9.4 全球卫星定位系统测量实施	182
8.1.1 地形图的比例尺	132	9.4.1 GPS 控制网的技术设计	182
8.1.2 地物的表示方法	134	9.4.2 选点与建立标志	184
8.1.3 地貌的表示方法	135	9.4.3 外业观测	184
8.2 地形图投影	138	9.4.4 成果检核与数据处理	185
8.2.1 地图投影	138	9.5 GPS 定位的误差源	185
8.2.2 高斯投影	138	9.5.1 轨道误差	186
8.3 地图分幅编号	141	9.5.2 卫星钟差	186
8.3.1 梯形分幅与编号方法	141	9.5.3 接收机钟差	186
8.3.2 矩形分幅与编号方法	143	9.5.4 电离层误差	186
8.4 大比例尺地形图的传统测绘方法	143	9.5.5 对流层效应	187
8.4.1 测图前的准备工作	143	9.5.6 多径误差	187
8.4.2 经纬仪测绘法	144	9.5.7 周跳	187
8.5 地形图的应用	147	9.5.8 接收机噪声	187
8.5.1 地形图的作用及其应用	147	9.5.9 起算点 WGS-84 坐标的误差	187
8.5.2 读图注意事项	148		

思考题与习题	188	10.3.1 管线纵断面测绘	192
项目 10 地下管线的测量	189	10.3.2 管线横断面测绘	195
10.1 管线测量的概述	189	10.4 管线施工测量	196
10.1.1 地下管线概述	189	10.4.1 施工前的准备工作	196
10.1.2 管线测量的任务和内容	189	10.4.2 地下管道施工测量	196
10.2 管道中线测量	190	10.5 竣工图测量	200
10.2.1 管道主点桩的测设	190	10.5.1 管线竣工测量的基本内容	200
10.2.2 中桩测设	191	10.5.2 地下管线竣工测量的规定	201
10.2.3 转向角测量	191	10.5.3 管线的调查	201
10.2.4 绘制里程桩记录簿	191	思考题与习题	203
10.3 管道纵横断面测量	192		

项目1

工程测量入门



任务目标:

- (1) 了解测量学的研究对象;
- (2) 掌握地面点位的确定方法;
- (3) 掌握工程测量的基本工作与原则。

1.1 学习工程测量的目的

1.1.1 测量学概念

人类生活的地球表面极不规则,有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、海洋和河流等自然形成的物体,还有房屋建筑、工厂、公路、铁路、桥梁等人工建造的建筑物和构筑物。测量学将这些地面物体分为地貌和地物。

地貌是指地表高低起伏的形态,包括山地、丘陵和平原等。地物是指地面上天然或者人工形成的物体,包括湖泊、河流、海洋、房屋、道路、桥梁等。

地貌和地物总称地形。测量学(Surveying)是研究地球的形状和大小,以及确定地面(包括空中、地下和海底)点位关系的一门学科。其研究对象主要是地球和地球表面的各种物体,包括它们的几何形状及空间位置关系。

测量学的内容主要包括测定和测设两部分。测定是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算,得到一系列测量数据,或把地球表面的地形缩绘成地形图,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。测设是指把图样上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

施工结束后,还要进行竣工测量,绘制竣工图,供日后扩建和维修之用。竣工之后,对大型主要的建筑物和构筑物还要进行变形监测,以保障建筑物的安全使用。

1.1.2 测量学的分科

伴随着社会科学技术的发展,各领域对测量的要求不断变化和提高,测量学按照研究范围、研究对象及所采用的技术手段不同,产生了许多分支学科。

(1) 大地测量学(Geodesy)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,以及它们变化的理论和技术学科。其基本任务是建立国家大地控制网,测定地球的形状、大小和重力场,为地形测图和各种工程测量提供基础起算数据;为

空间科学、军事科学及地壳变形的研究、地震预报等提供重要资料。按照测量手段的不同,大地测量学又分为常规大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学等。

(2) 普通测量学 (Elementary surveying) 是研究地球表面局部区域内测绘工作的基本理论、技术和方法的学科。局部区域指在该区域内进行测量、计算和制图时,不顾及地球的曲率,把这区域的地面当作平面,而不致影响测图的精度。其基本任务是为测量地球局部的形状和绘制地形图服务,不包括其他内容,普通测量学也称为地形测量学。

(3) 工程测量学 (Engineering surveying) 是研究在工程、工业和城市建设以及资源开发各个阶段所进行的地形和有关信息的采集和处理,施工放样、设备安装、变形监测分析和预报等的理论、方法和技术,以及研究对测量和工程有关的信息进行管理和使用的学科,它是测量学在国民经济和国防建设中的直接应用。

(4) 摄影测量与遥感 (Photogrammetry and remote sensing) 是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、大小和空间位置等信息的理论和方法。其基本任务是通过摄影像片或遥感图像进行处理、测量、解译,以测定物体的形状、大小和位置进而制作成图。根据获得影像的方式及遥感距离的不同,本学科又分为地面摄影测量学,航空摄影测量学和航天遥感测量学等。

(5) 制图学 (Cartography) 又称“地图学”,全称为“地图制图学”,是研究利用测量所获得的成果资料,研究如何投影绘制成图和地图制作的理论、方法 and 应用等方面的学科。

1.1.3 工程测量的学习目的与要求

工程测量学主要是面向土木建筑、环境、道路、桥梁、水利等学科。学习本课程之后,要求具备使用常规测量仪器的操作技能,了解大比例尺地形图测图的基本原理、方法;具备正确应用地形图和有关测量资料和一般工程测设的能力,能灵活应用所学测量技术为专业工作服务。

通过本课程的学习,要掌握以下有关测定和测设的基本内容:

(1) 地形图测绘。能使用各种测量仪器和工具,按照一定的测量程序和方法通过实地测量和计算,把局部区域地面上的地物、地貌按一定的比例尺测绘成图。

(2) 地形图应用。会从地形图上获取所需要的资料,如点的坐标和高程、两点间的水平距离、地面坡度、地块的面积、土方量、地形的断面等。

(3) 施工放样。把规划设计在图样上的建筑物、构筑物准确地标定和放样在地面上,作为施工的依据。

(4) 竣工测量。施工结束后,还要进行竣工测量,绘制竣工图,供日后扩建和维修之用。竣工测量包括外业实测和内业资料编绘两部分工作。

(5) 变形监测。监测构筑物和建筑物的水平位移、垂直沉降、倾斜观测和裂缝观测等。了解其变形规律,以便采取措施,保证建筑物和构筑物的安全。

相关科学技术的迅速发展,促进了测量学的发展。当代大学生既要掌握传统的测量仪器的使用方法,也要努力学习新测绘技术,如 GPS 测量、数字测图和计算机数据处理,并将其运用于工作实践中,使自己成为新型专业技术人才。

1.2 测绘学的发展简史

测绘学有着悠久的历史,古代的测绘技术起源于水利和农业。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,从而开始了测量工作。公元前2世纪,中国的司马迁在《史记·夏本纪》中叙述了大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、陂九泽、度九山”。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。

测绘学的研究对象是地球,人类对地球形状认识的逐步深化,要求对地球形状和大小进行精确的测定,因而促进了测绘学的发展。地图制图是测量的必然结果,所以地图的演变及其制作方法的进步是测绘学发展的重要方面。测绘学是一门技术性较强的学科,它的形成和发展在很大程度上依赖于测绘方法和仪器工具的创造和变革。从原始的测绘技术,发展到近代的测绘学,其过程可由下列三个方面来说明。

1.2.1 人类对地球形状的认识过程

人类对地球形状的科学认识,是从公元前6世纪古希腊的毕达哥拉斯最早提出地球是球形的概念开始的。两个世纪之后,亚里士多德作了进一步论证,支持这一学说,称为地圆说。又一个世纪之后,亚历山大的埃拉托斯特尼采用在两地观测日影的办法,首次推算出地球子午圈的周长,以此证实了地圆说,这也是测量地球大小的“弧度测量”方法的初始形式。世界上有记载的实测弧度测量,最早是中国唐代开元十二年(724年)南宫说在张遂的指导下在今河南省境内进行的,根据测量结果推算出了纬度 1° 的子午弧长。

17世纪末,英国牛顿和荷兰的惠更斯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。1735~1741年间,法国科学院派遣测量队在南美洲的秘鲁和北欧的拉普兰进行弧度测量,证明牛顿等的地扁说是正确的。

1743年法国A. C. 克莱洛证明了地球椭球的几何扁率同重力扁率之间存在着简单的关系。这一发现,使人们对地球形状的认识又进了一步,从而为根据重力数据研究地球形状奠定了基础。

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体来代表。1849年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,利斯廷创用“大地水准面”一词,以该面代表地球形状。自那时起,弧度测量的任务,不仅是确定地球椭球体的大小,而且还包括求出各处垂线方向相对于地球椭球面法线的偏差,用以研究大地水准面的形状。

1945年,苏联的M. C. 莫洛坚斯基创立了直接研究地球自然表面形状的理论,并提出“似大地水准面”的概念,从而回避了长期无法解决的重力归算问题。

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,花去了二千五百多年的时间,随着对地球形状和大小的认识和测定的愈益精确,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。

1.2.2 地图制图的演变

地图的出现可追溯到上古时代,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。考古工作者曾经挖掘到公元前 25 世纪至公元前 3 世纪画在或刻在陶片、铜板或其他材料上的地图。这些原始地图只是根据文字记述或见闻绘成的略图,不讲求比例尺和方位,可靠性很差。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。例如《管子·地图篇》记述:“凡兵主者必先审知地图”。公元前 3 世纪,埃拉托斯特尼最先在地图上绘制经纬线。1973 年,在中国湖南省长沙马王堆汉墓中发现的绘制在帛上的地图,是公元前 168 年之前制作的。这些地图虽是根据已有资料和见闻绘制的,但它已注意到比例尺和方位,讲求一定的精度。公元前 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。100 多年后,中国西晋的裴秀总结出“制图六体”的制图原则,从此地图制图有了标准,提高了地图的可靠程度。16 世纪,地图制图进入了一个新的发展时期。中国明代的罗洪先和德国的 G. 墨卡托都以编制地图集的形式,分别总结了 16 世纪之前中国和西方在地图制图方面的成就。从 16 世纪起,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国家规模的地形图,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,将实测地形图缩制编绘成各种比例尺的地图。中国历史上首次使用这样的方法在广大国土上测绘的地形图,是清朝康熙四十七年至五十七年(1708~1718)完成的《皇舆全图》。现代地图制图的方法有了巨大的变革,地图制图的理论也不断得到丰富,特别是 20 世纪 60 年代以来,又朝着计算机辅助地图制图的方向发展,使地图的精度和速度都有很大的提高。

1.2.3 测绘技术和仪器工具的变革

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。这些测量工具都是机械式的,而且以用于量测距离为主。17 世纪初发明了望远镜。1617 年,荷兰的斯涅耳为了进行弧度测量而首创三角测量法,以代替在地面上直接测量弧长,从此测绘工作不仅测量距离,而且开始了角度测量。约于 1640 年,英国的加斯科因在两片透镜之间设置十字丝,使望远镜能用于精确瞄准,以改进测量仪器,这可算光学测绘仪器的开端。约于 1730 年,英国的西森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。在这一段时期里,由于欧洲又陆续出现小平板仪、大平板仪以及水准仪,地形测量和以实测资料为基础的地图制图工作也相应得到了发展。从 16 世纪中叶起,欧美二洲间的航海问题变得特别重要。为了保证航行安全和可靠,许多国家相继研究在海上测定经纬度的方法,以定船舰位置。经纬度的测定,尤其是经度测定方法,直到 18 世纪发明时钟之后才得到圆满解决。从此开始了大地天文学的系统研究。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,此时数学的进展开始对测绘学产生重大影响。1806 年和 1809 年法国的勒让德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。到 20 世纪初,则形成比较完备的地面立体摄影测量法。由于航空技术的发

展,1915年出现了自动连续航空摄影机,因而可以将航空摄像片在立体测图仪器上加工成地形图。从此,在地面立体摄影测量的基础上,发展了航空摄影测量方法。在这一时期里,由于在19世纪末和20世纪30年代,先后出现了摆仪和重力仪,尤其是后者的出现,使重力测量工作既简便又省时,不仅能在陆地上,而且也能在海洋上进行,这就为研究地球形状和地球重力场提供了大量实测重力数据。可以说,从17世纪末到20世纪中叶,测绘仪器主要在光学领域内发展,测绘学的传统理论和方法也已发展成熟。

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远达几十公里的距离,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。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。例如具有电子设备和用电子计算机控制的摄影测量仪器的出现,促进了解析测图技术的发展,继而在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,就是观测人造地球卫星,用以研究地球形状和重力场,并测定地面点的地心坐标,建立全球统一的大地坐标系。同时,由于利用卫星可从空间对地面进行遥感(称为航天摄影),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。在这个时期里还出现了惯性测量系统,它能实时地进行定位和导航,成为加密陆地控制网和海洋测绘的有力工具。随着脉冲星和类星体的发现,又有可能利用这些射电源进行无线电干涉测量,以测定相距很远的地面点的相对位置。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星球。

1.2.4 我国测量技术发展概况

我国是世界文明古国,由于生活和生产的需要,测量工作开始得很早。春秋战国时编制了四分历,一年为365.25日,与罗马人采用的儒略历相同,但比其早四、五百年。南北朝时祖冲之所测的朔望月为29.530588日,与现今采用的数值只差0.3s。宋代杨忠辅编制的《统天历》,一年为365.2425日,与现代值相比,只有26s误差。之所以能取得这样准确的数据,在于公元前四世纪就已创制了浑天仪。汉代张衡改进了浑天仪,并著有《浑天仪图注》。元代郭守敬改进浑天仪为简仪。用于天文观测的仪器还有圭表和复矩。用以计时的仪器有漏壶和日晷等。

在地图测绘方面,由于行军作战的需要,历代帝皇都很重视。目前见于记载最早的古地图是西周初年的洛邑城址附近的地形图。周代地图使用很普遍,管理地图的官员分工很细。现在能见到的最早的古地图是长沙马王堆三号墓出土的公元前168年陪葬的占长沙国地图和驻军团,图上有山脉、河流、居民地、道路和军事要素。西晋时裴秀编制了《禹贡地域图》和《方丈图》,并创立了地图编制理论——《制图六体》。此后历代都编制过多种地图,其中比较著名的有:南北朝时谢庄创制的《木方丈图》;唐代贾耽编制的《关中陇右及山南九州等固》及《海内华夷图》;北宋时的《淳化天下固》;南宋时石刻的《华夷图》和《禹迹

图》(现保存在西安碑林);元代朱思本绘制的《舆地图》;明代罗洪先绘制的《广舆图》(相当于现代分幅绘制的地图集);明代郑和下西洋绘制的《郑和航海图》;清代康熙年间绘制的《皇舆全览图》;1934年,上海申报馆出版的《中华民国新地图》等。我国历代能绘制出较高水平的地图,是与测量技术的发展相关联的。

我国古代测量长度的工具有丈杆、测绳(常见的有地钯、云钯和均高)、步车和记里鼓车;测量高程的仪器工具有矩和水平(水准仪);测量方向的仪器有望筒和指南针(战国时期利用天然磁石制成指南工具——司南,宋代出现人工磁铁制成的指南针)。

测量技术的发展与数理知识紧密关联。公元前问世的《周髀算经》和《九章算术》都有利用相似三角形进行测量的记载。三国时魏人刘徽所著的《海岛算经》,介绍利用丈杆进行两次、三次甚至四次测量(称重差术),求解山高、河宽的实例,大大促进了测量技术的发展。

我国古代的测绘成就,除编制历法和测绘地图外,还有唐代在僧一行的主持下,实量了从河南白马,经过浚仪、扶沟到上蔡的距离和北极高度,得出子午线 1° 的弧长为132.31km,为人类正确认识地球作出了贡献。北宋时沈括在《梦溪笔谈》中记载了磁偏角的发现。元代郭守敬在测绘黄河流域地形图时提出了“以海面较京师至汀梁地形高下之差”,是历史上最早使用“海拔”观念的人。

中华人民共和国成立后,我国测绘事业有了很大的发展。建立和统一了全国坐标系统和高程系统;建立了遍及全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网和卫星多普勒网;完成了国家大地网和水准网的整体平差;完成了国家基本图的测绘工作;完成了珠穆朗玛峰和南极长城站的地理位置和高程的测量;配合国民经济建设进行了大量的测绘工作,例如进行了南京长江大桥、葛洲坝水电站,宝山钢铁厂、北京正负电子对撞机等工程的精确放样和设备安装测量。出版发行了地图1600多种,发行量超过11亿册。在测绘仪器制造方面,从无到有,现在不仅能生产系列的光学测量仪器,还研制成功各种测程的光电测距仪、卫星激光测距仪和解析测图仪等先进仪器。测绘人才培养方面,已培养出各类测绘技术人员数万名,大大提高了我国测绘科技水平。

特别是近年来,我国测绘科技发展更快,例如GPS全球定位系统已得到广泛应用,全国GPS大地网已完成;地理信息系统方面,我国第一套实用电子地图系统(全称为国务院综合国情地理信息系统)已在国务院常务会议室建成并投入使用,这说明我国目前的测绘科技水平,虽与国际先进水平相比,还有一定的差距,但只要我们的科学技术人员发奋图强,励精图治,是能迅速赶上和超过国际先进测绘科技水平的。

1.3 地面点位的确定

1.3.1 地球的形状和大小

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,形成“平均海水面”,并穿过大陆、岛屿而形成的闭合曲面,称为大地水准面,并以此代表整个地球的实际形体。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,致使大地水准面的表面为不规则的、复杂的曲面。

测绘地形图需要由地球曲面变换为平面的地图投影,若这个曲面很不规则,则投影计算将十分困难。为了解决这个问题,我们选用一个非常接近于大地水准面的规则几何表面来代替地球的形状,称为地球椭球面。大地水准面如图 1-1 所示。

经过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。而其旋转椭球面是可以用较简单的数学公式准确地表达出来的。在测量工作中就是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。

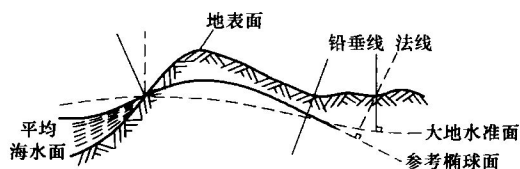


图 1-1 大地水准面

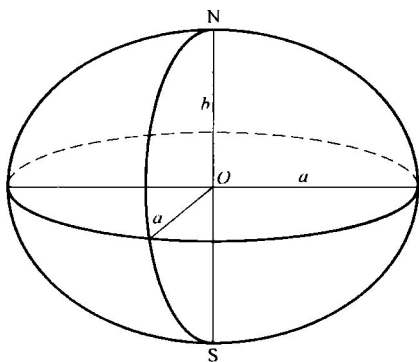


图 1-2 旋转椭球体

世界各国通常采用旋转椭球代表地球的形状,并称其为“地球椭球”。测量中把与大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球;把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。

1.3.2 地面点位置的表示方法

1.3.2.1 地面点的坐标

1. 大地坐标

用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在参考椭球面上投影位置的坐标,称为大地坐标。如图 1-3 所示, O 为参考椭球的球心, NS 为椭球的旋转轴,通过该轴的平面称为子午面(如图中的 $NPMS$ 面)。子午面与椭球面的交线称为子午线,又称为经线,其中通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面和子午线分别称为起始子午面和起始子午线。通过球心 O 且垂直于 NS 轴的平面称为赤道面(如图中的 WM_0ME),赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。通过椭球面上任一点 P 且与过 P 点切平面垂直的直线 PK ,称为 P 点的法线。地面上任一点都可以向参考椭球作一条

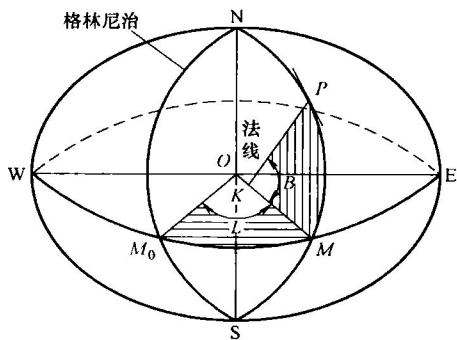


图 1-3 大地坐标

法线。地面点在参考椭球面上的投影，即通过该点的法线与参考椭球面的交点。

大地经度 L ，即通过参考椭球面上某点的子午面与起始子午面的夹角。由起始子午面起，向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经；向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。同一子午线上各点的大地经度相同。

大地纬度 B ，即参考椭球面上某点的法线与赤道面的夹角。从赤道面起，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬；向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。纬度相同的点的连线称为纬线，它平行于赤道。

地面点的大地经度和大地纬度可以通过大地测量的方法确定。

2. 高斯平面直角坐标

大地坐标的优点是对于整个地球有一个统一的坐标系，用它来表示地面点的位置形象更为直观。但它的观测和计算都比较复杂，而且实际使用上更多的则是需要把它投影到某个平面上来。

我国大面积的地形图测绘，采用高斯平面直角坐标系。这种坐标系由高斯创立，经克吕格改进而得名。它是采用分带（经差 6° 或 3° 为一带）投影的方法进行投影，将每一投影带经投影展开成平面后，以中央子午线的投影为 x 轴，赤道投影为 y 轴而建立的平面直角坐标系。地面点在该坐标系内的坐标称为高斯平面直角坐标。

3. 平面直角坐标

对于小范围的测区，以水平面作为投影面，地面点在水平面上的投影位置用平面直角坐标表示。

如图 1-4 所示，在水平面上选定一点 O 作为坐标原点，建立平面直角坐标系。纵轴为 x 轴，与南北方向一致，向北为正，向南为负；横轴为 y 轴，与东西方向一致，向东为正，向西为负。将地面点 A 沿着铅垂线方向投影到该水平面上，则平面直角坐标 x_A 、 y_A 就表示了 A 点在该水平面上的投影位置。如果坐标系的原点是任意假设的，则称为独立的平面直角坐标系。为了不使坐标出现负值，对于独立测区，往往把坐标原点选在测区西南角以外的适当位置。

地面点的平面直角坐标可以通过观测有关的角度和距离，通过计算的方法确定。

应当指出，测量上采用的平面直角坐标系与数学中的平面直角坐标系从形式上看是不同的。这是由于测量上所用的方向是从北方向（纵轴方向）起按顺时针方向以角度计值的，同时它的象限划分也是按顺时针方向编号的，因此它与数学上的平面直角坐标系（角值从横轴正方向起按逆时针方向计值，象限按逆时针方向编号）没有本质区别，所以数学上的三角函数计算公式可不加任何改变地直接应用于测量的计算中。

1.3.2.2 地面点的高程

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绝对高程，亦称为海拔。在图 1-5 中，地面点 A 和 B 的绝对高程分别为 H_A 和 H_B 。

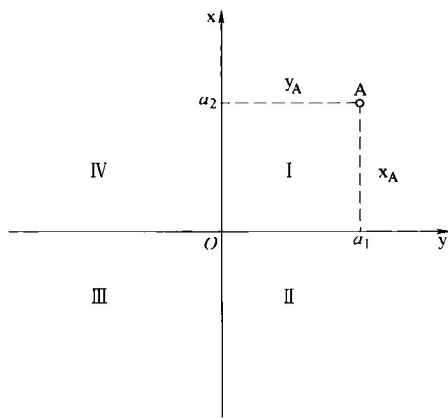


图 1-4 平面直角坐标

我国规定以黄海平均海水面作为大地水准面。黄海平均海水面的位置，是青岛验潮站对潮汐观测井的水位进行长期观测确定的。由于平均海水面不便于随时联测使用，故在青岛观象山建立了“中华人民共和国水准原点”，作为全国推算高程的依据。1956年，验潮站根据连续7年（1950~1956年）的潮汐水位观测资料，第一次确定了黄海平均海水面的位置，测得水准原点的高程为72.289m。按这个原点高程为基准去推算全国的高程，称为“1956年黄海高程系”。由于该高程系存在验潮时间过短、准确性较差的问题，后来验潮站又根据连续28年（1952~1979年）的潮汐水位观测资料，进一步确定了黄海平均海水面的精确位置，再次测得水准原点的高程为72.2604m。1985年决定启用这一新的原点高程作为全国推算高程的基准，并命名为“1985国家高程基准”。

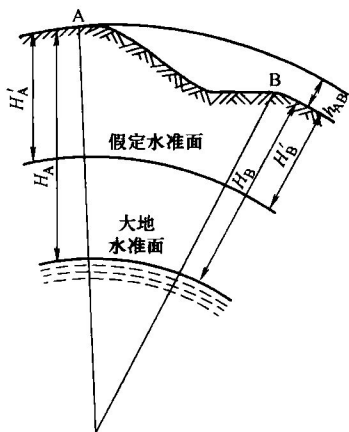


图1-5 绝对高程与相对高程

2. 相对高程

地面点沿铅垂线方向至任意假定水准面的距离称为该点的相对高程，亦称为假定高程。在图1-5中，地面点A和B的相对高程分别为 H'_A 和 H'_B 。两点高程之差称为高差，以符号“ h ”表示。A、B两点的高差 $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。测量工作中，一般采用绝对高程，只有在偏僻地区，没有已知的绝对高程点可以引测时，才采用相对高程。

确定地面点的位置必须进行三项基本测量工作，即角度测量、距离测量和高程测量。在后面的有关项目中，将详细介绍进行这三项工作的基本方法。

1.4 用水平面代替水准面的限度

在普通测量中，由于测区小或工程对测量精度要求较低时，为简化一些复杂的投影计算，可将椭球面视作球面，甚至可视为平面，即用平面代替大地水准面。直接把地面点沿铅垂线投影到平面上，以确定其位置。不过以平面代替水准面有一定限度，只要投影后产生的误差不超过测量和制图要求的限差即可采用。下面讨论水平面代替水准面对距离、水平角和高程的影响。

1.4.1 用水平面代替水准面对距离的影响

如图1-6所示，设地球是半径为 R 的圆球。地面上A、B两点投影到大地水准面上的距离为弧长 D ，投影到水平面上的距离为 D' ，显然两者之差即为用水平面代替水准面所产生的距离误差，设其为 ΔD ，则

$$\Delta D = D' - D = R \cdot \tan \theta - R \cdot \theta$$

式中 θ ——弧长 D 所对的圆心角。

将 $\tan \theta$ 用级数展开，并取级数前两项，得

$$\Delta D = R(\theta + 1/3\theta^3) - R \cdot \theta = 1/3R \cdot \theta^3$$

因为 $\theta = D/R$ ，故

$$\Delta D = D^3 / 3R^2$$

(1-1)

以 $R=6371\text{km}$ 和不同的 D 值代入上式, 算得相应的 ΔD 和 $\Delta D/D$ (相对误差) 值列在表 1-1。由表中可以看出, 距离为 10km 时, 产生的相对误差为 $1/120$ 万, 小于目前最精密测距的允许误差 $1/100$ 万。因此可以认为: 在半径为 10km 的区域, 地球曲率对水平距离的影响可以忽略不计。即可以把该部分水准面当作水平面看待, 在精度要求较低的测量工作中, 其半径可扩大到 25km 。

1.4.2 对水平角的影响

从球面三角可知, 球面上三角形内角之和比平面上相应三角形内角之和多出球面角超, 见图 1-7。其值可用多边形面积求得, 即

$$\varepsilon = p \cdot \rho'' / R^2$$

(1-2)

- 式中 ε ——球面角超, 单位为 s ;
- p ——球面多边形面积;
- ρ ——弧度的秒值, $\rho = 206265''$;
- R ——地球半径。

表 1-1 地球曲率对水平距离的影响

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	距离相对误差 $\Delta D/D$
1	0.00	—
5	0.10	1: 5000000
10	0.82	1: 1217700
15	2.77	1: 541516

以球面上不同面积代入式 (1-2), 求出球面角超, 列入表 1-2。

表 1-2 水平面代替水准面对角度的影响

球面多边形面积 p/km^2	$\varepsilon/ (")$	球面多边形面积 p/km^2	$\varepsilon/ (")$
10	0.05	100	0.51
50	0.25	500	1.52

计算结果表明, 当测区范围在 100 时, 用平面代替水准面时, 对角度影响仅为 $0.51''$, 在普通测量工作中可以忽略不计。

1.4.3 用水平面代替水准面对高程的影响

在图 1-6 中, 从大地水准面起算, 地面点 B 的高程为 H_B , 从水平面起算, B 点的高程为 H'_B , 显

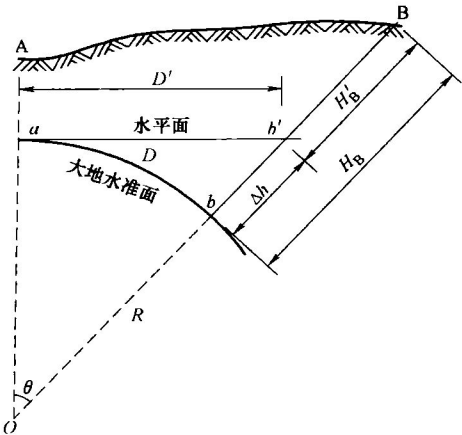


图 1-6 水平面与水准面的关系

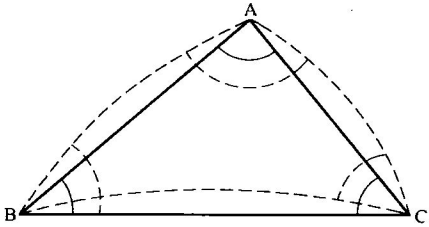


图 1-7 球面角超