

测量学原理

冯仲科 主编

中国林业出版社





责任编辑 杨长峰
封面设计 聂崇文
版式设计 沈 江

ISBN 7-5038-3225-8



9 787503 832253 >

ISBN 7-5038-3225-8

定价：38.00元

测量学原理

冯仲科 主编

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学原理/冯仲科主编. —北京: 中国林业出版社, 2002. 10

ISBN 7-5038-3225-8

I. 测… II. 冯… III. 测量学 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 077802 号

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

E-mail cfphz@public. bta. net. cn **电话** 66184477

发行 中国林业出版社

印刷 北京林业大学印刷厂

版次 2002 年 10 月第 1 版

印次 2002 年 10 月第 1 次

开本 787mm×960mm 1/16

印张 29

字数 543 千字

印数 1~5000 册

定价 38.00 元

序

测绘科学技术是一门古老而又现代的科学和技术。从古代尼罗河泛滥之后土地边界再划分到航天飞机发射,从大禹治水到长江截流,测绘科学与技术作为时代的结晶,在人们认识自然、改造自然与发展生产力的过程中发挥了十分重要的作用。

测绘学是一门与时俱进的学科,总是与时代高新科技完美结合,望远镜广泛用于测绘仪器,照相机用于摄影测量,飞机和卫星作为影像获取平台,激光用于指向和测距,计算机用于测量平差、制图和数据库载体,卫星用于GPS定位,所有这些空间技术、计算机技术、自动化技术、光电技术把我们测绘科技推向前所未有的时代。现代测绘学科已是有着深奥理论和高新科学技术的重要学科,成为研究空间数据获取、地球科学和各类工程建设所不可缺少的科学与技术。

在测绘学科发生巨大变革的情况下,测量学作为高等学校测绘专业及农林、土建、交通、矿业、地质、水利等专业的一门技术基础课,其教学内容势必要进行重大的改革,以适应培养各类专业人员的需要。

冯仲科同志是我熟悉的一位勤奋、富于开拓和创新精神的青年教授,这几年他在林学与测绘科学技术的结合上做了大量卓有成效的工作,有力地推动了林业信息科学的发展。他曾经多次和我谈起过打算对《测量学》教材内容进行改革,我表示赞赏和支持,这本《测量学原理》就是在他和其他几位教师共同努力下,本着改革的精神,辛勤劳动的结果。本书的出版必将进一步促进测量学课程得到不断的改革和进步。

我希望作者能及时收集广大读者对本书的意见与建议,深入研究21世纪测量学教学中的新理论、新技术、新问题,全面提高测量学课程教学质量。

中国测绘科学研究所所长、教授、博士生导师

林宗坚

2002年7月17

前 言

近 50 年来世界测绘科学技术有了飞速的发展。我国从改革开放以来积极引进国外的先进测绘仪器与技术,使测绘事业呈现出欣欣向荣的大好局面。当前,现代高新技术与测绘学科相互交叉、渗透,使古老的测绘学科的内涵不断丰富,外延不断扩展,为我国的社会主义现代化建设作出了多方面的贡献。基于以上原因,我们编写了《测量学原理》。在编写过程中我们力求做到以下几点:

(1) 先进性。把当前测绘工作中已实际应用到的新仪器、新技术纳入教材,如电子经纬仪、光电测距仪、全站仪、数字化测图及 GPS、RS、GIS 等。与此同时,在教材中仍保留主要的传统测绘技术,使教材不失一般性。

(2) 实用性。本教材注意引导学生结合本专业需要解决各类工程实际问题,较详细地介绍仪器使用方法,并有丰富的算例。

(3) 通用性。本教材的使用对象是非测绘专业大学本科、专科及中专学生,其中包括林学、园林、水保、工民建、建筑学、给排水、暖通、道桥工程、城镇规划、建筑管理、土地管理等专业。

本书由北京林业大学、清华大学、天津大学、河北理工学院、天津城建学院、淮海工学院、贵州大学、北方工业大学、河北职业技术学院、延边大学等院校教师参加编写。由冯仲科教授担任主编,负责全书策划、审校和有关章节的编写与改写。邓融、张远智、景海涛、黄旭东、谭伟、曹志刚、吴玉德参编,周立、赵俊兰、赵春江担任副主编并参加有关章节编写工作。

著名测绘专家,中国测绘科学研究所所长、博士生导师林宗坚教授为本书作序,北京林业大学教授韩熙春、首钢工学院教授陈于恒在百忙之际审阅全书并提出宝贵意见,为此我们表示由衷的感谢。

限于编者水平,书中难免有不足与疏漏之处,恳望专家、读者批评指正。

冯仲科

2002 年 6 月

目 录

序	林宗坚
第一章 测量学基础	(1)
第一节 测量学的任务、作用	(1)
第二节 地球形状、大小	(2)
第三节 地面点位确定	(4)
一、地理坐标	(5)
二、高斯-克吕格平面直角坐标系	(5)
三、地面点的高程	(7)
第四节 平面图、地图、地形图和断面图	(8)
一、平面图	(8)
二、地形图	(8)
三、地 图	(9)
四、断面图	(9)
第五节 比例尺和比例尺精度	(9)
一、比例尺的种类	(9)
二、比例尺精度	(10)
第六节 测量工作概述	(11)
一、测量的基本问题	(11)
二、测量的基本工作	(12)
三、测量的基本原则	(12)
第七节 地图投影与分幅编号	(13)
一、地图投影	(14)
二、地形图的分幅与编号	(21)
三、地形图图外注记	(25)
第八节 三北方向与坐标正反算	(27)
一、三北方向	(27)

二、表示直线方向的方法	(28)
三、坐标正反算	(29)
第九节 测绘基准与坐标转换	(30)
一、基准面	(31)
二、大地坐标和高程	(32)
三、空间直角坐标系	(32)
四、任意平面直角坐标系	(32)
五、用水平面代替水准面的限度	(33)
六、坐标转换	(34)
第十节 误差及广义误差传播定律	(35)
一、观测误差	(35)
二、衡量精度的指标	(39)
三、误差传播定律	(41)
四、同精度观测值的中误差	(44)
思考与复习题	(45)
第二章 测绘仪器及其应用	(46)
第一节 水准仪	(46)
一、水准仪的基本结构及功能	(46)
二、水准仪的使用方法	(54)
三、水准仪的检校	(63)
第二节 经纬仪	(69)
一、经纬仪的基本结构及功能	(70)
二、经纬仪的安置方法	(86)
三、经纬仪观测水平角	(87)
四、经纬仪观测竖直角	(95)
五、经纬仪的检校	(102)
第三节 电磁波测距仪	(108)
一、电磁波测距基本原理与结构	(108)
二、电磁波测距仪操作技术	(115)
三、电磁波测距仪参数设置	(122)
四、水平距离及高差测量	(127)
五、坐标测量	(129)
六、距离放样	(131)
七、中短程测距仪的检验	(133)

第四节 全站仪	(134)
一、电子全站仪的基本结构	(134)
二、电子全站仪主要系统单元结构及功能	(134)
三、电子全站仪的系统配置及安置	(143)
四、电子全站仪参数设置	(145)
五、全站仪基本元素测量	(154)
六、全站仪坐标测量	(165)
七、全站仪坐标放样	(171)
八、电子全站仪检验	(172)
第五节 全球卫星定位系统 (GPS)	(176)
一、GPS 全球定位系统	(177)
二、GPS 定位原理	(180)
三、GPS 定位方法	(185)
第六节 电子手簿	(193)
一、电子手簿的类型及配置	(194)
二、电子手簿的基本功能	(196)
三、电子手簿的使用	(196)
第七节 罗盘仪	(212)
一、罗盘仪结构与组成	(212)
二、罗盘仪测定磁方位的方法	(213)
第八节 平板仪	(213)
一、平板仪测量原理及模式	(213)
二、平板仪的结构	(214)
三、施测方法及步骤	(215)
第九节 求积仪	(217)
一、求积仪基本结构及功能	(218)
二、机械求积仪使用	(220)
三、数字求积仪的使用	(221)
第十节 图形数字化仪	(225)
一、数字化仪结构原理	(225)
二、数字化仪的使用	(225)
第十一节 扫描仪	(227)
一、扫描仪结构原理	(227)
二、扫描仪工作模式	(227)

思考与复习题	(228)
第三章 三维测量	(230)
第一节 距离丈量	(230)
一、钢尺量距	(230)
二、钢尺量距的精密方法	(234)
第二节 罗盘导线	(237)
一、罗盘导线概述	(237)
二、罗盘导线外业施测步骤	(238)
三、罗盘导线内业图解平差与计算平差	(240)
第三节 水准测量	(242)
一、水准测量原理	(243)
二、普通水准测量方法	(246)
三、三、四等水准测量	(254)
第四节 全站仪导线测量	(258)
一、平面控制的定位和定向	(258)
二、导线的布设形式	(260)
三、导线测量的外业工作	(261)
四、导线测量的内业计算	(263)
五、导线测量错误的检查	(278)
六、结点导线	(281)
七、电磁波测距三角高程测量	(283)
第五节 GPS 测量	(286)
一、GPS 小区域控制测量	(286)
二、GPS 碎部测量	(290)
思考与复习题	(293)
第四章 地形制图与应用	(296)
第一节 地形符号	(297)
一、地物符号	(297)
二、地貌符号——等高线	(298)
三、地籍图基本知识	(303)
第二节 地形图的测绘	(308)
一、大比例尺地形图的测绘	(309)
二、碎部点平面位置的测绘方法	(310)
三、碎部测图的方法	(311)

第三节 航空摄影测绘地形图	(317)
一、航摄像片的基本知识	(318)
二、航测成图过程简介	(321)
第四节 房地产测绘	(324)
一、概 述	(324)
二、测绘地物的一般原则	(324)
三、地籍要素测量的对象和技术方法	(325)
四、地籍图测绘	(326)
第五节 数字地形、地籍测绘	(327)
一、数字化测图概述	(327)
二、全站仪数字化测图方法	(328)
三、数字化测图的硬件和软件简介	(330)
四、数字地籍测绘	(335)
第六节 地形图的应用	(340)
一、地形图的识读	(340)
二、地形图应用的基本内容	(341)
三、按设计线路绘制纵断面图	(344)
四、地形图上按限制坡度选定最短路线	(345)
五、确定汇水面积	(346)
六、平整场地中的土石方量估算	(347)
思考与复习题	(353)
第五章 工程测量	(354)
第一节 标定原理	(354)
一、标定测量原理	(354)
二、点的平面位置的测设	(357)
第二节 建筑测量	(359)
一、概 述	(359)
二、建筑场地上的施工控制测量	(360)
三、民用建筑施工测量	(365)
四、工业建筑施工测量	(370)
五、建筑物的变形观测	(375)
六、竣工测量	(382)
第三节 水工测量	(383)
一、坝轴线的定位与测设	(384)

二、坝身平面控制测量	(384)
三、坝身高程控制测量	(386)
四、坝身的细部测设	(386)
第四节 道桥测量	(389)
思考与复习题	(408)
第六章 测绘新技术	(411)
第一节 GIS 技术	(411)
一、GIS 概述	(412)
二、GIS 的基本功能	(412)
三、GIS 的应用范围	(414)
四、GIS 研究前沿	(415)
第二节 RS 技术	(418)
一、RS 的特点	(418)
二、卫星遥感系统	(420)
三、遥感图像的判读	(423)
四、遥感图像的数据处理	(431)
第三节 3S 集成技术	(438)
一、历史	(438)
二、现状	(438)
三、森林资源调查监测 3S 系统	(439)
四、前景	(441)
第四节 精准农林业技术	(442)
一、精准农业特点	(442)
二、“精细农业”技术流程	(443)
三、精准林业特点	(444)
四、精准林业技术流程	(445)
五、两个实践实例	(445)
第五节 测绘科技现代化	(446)
思考与复习题	(447)
主要参考文献	(449)

第一节 测量学的任务、作用

测量学是一门古老的地球科学，它来自于希腊文的“土地划分”，至少已有4000多年的历史。我国是世界文明古国之一，测量学的发展也有悠久的历史。早在公元前2200年夏禹治水时就已使用了“左准绳，右拐矩”的测量工具和方法，春秋战国时期已经制成了利用磁石的指南仪器“司南”，唐代僧一行主持了世界上最早的子午线弧长测量，西晋裴秀的《制图六体》被誉为世界上最早的地图制图理论。

近代的测量学已经发展为一门综合科学，它在一系列测量仪器与工具的帮助下能够解决许多复杂的科学、技术与工程问题，现今通常叫做测绘科学。

测绘科学的研究对象主要是地球的形状和大小以及地球表面(包括空中、地表、地下和海洋)上各种物体的几何形状与空间位置，通过测绘工作把地球表面用平面图、地图或剖面图表示出来，以及对于这些空间位置信息进行处理、储存、管理，同时解决各种类型的实际问题。测绘技术对于空间技术研究、地壳形变、地震预报、地球动力学研究等科学研究方面也是不可缺少的工具。

随着人类社会的发展，按照研究对象及采用技术的不同，测绘科学已发展为包含着许多学科的现代科学，它们分别是：

(1) 大地测量学。它的任务是研究地球的形状与大小，解决地球重力场以及建立大地控制网问题。大地测量以地球表面广大地区为测量对象，因此必须考虑地球的曲率。大地测量学又可分支为：几何大地测量学、物理大地测量学、卫星大地测量学、海洋大地测量学和空间大地测量学等。

(2) 普通测量学或地形测量学。它研究地球表面上较小面积局部地区的测绘问题，一般在点的平面位置问题上不考虑地球曲率。

(3) 摄影测量学。它是研究利用摄影或遥感技术来获得地球表面上地貌和地物的影像并绘制地形图的理论与方法。根据获得影像方法的不同，摄影测量

学又可分为水下摄影测量、地面摄影测量、航空摄影测量和遥感测量。

(4) 工程测量学。它研究城市建设、矿山与工厂、水利水电、农林牧业、铁道交通、地质矿产等领域在勘测设计、建设施工、竣工验收、生产经营与变形监测等方面的测绘工作。工程测量需要完成的任务有三：一是测绘，把地面上的情况描绘到图纸上；二是测设（或标定），即把设计图纸上的目标（建筑物、构筑物等）标定在实地，以指导施工；三是对已建成的建筑物、构筑物进行的竣工测量和变形监测。

(5) 海洋测量学。它以海洋和陆地水域作为研究对象，研究港口、码头、航道及水下地形测量的理论和方法的专门测量问题。

(6) 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。

当前信息社会中，测绘工作在国民经济建设和国防建设中发挥着越来越重要的作用，对于空间技术研究、地壳形变、地震预报、地球动力学研究等科学研究方面都是不可缺少的工具。测绘技术及成果应用面很广，国民经济建设中的任何一项发展项目，从调研、立项、设计到施工建设，都必须有地形图和各種测量数据作为依据，各种带有特殊目的的专题地图（反映有关地质、地貌、土壤、生态、土地、气象、矿产、人口等方面的信息分布）都必须建立在测绘工作成果的基础上。航空与航天业发展、地震预报、江底资源的勘测与开发、灾情的监视与控制、环境的调研与治理、城市建设与改造、工矿企业建设、公路与铁路修建、各种水利工程和输电线路的兴建、农业规划和管理、森林资源的保护和利用、地下矿产资源的勘探和开采等等各项工作都离不开测量学的支持与应用。测绘科学在国防建设中也起着重要的作用，各项国防工程的建设、战略战役的部署、战斗行动的指挥部离不开地形图，而且对于现代化的武器装备，如远程导弹、空间武器及人造卫星和航天器的发射都需要精确的测量定位数据作为基础。

第二节 地球的形状、大小

人类为了适应、利用和改造环境，自古以来一直在研究地球的大小和形状。地球表面是极不规则的曲面，它上面有高山、平原、丘陵、湖泊、江河、海渊。有位于我国西藏高原上，海拔 8848.13m 的珠穆朗玛峰；有位于太平洋西部，海拔为 -11022m 的马里亚纳海沟，形状十分复杂。但是，这样的高低差距与地球平均半径 6371km 相比，只有 1/600，相比之下起伏是比较微小的，所以可以将

地球近似地看作球体。地球自然表面大部分是海洋,面积占地球表面的 71%,陆地只占 29%。因此,人们设想将静止的海水面向整个陆地延伸,用所形成的封闭曲面代替地球表面,这个曲面称为大地水准面。大地水准面所包含的形体,称为大地体,它代表了地球的自然形状和大小。

地球是太阳系中的一颗行星,它围绕着太阳旋转,又绕着自己的旋转轴自转。地球上的物体受到地球引力、地球自转离心力及太阳、月亮等星体的引力作用。这里主要考虑地心引力和离心力作用,这两个力的合力称为重力,如图 1-1。

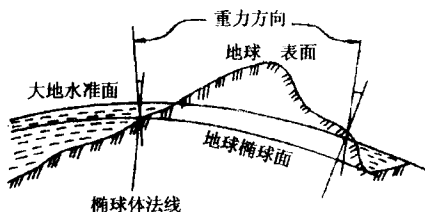


图 1-1 地球重力

重力的作用线称为铅垂线。铅垂线是测量外业工作的基准线,当水面处于静止状态时,其表面即静止的水面必然处处与铅垂线垂直,这就是我们所称的水准面。水准面是一个连续的曲面,因其高度不同而有无穷多个,水准面是重力等位面,水准面之间因重力不同,不会相交。其中与大地水准面重合的曲面即为大地水准面。在实际测量中,常以大地水准面作为测量的基准面。与水准面相切的平面称为水平面。

由于各个海域的平均海(水)面存在着差异(据研究在我国是南高北低,相差约 0.6m),因此,我国规定采用青岛验潮站 1956 年求得的黄海平均海(水)面作为我国大地水准面的基准。凡由该基准面起算的高程在工程测量和地形测量中均称为 1956 年黄海高程系统。位于青岛验潮站的中华人民共和国水准原点的高程为 72.289m。从 1988 年 1 月 1 日起,我国改用《1985 年国家高程基准》为高程起算统一基准,原点高程改为 72.260m,新旧系统高程相差 0.029m。

由于地球内部物质构造分布的不均匀,地球表面起伏不平,所以大地水准面各处重力线方向是不规则的。重力方向会指向高密度物体,离开低密度物体。地球重力场是不均匀的,所以大地水准面是一个起伏变化的不规则曲面。这样的曲面无法在其上面进行测量数据的处理,因此选择一个非常接近于大地水准面,并可用数学公式表示的几何形体用作表示地球的形状与大小是十分必要的。根据科学家与大地测量工作者的长期研究与实测,认为最合适的数学形体是旋

转椭球体。如图 1-2, 这个椭球体由椭圆 $NQSQ'$ 绕地球自转轴 (南、北极点连线) 旋转而成。这个旋转椭球体称为参考椭球体, 它是一个规则的曲面体。可以用数学公式表示为:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad (1-1)$$

式中, a 、 b 为参考椭球体几何参数。 a 为长半径, b 为短半径。参考椭球体扁率可根据下式求得:

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (1-2)$$

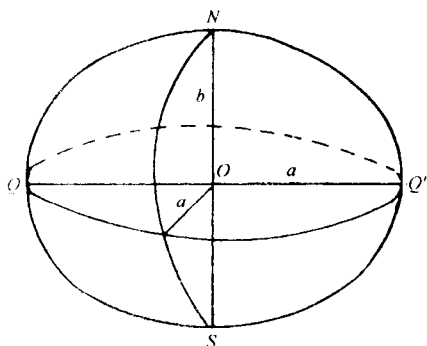


图 1-2 参考椭球体

在近一个世纪以来, 世界上先后算出了 30 多个椭球参数。我国在 1954 年起采用苏联克拉索夫斯基椭球参数, 即

$$a = 6378245\text{m} \quad b = 6356863\text{m}$$

$$f = 1 : 298.3$$

在克拉索夫斯基椭球参数的基础上建立起 1954 年北京坐标系, 几十年来一直是我国控制测量与地形测量的基准, 测制了全国 1:5 万和 1:10 万比例尺地形图的全部和大量的 1:1 万比例尺地形图, 克拉索夫斯基椭球参数的计算精度是有限的,

1954 年北京坐标系也存在着一一些问题, 参考椭球与我国大地水准面的拟合还不够好。经过我国大地测量工作者不懈地努力, 我国于 20 世纪 80 年代初建立了 1980 年国家大地坐标系, 这个坐标系的大地原点建在陕西省泾阳县永乐镇。在这个坐标系的建立中, 采用了 IUGG (国际大地测量学与地球物理学联合会) 1975 年推荐的椭球参数, 其数值为:

$$a = 6378140\text{m} \quad b = 6356755.3\text{m} \quad f = 1 : 298.257$$

由于参考椭球体扁率很小, 所以在测量精度要求不高的情况下, 可以近似地把地球当作圆球体, 其半径 R 采用地球半径平均值 6371km。

第三节 地面点位确定

测量工作的基本任务是确定地面点的位置。地面上任一点都是位于三维空间的点, 地面点的位置通常用坐标和高程表示: 坐标指该点在大地上水准面或参考椭球面上的位置或投影到水平面上的位置; 高程指该点到大地水准面的铅垂

距离。

一、地理坐标

在地理坐标系统中,一点的位置可以用经度 λ 和纬度 φ 表示。如图 1-3, N 为北极, S 为南极, P 为球面上一点;过 P 点的铅垂线 PO 与地轴 NS 所组成的平面称为该点的子午面,子午面与球面的交线称为子午线或经线。过 P 点的子午线与首子午线(通过英国格林尼治天文台的子午线)所夹的两面角称为经度 L_λ 。从首子午线往东计算称为东经,往西计算为西经(从 0° 到 180°)。过 P 点的法线 PO 与赤道平面的夹角 B_P 称为 P 点的纬度,纬度从赤道起,向北由 0° 到 90° ,称为北纬;向南从 0° 到 90° ,称为南纬。

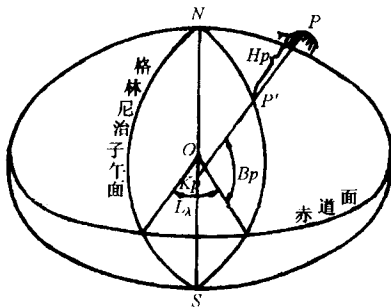


图 1-3 地球椭球

例如北京的地面坐标为东经 $116^\circ 24'$, 北纬 $39^\circ 54'$ 。

严格地说来,大地测量学还把地理坐标区别为天文地理坐标与大地地理坐标。点在大地水准面的位置可用天文经度 λ 与天文纬度 φ 表示。点在旋转椭球面上的位置则用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。只有在大地原点上,大地经纬度和天文经纬度才相一致。地面点位也可以用空间直角坐标 (x, y, z) 表示,它与地理坐标之间可用公式转换。

二、高斯-克吕格平面直角坐标系

地理坐标系是大地测量的基本坐标系。常用于大地问题的解算、研究地球形状和大小、编制地图、火箭和卫星发射及军事方面的定位及运算,若将其直接用于工程建设规划、设计、施工等很不方便。所以要将球面上的地理坐标按一定数学法则归算到平面上,即采用地图投影的理论绘制地形图,才能用于规划建设。

椭球体面是一个不可直接展开的曲面。故将椭球体面上的元素按一定条件投影到平面上,总会产生变形。测量上常以投影变形不影响工程要求为条件选择投影方法。地图投影有等角投影、等面积投影和任意投影三种。在测绘科学中采用的是高斯横圆柱投影法,其原理如图 1-4 所示,它是一种等角投影,它保证在椭球体面上的微分图形投影到平面后将保持相似。这是地形图的基本要求。

高斯是德国杰出的数学家、测量学家。他提出的横圆柱投影是一种正形投影。它是将一个横圆柱套在地球椭球体上,椭球体中心 O 在圆柱中心轴上,椭