

980238

普通高等教育地质矿产类规划教材

测量学

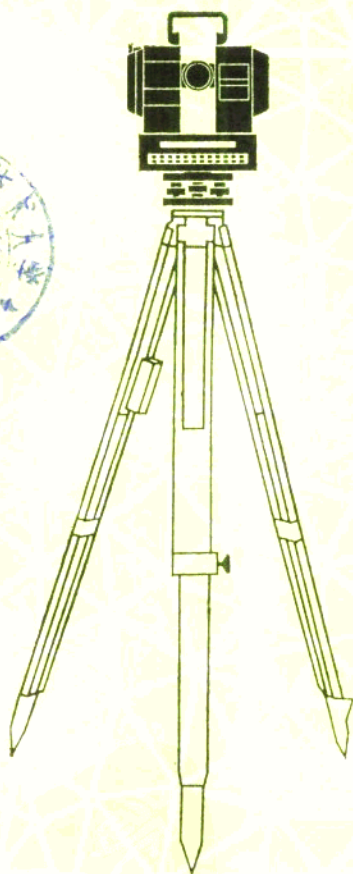
(上册)

CE

LIANG

XUE

田青文 主编



地质出版社

普通高等教育地质矿产类规划教材

测 量 学

(上 册)

田 青 文 主 编

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

(京)新登字 085 号

内 容 提 要

本教材是编者在多年教学实践的基础上,参阅国内外同类教材并吸收国内外测绘学科的研究成果编写而成。在体系和内容上有诸多改革,具有明显的自身特色。

全书共分为:总论(绪论,测量学基本概念,测量数据处理的基本知识);基本测量仪器(经纬仪、水准仪、平板仪、光电测量仪器);基本测量工作(角度测量,距离测量,高程测量);基本测量作业(导线测量,交会测量,小三角测量);地形图测绘与应用(地形图的认识,地形图的测绘,地形图的应用)等五篇 15 章。本书为上册,即前三篇。

本书除可作为大专院校测绘类专业的测量学教材外,也可作为测绘生产人员的培训教材及广大测绘工作者在科研、工作和生产中的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

测量学 上册/田青文主编,一北京:地质出版社,1994.10

ISBN 7-116-01522-1

I. 测… II. 田… III. ①普通测量学-教材②地形测量学-教材 IV. R21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 10417 号

地 质 出 版 社 出 版

(100013 北京和平里七区十楼)

责任编辑:李源明

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所发行

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:16.5 字数:388000

1994 年 9 月北京第一版·1994 年 9 月北京第一次印刷

印数:1700 册 定价:9.35 元

ISBN 7-116-01522-1
P·1239

序

随着全国教育改革的逐步深入,测绘教育改革也正在不断向前发展,有关《测量学》教材内容的改革,是近几年来我国广大测绘教育工作者所关注的问题,大家一致认为,《测量学》的教学内容必须尽快更新,教学方法必须加速改革。

由田青文老师主编的《测量学》主要供测绘类各专业使用。在编写过程中,编者应用了多年的教学经验并吸收了国内外同类教材的改革和测绘学科的研究成果,改变了传统的以地形测图为中心的编排旧体系,建立了从基本理论、基本方法和基本技能着手,通过基本的概念、测量仪器、测量工作再到具体的基本测量作业方法和最后地形图的测绘与应用的新体系。这是《测量学》教材改革的一种新的尝试,它不但使读者学到了原有的测量学知识,并且学到许多专业基础知识,为学习后续的专业课程奠定了良好的基础。

在选材上,编者除运用了《测量学》的经典理论与方法外,并把科研、生产和教学的成功经验贯注于教材内容之中,使其有一定的深度和广度;另外,还挑选了《测量学》中的一些重要、实用、新颖和知识性的内容,希望通过对这些内容的讲述来扩大学生的知识面,提高学生的学习积极性。

总之,这本《测量学》是一本富有改革和创新精神的教材及参考书。新的改革成果必须要在实践中经受考验,不断充实和改进,最后达到完善。衷心希望这本教材的正式出版,将有助于《测量学》课程教学质量的提高,有利于测绘教育改革的进一步发展。

宁中
一九九二年十一月十日

前 言

《测量学》是测绘类专业的一门主要专业基础课,它担负着奠定专业基础知识、开始专业基本训练和讲授地形测量内容这两大任务。本《测量学》是编者在多年教学实践的基础上,参阅吸收国内外同类教材及测绘科学的研究成果编写而成。初稿及胶印本讲义作为测绘类专业本、专科《测量学》试用教材,曾在西安地质学院使用多届。为进一步满足教学及广大测绘工作者参考的需要,对原讲义进行充实、修编,并经地矿部测量学课程教学研究委员会审议通过。

在本教材编写过程中,编者力图改变传统《测量学》基础理论比较古典、技术手段和方法比较传统的现状,试图打破以大比例尺地形测图的理论和方法为主线的传统体系,以便形成自身的特点。为此,根据教学需要和测量学本身的内涵,将教材内容分为总论(基本测量理论)、基本测量仪器、基本测量工作、基本测量作业、地形图测绘与应用等九个篇目,以形成新的教材体系。在基本测量理论和方法的论述上,也不拟跟过去那样仅以地形测量为出发点,而是将其建立在适当的水准之上。在照顾到初学者接受能力的前提下,不但要使基本概念、基本理论和方法能适合地形测量,而且更要适合于后续各专业课程需要,还要与测绘学的最新发展相适应,从而使教材的体系和内容都能突出《测量学》作为专业基础课的基础作用。

电子计算机和电子测角、测距仪器的普及以及空间定位系统的出现,不仅使测量方法产生了巨大的变革,而且导致测量理论和观念的更新。本教材十分重视测绘学这些新发展在内容上的体现,不仅完全摒弃了一些陈旧过时的传统内容,将新仪器、新技术、新方法充实其中,而且还尽量用新的理论和新的观念去更新传统的理论和观念。

在教材内容选择上,以理论与实践并举;新技术和方法与传统技术和方法并重;先进性与实用性的合理折衷;以及充分适应我国测绘生产作业的实际,是本教材所力图追求的目标。

在此,编者要特别感谢陈龙飞教授对本教材付出的辛勤劳动和做出的卓越贡献。他首先对本教材的体系和主要内容提出自己独特的见解。在教材编写过程中,又不断地给予指正和鼓励,并且仔细认真地逐章、逐节、逐字审阅了全部书稿,改正了原稿中的一些错误和不当之处,并充实了一些新的内容。

编者同时十分感谢中国测绘学会副理事长、教育委员会主任委员、武汉测绘科技大学校长宁津生教授在百忙中审阅了全部书稿,并挥毫为本书作序。

本教材由田青文副教授主编,并执笔编写了第六章以外的全部章节;由陈龙飞教授担任主审;王文颖教授对本教材的编写进行了指导;杨志强讲师参加了本教材的讨论、编写和审阅,(并执笔编写了第六章),做了大量的工作。参加本教材编写工作的还有狄方贤工程师、王腾军等同志。刘丽萍同志为本教材绘制了插图。

本教材计划学时为155~170学时,可以作为测绘类本、专科学生的《测量学》的教材,也可以作为测绘专业研究生和教师以及测绘科技工作者的参考书。

教材第二章《测量数据处理基础知识》既可安排在第一章之后讲授,以便运用数据处理

的理论指导后续内容的学习;也可以将其安排在第六章以后讲授,以减少讲授第二章的难度。在第二章内容的处理上已考虑了这两种安排的可能性。

由于本教材在体系和内容上的诸多改革尚具尝试性,有些定义和概念的提法以及三维测量的大部分内容都是编者个人的见解,也尚有待商榷,错误和不当之处肯定存在。编者诚恳地希望有缘接触本教材的各位学生、老师、专家和其它测绘界同仁不吝指正。

编 者
1993 年 8 月

目 录 (上册)

第一篇 总 论

绪 论

§ 0—1 测量学的内容、分支与作用	(1)
§ 0—2 测量学的发展历史与现状	(3)

第一章 测量学的基本概念

(8)

§ 1—1 测量工作的基准面和基准线	(8)
§ 1—2 地球椭球及其定位	(12)
§ 1—3 高程与高程系统	(17)
§ 1—4 测量坐标系	(20)
§ 1—5 地图投影与高斯坐标系	(24)
§ 1—6 地球曲率对观测成果的影响	(30)
§ 1—7 地面点的确定	(32)
§ 1—8 测量工作概述	(33)
§ 1—9 地图的基本概念	(40)

第二章 测量数据处理的基本知识

(46)

§ 2—1 测量与测量数据	(46)
§ 2—2 测量数据的误差	(47)
§ 2—3 测量数据处理的数学基础	(50)
§ 2—4 测量数据的精度	(55)
§ 2—5 误差传播定律	(59)
§ 2—6 不等精度观测与权	(63)
§ 2—7 权倒数传播律	(65)
§ 2—8 测量平差的基本概念	(67)
§ 2—9 等精度直接观测平差	(71)
§ 2—10 不等精度直接观测平差	(76)
§ 2—11 双观测列的平差	(79)
§ 2—12 测量精度估算	(81)

第二篇 基本测量仪器

第三章 经纬仪

(84)

§ 3—1 经纬仪的构造原理	(84)
§ 3—2 光学经纬仪的一般结构	(86)
§ 3—3 水准器	(90)

§ 3—4	望远镜	(93)
§ 3—5	光学测角装置	(99)
§ 3—6	竖盘指标自动归零补偿器	(106)
§ 3—7	经纬仪的使用	(109)
§ 3—8	经纬仪的检验与校正	(114)
第四章	水准仪	(124)
§ 4—1	水准仪的构造原理	(124)
§ 4—2	水准仪的基本构造	(125)
§ 4—3	水准尺和尺台	(127)
§ 4—4	水准仪的使用	(128)
§ 4—5	自动安平水准仪	(129)
§ 4—6	水准仪的检验与校正	(132)
§ 4—7	水准尺的检验	(140)
第五章	平板仪	(143)
§ 5—1	平板仪测量的原理	(143)
§ 5—2	大平板仪的构造	(144)
§ 5—3	大平板仪的安置	(147)
§ 5—4	大平板仪的检验与校正	(149)
§ 5—5	小平板仪	(151)
第六章	光电测量仪器	(154)
§ 6—1	电磁波测距原理	(154)
§ 6—2	电磁波测距仪	(159)
§ 6—3	电子测角原理	(165)
§ 6—4	电子定位系统	(169)
§ 6—5	其它光电测量仪器	(172)

第三篇 基本测量工作

第七章	角度测量	(176)
§ 7—1	角度测量概述	(176)
§ 7—2	水平角观测	(177)
§ 7—3	水平角观测的误差	(181)
§ 7—4	水平角观测的精度	(184)
§ 7—5	竖直角测量	(186)
§ 7—6	直线定向	(191)
§ 7—7	罗盘仪与方向测量	(195)
第八章	距离测量	(198)
§ 8—1	距离测量概述	(198)
§ 8—2	直线定线	(199)

§ 8—3	距离丈量·····	(201)
§ 8—4	钢尺的检定·····	(203)
§ 8—5	距离丈量成果的初步整理·····	(205)
§ 8—6	距离丈量的误差·····	(207)
§ 8—7	普通视距测量·····	(209)
§ 8—8	视差法测距·····	(215)
§ 8—9	电磁波测距·····	(219)
§ 8—10	测距成果的整理·····	(221)
第九章	高程测量·····	(225)
§ 9—1	高程测量概述·····	(225)
§ 9—2	水准测量·····	(227)
§ 9—3	三、四等水准测量·····	(231)
§ 9—4	水准测量的精度·····	(235)
§ 9—5	水准测量的数据处理·····	(239)
§ 9—6	普通三角高程测量·····	(248)
§ 9—7	电磁波测距三角高程测量·····	(252)

第一篇 总 论

绪 论

§ 0—1 测量学的内容、分支与作用

测量学是地学的一个分支。它是研究测定和推算地面点的几何位置、地球形状及地球重力场,据此测量地球表面自然形状和人工设施的几何分布,并结合某些社会信息和自然信息的地理分布,测绘和编制全球和局部地区各种比例尺地图的理论和技术的学科。《中国大百科全书》将其定名为“测绘学”,以强调它包括测量和制图两大内容。本门课程是研究测绘学的基础课程,它主要论述测绘学的基础知识、基本理论和基本方法,着重研究小地区、大比例尺地形图的测绘技术与方法,而不把地图制图作为其主要内容,因此仍称之为测量学,以强调它虽具有测绘学的广泛内涵,但却是以“测量”为其主要内容的。

测量学的主要研究对象是地球及其表面的各种形态。为此首先要研究和测定地球的形状、大小及其重力场,并用统一的坐标系统表示地表任一点在地球上的准确几何位置。

测量学是研究地球形状及地球重力场、地球椭球参数,以及地面点几何位置的测定与表示的理论和方法的分支学科,称为大地测量学。大地测量学的研究对象是地球上一个广大区域,乃至整个地球表面。它的基本任务就是确定地球的形状与大小,以及在广大区域内建立大地控制网,为大规模测制地形图和其它测绘工作提供基础的平面控制网和高程控制网,为用重力勘探地下矿藏提供重力点;为研究地壳的运动和地震的预测预报提供基础资料;同时,也为发射人造地球卫星、导弹和各种航天器提供地面站的精确坐标和地球重力场资料。为解决大地测量学所提出的任务,传统上有几何法和物理法。因此,常规的大地测量学包括几何大地测量学和物理大地测量学。前者是用一个同地球外形最为接近的几何体(旋转椭球)代表地球的形状,用天文大地测量的方法测定这个椭球的形状和大小,并以它的表面为基准面来推算地面点的几何位置;后者是从物理学的观点出发研究地球的形状,用一个同全球平均海水位面能相等的重力等位面(大地水准面)来代表地球的形状,用地面重力测量数据研究大地水准面相对于地球椭球面的起伏。

随着人造地球卫星的出现,又出现了用卫星法来解决大地测量学的任务,从而形成了卫星大地测量学。它是利用卫星在地球引力场中的轨道上运动,从地面跟踪站观测至卫星瞬间位置的方向、距离或距离差,结合卫星轨道参数综合解算地球椭球的几何参数和物理参数,以及地面跟踪站相对于地球质心的几何位置。由于日、月引力和构造运动等原因,地壳不是固定不动的,而是处于微小而缓慢的运动之中。因此,有必要从动态的观点来研究解决大地测量所提出的任务,从而形成了动态大地测量学。随着科学的发展和人类的进步,为满足海洋资源的开发、

海洋划界、船舰的精密导航、海面和海底工程的设计和施工、以及研究海底地壳动态和潮汐变化的需要,有必要在海洋范围内布设大地控制网、测定海面地形和海洋大地水准面、以及进行海面和水下定位,这便形成了海洋大地测量学。

在大地测量提供的大地控制网的基础上,即可进行地表形态的测绘工作。在测量学中,研究测定地表的各種自然形态,诸如水系、地貌、土质植被分布和人类社会活动所产生的各种人工形态(诸如境界线、居民地、交通线以及各种建筑物的位置)并将其绘制成地形图的理论和技术的分支学科,称为普通测量学,也称地形测量学。将本分支学科称为普通测量学,可以充分体现地表形态测绘工作通常是分别在面积不大的测区内进行,因而在同一测区内可以既不考虑地球曲率对地面点平面位置的影响,也不必顾及地球重力场微小影响这个特点。而将本分支学科称为地形测量学,正是为了强调测绘地表形态是它的主要任务这一内涵。

测绘地表形态,特别是测绘大面积的地表形态,目前越来越多的采用摄影方法,以获得地表形态的信息,然后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法进行处理,使其转变为各种比例尺地形图,或形成地理数据库。

在测量学中,研究利用摄影或遥感的手段获得被测物体的信息,经过分析和处理用以确定被测物体的形状、大小和位置的一个分支学科,称为摄影测量学。摄影测量学包括航空摄影测量学、航天摄影测量学、地面立体摄影测量学等。其中,航空摄影测量学是摄影测量学的主要内容。摄影测量学主要用于测绘地形图,但它的原理和基本技术也适用于非地形测量。随着科学技术特别是遥感技术的发展,尤其是出现了摄影的数字化技术以后,被测对象既可以是固体、液体,也可以是气体;既可以是微小的,也可以是巨大的;既可以是变化缓慢的,也可以是瞬息即逝的。只要被测对象能够被摄得影像,就可以使用摄影测量的方法对其进行量测。这些特性使摄影测量的方法已经在许多领域中得到广泛的应用。

在各项经济建设和国防工程建设的规划设计、施工和建筑物建成后的运营管理各个阶段中,都需要一定的测绘资料,或利用测绘手段指导工程进行,监测建筑物的变形。这些测绘工作,往往要根据具体工程的要求,采取专门的测量方法,有时需要特定的高精度或使用特种的测量仪器。在测量学中,研究工程建设在设计、施工和管理各个阶段中进行测量工作的理论、技术和方法的分支学科,称为工程测量学,又称实用测量学或应用测量学。它是测量学在国民经济和国防建设中的直接应用。工程测量学按它所服务的工程类别,又可分为建筑工程测量、线路测量(如铁路测量、公路测量、输电线测量和管道测量等)、桥梁测量、矿山测量、城市测量和水利工程测量等。

在海洋环境中进行的测绘工作,由于它在水上进行,并大多采用声纳和无线电方法,因而同陆地测量有很大区别。海洋测绘就是以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制工作。主要包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量以及航海图、海底地形图、各种海洋专题地图和海洋图集等的编制。

测绘过程所得到的成果,只是地形原图或海图原图,还要经过编绘、整饰和制版印刷,或增加某些专题要素,才能形成各种比例尺的地形图或海图,以及各种专题地图。地图制图学就是研究地图及其编制和应用的理论、技术和方法的分支学科。传统的地图制图学是由地图学总论、地图投影、地图编制、地图整饰、地图制印和地图应用等部分组成。随着科学技术特别是计算机技术和遥感技术的发展,计算机辅助地图制图和遥感制图已成为这门古老学科中最活跃

测量学的应用范围很广。它既要为国民经济建设、科学研究和国防建设提供精确的测绘数据和地图资料,又要满足人民群众日常生活对各种地图的需要。在城乡建设规划、国土资源的合理利用、农林牧渔业的发展、环境保护以及地籍管理等工作中,必须进行土地测量和测绘各种类型、各种比例尺的地图,以供规划和管理使用。在地质勘探、矿山开发、水利、交通等国民经济建设中,则必须进行地质勘探测量、矿山测量、水利工程测量和线路测量,并测绘大比例尺地形图,以供规划设计、施工和管理时使用。在地震预测预报、海底资源勘测、近海油井钻探、地下电缆埋设、灾情监视与调查、宇宙空间技术、以及其它科学研究方面,无不需测绘工作的配合。在国防建设中,除了为军事行动提供极大量的军用地图外,还要为保证火炮射击的迅速定位和导弹等武器发射的准确性,提供精确的地心坐标和精确的地球重力场数据。在研究地球运动状态方面,测量学还为大地构造运动和地球动力学提供几何信息,结合地球物理的研究成果以求解决地球内部的运动机制问题。

由此可见,测绘工作不仅是国民经济建设、科学研究和国防建设的一项基础技术工作,而且在其勘测、设计、施工、竣工和管理各个阶段中都将起到重要作用。随着科学技术的日益发展,测绘科学的作用还会日益增大。因而,测绘工作常被人们誉为建设的尖兵,这是测绘工作者的光荣。每个测绘工作者有责任兢兢业业、不避艰辛、当好尖兵,为实现四个现代化而多做贡献。

§ 0—2 测量学的发展历史与现状

测量学有着悠久的历史。测量学同其它科学技术一样,是由于社会的需要而产生,随着社会的进步而发展的。同时,测量学的发展又必然会推动社会的进步。古代的测量技术起源于水利和农业。远溯到上古时代,夏禹在黄河两岸治理水患和埃及尼罗河泛滥后农田边界整理中,就应用了一定的测量知识,并使用简单工具进行了测量。

测量学研究的对象是地球。测量学的发展一开始就同人类对地球形状认识的逐渐深化而紧密联系在一起。因此,首先应从人类对地球的认识过程来对测量学的发展加以阐述。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(公元前580—公元前500年)最早提出“地”是球形的概念开始的。两世纪后,亚里士多德(公元前384—公元前322年)对此作了进一步的论证,形成了地圆说。又一世纪后,亚历山大的埃拉托色尼(公元前276年—公元前195年)首次用观测的方法对地圆说加以验证,提出应用弧度测量的方法确定地球大小(即半径)的主张。按照字面理解,初始的弧度测量就是通过测量同一子午线上一段弧长以及这段弧长所对应的圆心角,进而按弧长与圆心角(以径计)之比值计算出地球的半径。埃拉托色尼就是根据在埃及色尼(即今时的阿斯旺)夏至正午时阳光直射井底,而同一时刻在色尼大致位于同一子午线上的亚历山大其太阳向南偏出的角度(即纬差 $\Delta\varphi$,可通过立杆测日影来确定,如图0-1所示),以及按骆驼商队行走时间估计出的两地距离作为纬差 $\Delta\varphi$ 对应的弧长,从而估算出地球的半径约为400000埃及古尺(约合6267km),尽管精度还未达到可信的程度,但埃拉托色尼关于测量地球大小的思想却是正确的、先进的。因此,他被认为是弧度测量的先导。

世界上有记载的真正的弧度测量,最早是我国唐代开元十二年(724年)南宫说在张遂(一行)的指导下,在今河南省境内进行的。根据测量的结果,推算出了纬度1度的子午线弧长约为132.3km,比现在的数值也仅大20%。17世纪末,英国的牛顿和荷兰的惠更斯首先从力学

的观点,即用物理的方法来探讨地球的形状,提出了地球是两极略扁的椭球体,称为地扁说。该假说认为,假若地球以前是在炽热的流体状态中,则在万有引力和离心力的作用下,地球的表面应该是两极略扁的扁球形而不是圆球形。为了验证地扁说,就需测定不同纬度处角幅为一度的子午线弧长。如果在高纬度处所得的子午线每一度弧长会比低纬度处长些,那末就可以证明地球在两极是扁的。第一个为验证牛顿、惠更斯理论的尝试,是在 1683 年—1716 年由卡西尼父子在法国进行的弧度测量。但遗憾的是由于测量的误差及在工作布置中方法上的缺点,以致得出相反的结论,即地球不是如牛顿、惠更斯所说的南北扁平的椭球,而是南北狭长的“长球”,于是爆发了一场旷日持久的大论战。为了解决这场争端,1734—1739 年间,法国科学院派遣了两个测量队分别在南美洲的秘鲁和北欧的拉普兰大进行了弧度测量,利用实测的结果不仅证明了地扁说是正确的,并且结束了延续半个世纪的关于地球究竟是南北扁平的椭球,还是南北狭长的椭球的论争。从地圆说到地扁说,是人类对地球形状认识的一次飞跃。1743 年,法国的克莱洛论证了地球的几何扁率与动力扁率之间存在着简单的数学关系,奠定了物理大地测量的基础,使人们对地球的认识又进了一步。1792—1798 年间,由德朗米和米申进行弧度测量的结果而产生了国际长度单位——米,将长度单位与子午线弧长相联系,规定一米等于通过巴黎地理子午线象限弧长的一千万分之一。19 世纪初,随着测量精度的提高,通过对各处弧度测量的结果的研究,发现测量所依据的沿垂线方向同地球椭球面的法线方向间的差异不能忽略。因此,法国的拉普拉斯和德国的高斯相继指出,地球的形状不能用旋转椭球体来代替。1849 年,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,利斯廷提出用大地水准面来代表地球的形状。大地水准面是一个物理表面,是地球重力场的几何表象。而地面点的重力值与地球内部的质量分布有关,从而使地球的形状与地球的内部结构发生了联系。大地水准面比椭球面更接近于地球的真实形状,这是人类对地球形状认识的又一次飞跃。1945 年,前苏联的莫洛坚斯基创立了直接利用地面重力数据研究地球形状的理论,并提出了“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对其大小的测定,经历了球—椭球—大地水准面这三个阶段,花去了约二千五、六百年的时间。随着人类对地球形状认识的不断深化和对其大小测定的愈益精确,才使精确计算地面点的平面坐标和高程有了可靠的科学依据。同时,也不断地丰富了测绘的理论,改进了测量的技术和方法,推动了测量学的发展。

人类对地球形状的认识和对其大小的测定,经历了球—椭球—大地水准面这三个阶段,花去了约二千五、六百年的时间。随着人类对地球形状认识的不断深化和对其大小测定的愈益精确,才使精确计算地面点的平面坐标和高程有了可靠的科学依据。同时,也不断地丰富了测绘的理论,改进了测量的技术和方法,推动了测量学的发展。

地图是测量结果的形象表达。地图制图学是测量学的重要分支。人类对地图的需求,必然促进测量学的发展。反过来,测量学的发展又肯定会迫使地图制图方法的进步与之相适应。因此,地图制图的演变过程是测量学发展的一个重要侧面。正因为如此,有必要再从地图制图的演变过程来对测量学的发展加以阐述。

由于人类从事生产和军事活动的需要就产生了地图,因而,地图的出现可追溯到上古时代。现在保存下来的古老的地图是公元前 27 世纪苏美尔人绘制的地图、公元前 25 世纪巴比伦人刻印在陶片上的地图和公元前 11 世纪埃及人绘制的彩色金矿图,以及近代发现的太平洋海岛原始部落用木桩制作的海岛图、用柳条与贝壳编缀的海道图和爱斯基摩人草绘的海港图,这

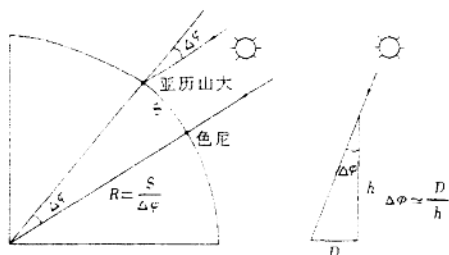


图 0-1 埃拉托色尼的弧度测量

些原始地图都是一些示意的模型地图,起着确定位置、辨别方向的作用。在中国,有关地图起源的文献中最早的记载是夏禹铸九鼎的传说。鼎上铸的有山、水、路的地理图画,历来被认为是地图志的雏形。1978年在河北省平山县发掘出土的春秋战国时期中山王墓中的“兆域图”是表示墓地建筑工程的平面图。从图中可以看出当时已有了比例尺和抽象符号的概念,并已开始从模型地图向平面图的过渡。公元前3世纪,亚历山大的埃拉托色尼最先通过观测估算出了地球曲率和周长,并绘制出以经纬线为坐标的地图,从而使地图有了数学基础。1973年,在中国湖南长沙马王堆三号汉墓中发现的绘制在帛上的地图,是我国现存最古老的地图作品。在这些地图上,已经注意到比例尺和方位,讲求一定的精度,充分反映出了距今2100年前我国地图测绘的光辉成就。公元2世纪,古希腊的托勒密在他所著的《地理学指南》一书中,首先提出了用数学的方法将地球表象描绘成平面地图(即地图投影)的问题,并设计了圆锥投影和以经纬网格绘制地图。附在该书中的27幅世界地图和26幅局部区域图,堪称当时西方的划时代地图作品。100多年后,中国西晋的裴秀总结出了绘制地图必须遵循的六条基本原则(称为“制图六体”),奠定了地图制图的理论基础。裴秀倡导的计里画方(即按比例尺展绘的格网绘制地图)的制图方法,长期为中国古代编制地图时所遵循,并且远及朝鲜和日本。西安碑林保存的1136年石刻《禹迹图》和《华夷图》,不仅是裴秀计里画方制图方法的实物见证,而且也反映出宋代已能对长江、黄河水系进行精确的测绘。16世纪,地图进入了一个新的发展时期。中国明代的罗洪先和德国的墨卡托都以编制地图集的形式,分别总结了16世纪之前我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,并根据实地测量的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以及具有较高的精度,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编绘成各种比例尺的地图。测绘地形图,以西欧为最早。1730—1780年,法国的卡西尼父子测绘的法国地形图是最负盛誉的。我国历史上首次使用这样的方法在广大的国土上测绘的地形图,是清康熙四十七年至五十七年(1708—1718年)完成的《皇舆全图》。它的测绘是以天文点和三角网为依据,奠定了中国近代地图的基础。在《皇舆全图》的基础上,后来又增测新疆西南部和西藏的地图,改称《清内府—统舆地秘图》。在图上最早标绘出世界最高峰——珠穆朗玛峰。

现代地图制图方法已有了巨大的变革,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,随着计算机的出现和人造地球卫星的上天,使得地图制图朝着计算机辅助地图制图和遥感制图的方向发展,使成图的精度和速度都有了很大的提高,使地图制图自动化成为可能。

测量学是一门技术性很强的应用学科,它的形成和发展在很大程度上依赖于数学、测绘方法和仪器工具的创造和变革。从原始的测绘技术和方法发展到近代的测绘技术和方法的过程,也就是从原始的测量学发展到近代测量学的过程。因此,最后我们再从测绘技术方法和仪器工具的变革等方面来对测量学的发展加以阐述。测绘技术和方法的发展与科学文化的发展紧密相关。由于古希腊的乔芬德创造了代数学、欧几里德发展了几何学、以及阿基米德对力学与数学和托勒密对天文学与三角学的贡献,都促进了测绘技术和方法的形成与发展。古希腊的科学家就已创造了用圆周测角、用小孔瞄方向的观测方法,这种方法至今在测量上还有一定的实用价值。在此期间,他们还编制了作为测地规范的测地学,并开始应用天文方法测定纬度。我国是世界上的文化古国之一,测绘科学在我国的发展很早。早在公元前23世纪,夏禹治水时所用

的“准、绳、规、矩”就是实际测量的工具。公元前4世纪即春秋战国时代,我们祖先就已利用磁石制成了世界上最早的指南工具,称为“司南”。公元7世纪,中国的指南针通过阿拉伯人传到欧洲,从而为方向测定作出了卓越的贡献。直到现在,利用磁针定向仍是一种重要的定向方法。公元1世纪左右,后汉的张衡创造了浑天仪,在天文观测史上写下了光辉的一页。他还创造了候风地动仪,这是世界上第一架地震仪。3至4世纪魏晋时期的刘徽在他著的《海岛算经》中,论述了测量海岛距离及高度的方法,他著的《重差术》是世界上最早的地形测量规范。4世纪后秦的姜岌发现了大气折光现象,并给予了正确的解释。在720年前后,唐代的僧一行(张遂)为修改历法而主持了大规模的天文测量,进行了世界上最早的弧度测量,用日圭测太阳阴影来确定纬度。11世纪,宋代的沈括创造应用分层筑堰法进行水准测量,使用水平尺和罗盘进行地形测量。13世纪的元代,在郭守敬的倡议下进行了大规模的天文测量,拟定了全国纬度测量计划,并实测了27个点。1616年左右,发明了望远镜,并应用于天文观测,从而也为其它测量工作提供了极其有用的工具。这是测绘技术的一次大变革,从此以后望远镜被广泛应用于各种测量仪器上。

1617年,荷兰的斯涅耳为了进行弧度测量而首创三角测量法,用以代替在地面上直接测量弧长,这是测绘方法的一次巨大变革。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,由此改进了测量仪器,这可称之为光学测绘仪器的开端。约于1730年,英国的西森制成了第一架经纬仪,大大促进了三角测量的发展,使三角测量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,欧美两洲间的航海问题变得特别重要。为了保证航行安全可靠,许多国家相继研究在海上测定经纬度的方法,以确定船舰的位置。但是,经纬度的测定,尤其是经度的测定方法,直到18世纪发明时钟之后才得到圆满解决。从此开始了天文大地测量学的系统研究。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,这时数学的进展开始对测量学产生重大影响。在1794年,高斯首创了最小二乘法理论,并应用于谷神星轨道和星历的计算。但他正式发表最小二乘法理论却在1809年,比法国的勒让德发表最小二乘法理论的1806年要晚三年,从而引起了一场关于最小二乘法理论首创权的争议。最小二乘法原理为测量平差计算奠定了科学基础,至今仍是测量平差计算所遵循的基本原理。

19世纪50年代初,法国的洛斯塔首创摄影测量方法,随后,相继出现立体坐标量测仪、地面立体量测仪等。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,因而可以将航摄像片在立体测图仪上加工成地形图,形成了航空摄影测量方法。从而使大量的野外地形测绘工作可以在室内进行。因此,航空摄影测量方法的发展,可以说是测量方法又一次重大变革。

从17世纪末到20世纪中叶,测绘仪器主要在精密机械和光学领域内发展,测量学的传统理论和方法也已逐渐发展成熟。

从20世纪50年代起,测绘技术又朝着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,因其能直接用来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,还可以方便地采用精密导线测量和三角测量。大约与此同时,出现了电子计算机,并很快被应用于测量学中。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,使测绘工作更为方便和精确。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,使得用航测法成图完全自动化成为可能。60年代出现的由计算机控制的自动绘图机,可用以实现地图制图自动化。1957年人造地球卫星的出现,给测量学带来了巨大的变革。1958年仅根据对前苏联“人造地球卫星”2号几个星期目视观测资料的分析研究,就推得较准确的地球扁率为 $1:298.24$ 。1959年又按“先锋”1号卫星的观测数据,进一步推知地球南北半球不对称,大地水准面在北极隆起约10m,在南极处下陷约30m。由此可见,用卫星测量的方法可以解决常规测量方法长期难以解决的问题。60年代,按人造地球卫星的观测数据求出了较准确的地球引力场模型和分辨范围达几百公里的大地水准面起伏。70年代,子午卫星多普勒观测技术以及在此基础上发展起来的全球定位系统(GPS)的应用,测定了遍及全球的地面站的地心坐标。激光对卫星测距可达到厘米级精度,并制成了流动式激光测距仪,可以测定地面站的精确位置、极移和地球自转的周期变化。利用“吉奥司”3号卫星的星载雷达测高技术,首次成功地测定了海洋表面的形状,从而可以比较精确地推求全球的大地水准面。同时,由于利用卫星可从空间对地面进行遥感,因而可将遥感的图象信息用于编制大区域内的小比例尺影像地图和专题地图。在这个时期内,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利工具。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甚长基线干涉测量。因此,可以说50年代以后,随着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,而且使传统测量学的理论与技术以及传统的测量学观念发生了巨大变革,测量的对象也由地球扩展到月球及其它星球。

我国的测绘事业自新中国成立以后也进入了一个崭新阶段。1950年成立了中国人民解放军总参谋部测绘局,1956年成立了国家测绘总局,科学院成立了测量及地球物理研究所。各行业各部门亦纷纷设立了测绘机构,培养测量人员的各级各类学校也先后成立,测绘队伍飞速壮大,测绘科学研究工作亦得到迅猛发展。1954年和1956年分别建立了“1954年北京坐标系”和“1956年黄海高程系统”。后来在全国范围内建立了国家大地网、国家水准网、国家基本重力网和卫星多普勒网,并对国家大地网进行了整体平差。在1975年进行了举世瞩目的珠穆朗玛峰高程测量,测得珠峰的高程为8848.13m。1993年我国与意大利合作对珠峰高程进行了复测,测得其高程为8846.27m。70年代以后,我国进行了大量的基础测量工作。1977年建立了我国的“1968.0地极坐标系(JYD)”;1978年,国家测绘总局和总参测绘局在西安召开的全国天文大地网整体平差会议决定,建立我国新的正式的国家大地坐标系,并定名为“1980年国家大地坐标系”;1985年,在青岛召开的全国一等水准网布测协调组扩大会议决定,用青岛大港验潮站1952—1979年的潮汐观测资料所计算的平均海水面作为我国的高程基准面,并定名为“1985国家高程基准”。为了发展卫星大地测量技术,相继研制了卫星摄影仪、卫星激光测距仪、卫星多普勒接收机、GPS接收机,并已投入实际应用。采用航空摄影测量的方法在全国范围内测绘了国家基本比例尺地形图,其中已完成 $1:5$ 万(部分地区 $1:1$ 万)比例尺的测图工作,正在进行 $1:1$ 万比例尺的全国范围内的测图工作。在摄影测量技术上已普遍应用电子计算机进行解析空中三角测量,并研制了解析测图仪、正射投影仪,研究了自动化测图系统和遥感资料在测绘上的应用。在海洋测绘方面,采用了新的海洋定位系统。这些新仪器和新技术的应用,进一步推动了我国测绘事业的发展。

第一章 测量学的基本概念

§ 1—1 测量工作的基准面和基准线

测量工作的最终目的是经测量而确定地面点的点位坐标(称为测定),或根据点的坐标确定它的实地位置(称为测设,或称放样)。为此,需进行野外观测和内业计算。在测定时,通过观测点与点之间的垂直距离与水平距离(或倾斜距离)、测定直线之间的夹角与直线的方向、以及时间、温度、气压等其它要素,而获得原始观测数据,作为内业计算的基础。然后再通过计算而获得与点位有关的距离、角度、方向、平面坐标与高程或空间坐标;在测设时,首先要根据点位要素通过计算而获得点间距离和直线间的夹角,据此通过野外观测将其标定在实地上。由此可见,测定和测设是测量工作的两项基本内容,野外观测和内业计算是测量工作的两个主要阶段。因此,必须首先选定野外观测和内业计算的基准面和基准线。

1.1.1 水准面与铅垂线

一切野外观测工作都是在地球自然表面上进行的。因此,地球自然表面是野外观测的依托面。但是,由于地球自然表面是不规则的曲面,因而不能作为野外观测的基准面。不过,大自然给予野外观测提供有天然的基准面和基准线。

我们知道,野外观测是在地球重力场中进行的。在地球惯性系统内,地球上任何点都要受到地球引力 $\vec{F}$ 和惯性离心力 $\vec{E}$ 的作用,它们的合力就是重力 $\vec{G}$ 。重力的方向线称为铅垂线(图1-1)。液体受重力而形成的静止表面称为水准面。水准面是物理表面。同一水准面上的重力位处处相等。因此,水准面也称重力等位面。同一水准面上任一点的铅垂线都与这个水准面相正交。水准面上某点处的切平面就是该点处的水平面。

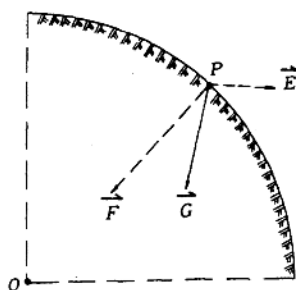


图 1-1 地面点的受力

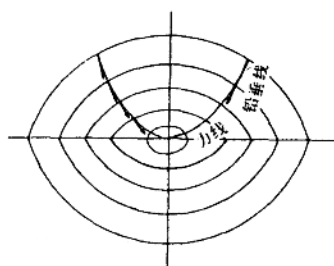


图 1-2 铅垂线与力线

利用液体受重力作用形成水准面的原理制成了水准器,将其安置到测量仪器上。在野外观测时,就是利用仪器上的水准器使水平度盘和仪器的横轴与水平面相一致,使仪器的竖轴与铅垂线相一致,并使仪器中心位于过测站点的铅垂线上。由此可见,水准面和铅垂线就是野外观测的基准面和基准线。