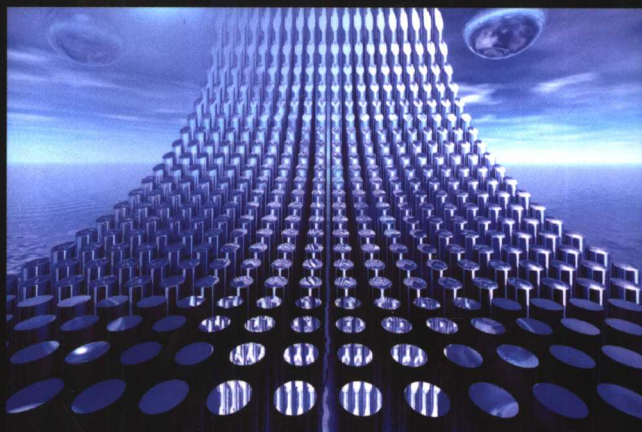


Practical Textbook of Surveying

Textbook Series of 21st Century

21 世纪高等学校规划教材

测量学实用教程



郭宗河 董宇阳 郑进凤 编 著
王 依 主 审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

测量学实用教程

郭宗河 董宇阳 郑进凤 编 著
王 依 主 审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是 21 世纪高等学校规划教材,是非测绘专业学习《测量学》的实用教材。全书共分三篇十九章。第一~六章为基础篇,主要介绍测量学的基础知识,各专业通用,包括角度测量、距离测量、高程测量、地形图的基础知识以及测设的基本工作;第七~十二章为提高篇,主要介绍测量学的一些新仪器、新技术以及地形图的测绘方法,包括全站仪、地面模拟测图和数字测图、“3S”技术等;第十三~十九章为应用篇,包括建筑工程测量、线路工程测量、水利水电与海洋工程测量、桥梁工程测量、隧道与地下工程测量、建筑物变形观测以及房地产测量。后两部分内容,可根据不同专业的特点和教学要求选用。

本书既可作为土木工程、给排水工程、建筑环境与设备工程、环境工程、建筑学、城市规划、交通工程、工程造价管理、房地产经营与管理、物业管理、土地管理以及农林、地矿、水利水电、港口与航道等专业的通用教材,也可作为有关工程技术人员必备参考工具。

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学实用教程/郭宗河,董宇阳,郑进凤编著. —北京:
中国电力出版社, 2006
21 世纪高等学校规划教材
ISBN 7 - 5083 - 4609 - 2

I. 测... II. ①郭... ②董... ③郑... III. 测量学
—高等学校—教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 089483 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)
北京同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

2006 年 9 月第一版 2006 年 9 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.75 印张 604 千字
印数 0001—3000 册 定价 36.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

首先,感谢您翻阅本书,同时,也恭喜您,因为您将看到的是一部通用、实用的《测量学》力著,是作者多年来从事测量学教学经验的总结和科研工作的结晶,是取百家之长精心编著而成。总的编著宗旨和目标是针对 21 世纪我国高等教育人才培养目标——基础扎实、知识面广、能力强、素质高的要求,在遵循先进性、科学性、系统性编写原则的基础上,突出基础性、通用性、实用性,采用“模块化”编写方式。第一部分为基础篇,介绍测量学的基础知识,各专业通用;第二部分为提高篇,介绍测量学的一些新仪器、新技术以及地形图的测绘方法等;第三部分为应用篇,介绍各专业测量知识。后两部分内容,可根据不同专业的特点和教学要求选用。在编写时力求做到“将新、旧内容真正有机地结合和融合”,并成为当代学习“测量学”的精品教材和实用参考工具。本书的突出特点,可概括为以下三点:

(1) 对传统的经典的基础内容进行了精选,并重新进行了优化整合,从而使其体系更加合理完善。

譬如,将现有教材中放到三项基本测量工作之后单列一章的测量误差,提到了第一章绪论中并进行了适当压缩。因为在日常生活和工作中,大家对误差的概念已有了一定的认识和了解,同时也为后续测量知识的介绍打下基础,更便于对具体测量误差的分析和注意事项的理解。另外,测量主管部门为了使测量成果达到一定的精度要求,并使各测量单位有统一的作业标准,已对各项测量工作制定了一系列详细的操作规定和限差要求,因此对一般的测量工作而言,只要按照规范进行作业,测量成果就能够满足要求。所以,在目前“测量学”课时不断压缩的情况下,没有必要再去花时间和精力讲授和学习太多有关测量误差理论的知识,只需在绪论中简单地介绍一些基本的概念,让学生了解什么是测量误差及其存在的必然性,让学生明白之所以要严格按照规范进行作业就是为了减少测量误差,提高测量成果的精度即可。

又如,将光学水准仪和经纬仪的检验和校正从现有教材的相应章节中摘除,列入附录,并加入了一些有关电子仪器检校项目的介绍。这是因为在《中华人民共和国测绘法》中已明确规定了承担测绘任务的单位必须经过测绘资格审查。其中包括从事测绘工作的人员进行测绘活动时,应当持有测绘许可证;测绘仪器的检校工作,也必须由测绘部门持有检校许可证的专业技术人员进行。因此,在极其有限的教学时间里,就没有必要再去花时间和精力讲授和学习这部分内容,只需在介绍测量仪器结构的同时,讲清仪器的主要轴线及其相互应满足的关系,告诉大家为了取得合格的测量成果,应定期地到有关部门对测量仪器进行检校即可。

(2) 为了实现 21 世纪高等教育的培养目标,对现有教材未介绍或介绍不够而又十分必要的知识进行了扩充。

譬如,在现有的《测量学》教材和教学中,普遍只介绍 1:500、1:1000 和 1:2000 三种大比例尺地形图的基本知识,这显然不能适应教学改革和社会发展的要求。因为在道路工

程、交通工程、环境工程、城市规划等专业中,不仅要用到 1:500、1:1000 和 1:2000 三种大比例尺地形图,还会经常用到 1:5000、1:1 万、1:5 万、1:10 万甚至更小比例尺的地形图。此外,还应增加数字地图、电子地图的介绍,因为在各个规划设计部门目前已普遍采用数字地图、电子地图。为此,本书都适时地进行了介绍。

再如,在现有的《测量学》教材和教学中,都普遍提到了全站仪,但一般仅仅介绍了其基本的测量功能,主要用于自动测角、测距、测定点的三维坐标和进行地面数字化测图。这显然限制了全站仪先进功能的充分发挥,因为目前的全站仪已发展为智能化、电脑型的全站仪,除具备上述的基本功能和应用外,还具有“对边测量”、“悬高测量”、“面积测量”、“竖直面测量”等众多的特殊测量功能,而且利用这些特殊测量功能可以方便、快捷地完成一些过去用常规仪器和方法很难完成或根本无法完成的测量任务。对此,本书都予以详细的介绍,并阐述了其测量原理,还给出了具体的计算公式。这样,一方面可加深理解,另一方面可以从中学学习灵活应用的方法,同时还可以避免误用。因为全站仪提供的上述特殊功能,多是半个测回的结果,所以当精度要求较高时,应先按要求进行角度和距离的观测,然后将其平均值代入相应公式进行计算。

(3) 为了教学的需要和进一步扩大学生的知识面,在本书正文后面增加了五个附录和寄语。

众所周知,测量学是一门实验性很强的技术基础课,测量实验是测量学教学中不可缺少的重要环节。只有通过实验和对测量仪器的亲自操作,进行安置、观测、记录、计算、写实验报告等,才能真正掌握测量的基本方法和基本技能。因此,为了保证测量实验的顺利进行,在附录 B《测量实验须知》中,对“测量实验的一般规定”、“测量仪器的使用与保存”等有关事项皆做了较详细的介绍。同时,为了加强大家的法律意识,在附录 A 中编入了修订后的《中华人民共和国测绘法》全文。另外,为了进一步扩大学生的知识面,在附录中还对“定线与拨地测量”、“建设监理与测量监理”做了概述,并添加了“测量学部分专业名词英汉对照表”。最后,对学生今后的继续学习和工作提出了殷切希望。

本书由青岛理工大学郭宗河教授等编著而成,具体分工如下:第十八章及附录 A、B,由青岛理工大学郑进风编写;第十三章,由太原理工大学董宇阳编写;附录 G,由青岛理工大学王国艳编写;其余各章节及附录 C、D、E、F,皆由青岛理工大学郭宗河编写,并负责该书的策划、立项、起草编写大纲和最后的统稿、定稿和校稿等工作。

在本书的编写过程中,参阅了大量的资料,并得到了中国测绘学会教育委员会副主任委员、资深测量学教育专家、合肥工业大学王依教授的大力支持,在此特向有关作者和王依教授深表谢意。同时,也再次感谢您对本书的阅读,并希望您就本书的有关问题及时与我们联系。

联系地址:青岛市抚顺路 11 号 青岛理工大学 土木学院

邮政编码:266033

办公电话:0532-85071221

E-mail: guo_zonghe@qtech.edu.cn

编著者

2006 年夏于青岛

目 录

前言

第一部分 基础篇

第一章 绪 论	1
第一节 测量学的定义及其形成与发展	1
第二节 测量学的根本任务	3
第三节 测量学的基本工作	12
第四节 学习和从事测量工作应注意的事项	14
思考题与习题	18
第二章 角度测量	19
第一节 角度测量原理	19
第二节 光学经纬仪的构造与使用	20
第三节 水平角观测	28
第四节 竖直角观测	32
第五节 激光经纬仪与电子经纬仪	35
思考题与习题	36
第三章 高程测量	37
第一节 水准测量原理	37
第二节 S_3 级微倾式水准仪的构造与使用	38
第三节 普通水准测量	41
第四节 其他类型水准仪简介	49
第五节 三角高程测量	51
思考题与习题	53
第四章 距离测量	55
第一节 卷尺丈量	55
第二节 视距测量	58
第三节 电磁波测距	60
思考题与习题	65
第五章 地形图的基本知识	66
第一节 概 述	66
第二节 地形图的比例尺	67
第三节 地形图的分幅编号与图廓注记	69
第四节 地物符号	73
第五节 地貌符号	76
第六节 地形图的图面精度与比例尺的选用	80

第七节 地形图的识读与应用	81
第八节 数字地图与电子地图及其应用	88
思考题与习题	92
第六章 测设的基本工作	94
第一节 水平距离的测设	94
第二节 水平角的测设	95
第三节 点平面位置的测设	96
第四节 高程的测设	98
第五节 坡度线的测设	99
思考题与习题	100

第二部分 提高篇

第七章 全站型电子速测仪	101
第一节 概 述	101
第二节 全站仪的基本操作与使用	102
第三节 点平面位置的高精度快速放样	107
思考题与习题	109
第八章 卫星定位测量	110
第一节 概 述	110
第二节 GPS 的组成	113
第三节 GPS 定位的方法和原理	118
第四节 GPS 在测绘领域中的应用	123
思考题与习题	128
第九章 地面模拟法测图	130
第一节 控制测量	130
第二节 碎部测量	143
第三节 地形图的绘制	147
第四节 地形图测绘的内容与取舍	150
思考题与习题	153
第十章 地面数字化测图	154
第一节 概 述	154
第二节 野外数据采集	157
第三节 机助制图基本原理	160
第四节 成果输出	165
思考题与习题	167
第十一章 摄影测量与遥感	168
第一节 概 述	168
第二节 航空摄影测量的基础知识	172
第三节 遥感的基本原理与应用	182
思考题与习题	189

第十二章 地理信息系统	190
第一节 概 述	190
第二节 GIS的数据采集	194
第三节 GIS的空间查询与分析	198
第四节 GIS的开发应用	202
思考题与习题	205

第三部分 应用篇

第十三章 建筑工程测量	206
第一节 概 述	206
第二节 建筑施工控制测量	207
第三节 一般民用建筑施工测量	210
第四节 高层建筑施工测量	215
第五节 工业建筑施工测量	218
第六节 建筑竣工总平面图编绘	224
思考题与习题	226
第十四章 线路工程测量	227
第一节 概 述	227
第二节 坐标换带与距离改化	231
第三节 线路中线测量	234
第四节 线路纵横断面测量	243
第五节 线路施工测量	248
第六节 线路竣工测量	254
思考题与习题	255
第十五章 水利水电与海洋工程测量	257
第一节 概 述	257
第二节 规划设计阶段的测量工作	257
第三节 水利水电工程施工测量	264
第四节 海洋工程施工测量	269
思考题与习题	276
第十六章 桥梁工程测量	277
第一节 概 述	277
第二节 桥梁施工控制测量	278
第三节 桥梁施工细部测量	280
第四节 立交环圈匝道的测设	286
第五节 桥梁竣工测量	289
思考题与习题	290
第十七章 隧道与地下工程测量	291
第一节 概 述	291
第二节 地上、地下控制测量	291

第三节 地上、地下联系测量	295
第四节 隧道与地下工程施工测量	300
第五节 隧道与地下工程竣工测量	304
思考题与习题	307
第十八章 工程建筑物变形观测	308
第一节 概 述	308
第二节 沉降观测	311
第三节 水平位移观测	314
第四节 建筑物的倾斜观测	315
第五节 裂缝观测	317
思考题与习题	318
第十九章 房地产测量	319
第一节 概 述	319
第二节 房地产调查	322
第三节 房地产图及其测绘	335
第四节 界址点测量与面积测算	346
第五节 房地产测量成果资料的管理	350
思考题与习题	352
附录 A 中华人民共和国测绘法	354
附录 B 测量实验须知	361
附录 C 测量仪器的检验与校正	365
附录 D 定线与拨地测量	372
附录 E 建设监理与测量监理	375
附录 F 地质勘察测量	377
附录 G 测量学部分专业名词英汉对照表	379
寄语——关于进一步学习的建议	383
主要参考文献	384

第一部分 基础篇

第一章 绪 论

第一节 测量学的定义及其形成与发展

测量学是一门非常古老的学科。早在几千年前,中国、埃及等世界文明古国的人民,就把测量技术应用于土地划分、河道整治及地域图测绘等。后来,随着科学技术的发展和社会的进步,逐步形成了一门完整而独立的学科——测量学,在我国又称之为“测绘学”。作为时代的结晶,测绘科学与技术人们在认识自然、改造自然与发展生产力的过程中发挥了十分重要的作用。

测量学又是一门与时俱进、蓬勃发展的学科。它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,激光用于指向与测距,计算机用于测量数据处理、分析、管理与地图制图,卫星用于GPS导航定位,……,所有这些空间技术、计算机技术、自动化技术、光电技术等把测绘技术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技术的重要学科,成为空间数据(地理信息)获取、地球科学和各类工程建设所不可缺少的科学与技术。

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,为我国社会主义现代化建设作出了多方面的贡献。例如:在国民经济和社会发展规划中,测绘信息是最重要的基础信息之一,各种规划和房地产管理,首先要有地形图和房地产图;在各项工农业基本建设中,从勘测设计阶段到施工、竣工阶段,都需要进行大量的测绘工作;在国防建设中,军事测量和军用地图是现代化大规模诸兵种协同作战不可缺少的重要保障;至于远程导弹、空间武器、人造卫星或航天器的发射,要保证它们精确入轨,随时校正轨道和命中目标,除了应测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料;在科学实验方面,诸如空间科学技术的研究,地壳形变、地震预报以及地极周期性运动的研究等,都要应用测绘资料;即使在国家的各级管理工作以及人们日常生活中,测量和地图资料也是不可缺少的重要工具。可见,测量学的应用范围十分广泛,几乎遍布于各行各业。

测量学还是一门内容体系比较庞大的学科。按其研究对象和应用范围的不同,可分为普通测量、大地测量、摄影测量与遥感、工程测量、地图制图与地理信息系统、海洋测量等分支学科。

1. 普通测量学

普通测量学是研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科,是测量学的基础部分。研究时,可以不顾及地球曲率的影响,将该小区域的投影球面直接当作平面看待。其主要研究内容包括图根控制网的建立和大比例尺地形图、房地产图的测绘等。具体工作有:角度测量、高程测量、距离测量、测量数据的处理和绘图等。

2. 大地测量学

大地测量学是以地球表面上一个较大的区域、甚至整个地球为研究对象,研究在广大地区建立国家大地控制网,测定地球的形状、大小和研究重力场的理论、技术和方法的学科。

大地测量学又分为几何大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学(空间大地测量学)。几何大地测量学是研究以一个与地球外形最为接近的几何体(旋转椭球)代表地球形状,用天文方法测定该椭球的形状与大小的学科。物理大地测量学是研究利用物理方法测定地球形状及其外部重力场的学科。卫星大地测量学是利用人造地球卫星进行地面点定位及测定地球形状、大小和地球重力场的学科。现代大地测量学是综合利用几何、物理、卫星大地测量学的理论和方法,解决大地测量学中各种问题的学科。

3. 摄影测量学与遥感

摄影测量学与遥感是研究利用摄影和遥感的手段,获得被测物体的信息,进行分析、处理,以确定其形状、大小和空间位置,并判定其属性的学科。

因获得像片方法的不同,摄影测量学又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学、航天摄影测量学和水下摄影测量学等。

4. 工程测量学

工程测量学研究工程建设在勘测、规划、设计、施工和运营管理各个阶段所进行的各种测量工作的理论、技术和方法的学科。其主要内容包括工程控制网的建立、施工放样(测设)及变形监测等。

由于建设工程的不同,工程测量学又分为土木工程测量学、水利水电工程测量学、道路工程测量学、铁路工程测量学,以及海洋工程测量学等。

由于工程精度要求的不同,工程测量学又分为(普通)工程测量学、精密工程测量学和特种精密工程测量学。

5. 地图制图学与地理信息系统

地图制图学是利用测量所得的资料,研究如何投影编绘和印制各种地图的学科。随着计算机等技术的发展,传统的人工制图已逐步被机助制图所取代,并向地理信息系统方向发展。

地理信息系统(Geographic Information Systems, 简称为GIS)是指“在计算机软硬件支持下,对地理空间数据进行采集、存储、管理、处理、分析、建模、显示、输出,以提供对资源、环境及各种区域性研究、规划、管理及决策所需信息的人机系统。”它不仅对地理空间数据具有良好的组织管理能力,更重要的是可以通过地理空间分析产生常规方法难以得到的分析决策信息,并可在系统的支持下进行空间过程演化的模拟和预测。GIS为我们提供了一个认识、理解地理空间的全新方式和分析、处理海量地理空间数据的通用技术和手段。

6. 海洋测量学

海洋测量学是研究海洋测量与海图编制的理论、技术和方法的学科。由于海洋测量的环境与陆地测量差异很大,因此在理论研究、技术手段、数据处理与应用等方面具有鲜明的特色,逐步形成了特有的学科体系,包括海洋大地测量、海底地形测量、海道测量、海洋工程测量、海洋专题测量、海洋遥感测量和海图制图等。

综上所述,要用简短的语言给测量学一个现代的、完整的诠释是较困难的。下面,引用

两个比较权威的说法。在 GB/T14911—1994《测绘基本术语》中，测量学的定义为：“测绘学是研究地理信息的获取、处理、描述和应用的学科。其内容包括：研究测定、描述地球的形状、大小、重力场，地表形态以及它们的各种变化，确定自然和人造物体、人工设施的空间位置及属性，制成各种地图和建立有关信息系统。”在 2002 年 8 月 29 日第九届全国人民代表大会常务委员会第二十九次会议通过修订的《中华人民共和国测绘法》第二条中指出：“本法所称测绘，是指对自然地理要素或者地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等进行测定、采集、表述以及对获取的数据、信息、成果进行处理和提供的活动”。

本书作为非测绘专业的实用测量学教程，将主要介绍普通测量学和部分工程测量学的内容。具体的可概括为测定和测设两个方面：①测定是指使用测量仪器和工具，对地面上已有的自然地理要素（例如水系、地貌、植被等）和社会经济要素（例如人工建筑物、构筑物、行政区划及交通线路等）进行测量，得到一系列测量数据或绘制成图，供国民经济建设、国防建设、科学研究以及人们的日常生活使用；②测设则是指把图纸上规划设计好的建筑物或构筑物的位置、形状、大小等在地面上标定出来，作为施工的依据，故又称为施工放样，它是工程设计与工程施工之间的桥梁。通过本课程的学习，要求达到：掌握测量学的一些基本概念、基本知识、基本理论和基本技能；能正确使用常用的测量仪器和工具进行简单的测量工作，并对先进技术和方法有一定的了解；熟悉地形图的基本知识，了解地形图测绘的基本过程；在工程设计和施工中，具有正确应用有关测量资料 and 进行一般工程施工测量的能力，最终达到灵活运用所学的测量知识为其专业工作服务之目的。

第二节 测量学的根本任务

由上一节测量学的概念，我们已经了解到：现代测绘学已发展成为一门内容体系比较庞大的学科，其研究对象和应用范围都十分广泛。但不管如何发展，测量学要研究的主要问题之一和最根本的任务是不变的，那就是如何确定地面点的空间位置，而点位是相对的。因此，为了确定地面点的空间位置，首先需要有一个与它相对照的基准，建立特定的坐标系，然后再确定地面点的空间位置。下面，就这些问题分别予以介绍。

一、测量的基准

测量的基准，主要包括基准线和基准面两个方面。测量工作主要是在地球表面上进行的，而地表任何一点都会受到重力的作用。因此，测量上把重力方向线作为测量的基准线，并称之为铅垂线。测量的基准面，根据研究对象和范围的不同，可选用水准面、水平面、大地水准面和参考椭球体面等。地面上自由静止的水面，测量上称之为水准面。它是一个曲面。与水准面相切的平面，称为水平面。水准面的特点是面上任何一点的铅垂线都垂直于该面，而且是一个重力等位面。水准面因其高度不同而有无数个，其中与平均海水面重合并

向大陆、岛屿延伸而形成的封闭曲面称为大地水准面（图 1-1）。显然，大地水准面也具有水准面的特性，即大地水准面上任何一点的铅垂线都垂直于该面。

由于地球表面大部分（约占 71%）被海洋所覆盖，而地面的高低起伏与地球半径相比

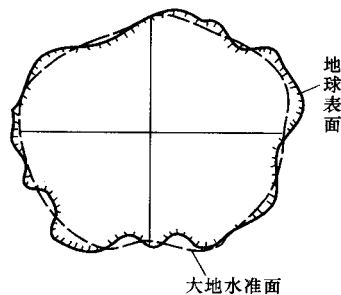


图 1-1 大地水准面与地球自然表面关系示意图

又是很微小的。所以，人们通常把大地水准面所包围的形体（测量上称为大地体）当作地球的形体。在大地测量中，所要研究的地球形状就是指大地水准面的形状。

用大地体表示地球的形体是恰当的，但由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线方向产生不规则的变化，致使大地水准面成为一个不规则的复杂曲面（图 1-2），在这样的曲面上无法进行计算工作。为此人们进一步设想，用一个与大地水准面非常接近、并可用数学公式表示的规则曲面——地球椭球体面（图 1-3）作为测量计算工作的基准面。地球椭球体面所包围的形体，称为地球椭球。

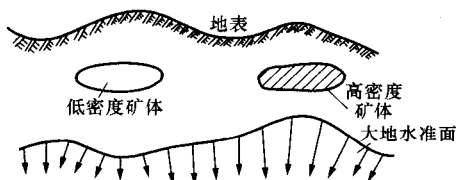


图 1-2 大地水准面的起伏示意图

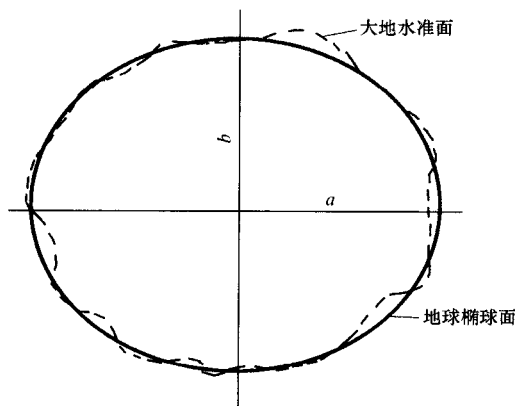


图 1-3 大地水准面和地球椭球面关系示意图

地球椭球是由一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体，故地球椭球又称旋转椭球（图 1-4），其形状和大小由长半轴 a 和短半轴 b 所决定。在大地测量中，所测定的地球大小就是指地球椭球的大小。

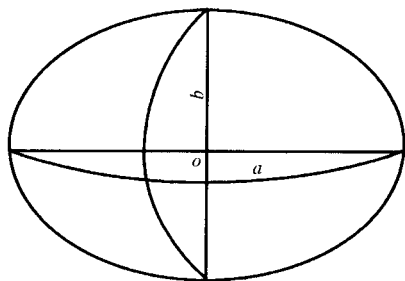


图 1-4 地球椭球形成示意图

我国在解放前曾采用美国 1909 年推算的海福特椭球，其长半轴和短半轴分别为 6378388m 和 6356912m；解放后一段时间则采用前苏联 1940 年推算的克拉索夫斯基椭球，其长半轴和短半轴分别为 6378245m 和 6356863m；20 世纪 80 年代，我国开始采用国际大地测量与地球物理联合会 1975 年推算的“IAG-75”国际椭球，其长半轴和短半轴分别为 6378140m 和 6356755m，并选择陕西泾阳县永乐镇某点为大地原点（大地测量的

起算点），进行了局部定位（确定地球椭球与大地体之间的相互关系并固定下来，其基本原则是地球椭球体面与大地水准面在大地原点处重合，其余各点处两面间距——大地水准面差距的平方和为最小）。局部定位后的地球椭球称为参考椭球。我国现在使用的“1980 年国家大地坐标系”就是由此建立起来的。

由于地球的扁率很小（长半轴与短半轴之差不到 22km），因此在一般的测量工作中，可近似地把大地体和地球椭球当作圆球体，其半径为 6371km。

二、地面点位的表示方法

地面上的点位是空间点位，因此地面一点在空间的位置需要三个量来确定。在地面测量工作中，这三个量通常用该点的高程和坐标来表示。高程（一维）用来表示地面点到基准面

的距离, 确定地面点的高低; 坐标 (二维) 用来表示地面点在基准面上投影点的位置, 确定地面点的平面位置。

(一) 地面点的高程

由于测量基准面选取和应用场合的不同, 高程一般又分为绝对高程和相对高程。但在未特别指明的情况下, 所讲的高程皆指绝对高程。

地面点到大地水准面的铅垂距离, 称为该点的绝对高程, 亦称海拔, 通常用 H 加点名作下标表示。如图 1-5 所示, 地面点 A 、 B 的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。当地面点高出大地水准面时, 其高程规定为正值; 当地面点低于大地水准面时, 其高程规定为负值; 而大地水准面上的各点, 其高程则恒为零。

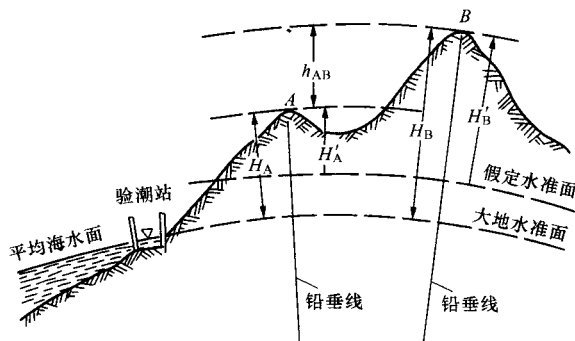


图 1-5 高程与高差示意图

由于海水受潮汐、风浪等的影响, 其表面是一个动态的曲面, 它的高低时刻在变化, 而且不同地区平均海水面的高低又不一致。为此我国在青岛大港设立了验潮站, 长期观测和记录黄海海水面的高低变化, 取其平均值作为我国大地水准面的位置 (称为似大地水准面, 地面点到似大地水准面的距离称为该点的正常高。可见, 在我国境内各点的高低可通过其正常高唯一地确定, 因此正常高属于绝对高程), 并在青岛观象山上建立了水准原点 (高程测量的起算点)。

目前, 我国的大地水准面就是根据青岛验潮站 1953 年至 1977 年间的观测资料计算出的黄海平均海面确定的, 称为“1985 国家高程基准”, 水准原点的高程为 72.260m, 全国各地的高程都是以它为基础进行测算的。但 1987 年以前使用的是 1956 年高程基准, 水准原点的高程为 72.289m, 因此在利用旧的高程测量成果时要注意高程基准的统一和换算。

当个别地区引用绝对高程有困难时, 可采用假定高程系统, 即采用任意假定的水准面为高程起算的基准面。地面点到任一假定水准面的铅垂距离, 称为该点的假定高程, 亦称为相对高程, 通常用 H' 加点名作下标表示。如图 1-5 中的 H'_A 、 H'_B 分别为地面点 A 、 B 的相对高程。同时, 由图 1-5 可知, 不同高程系统之间只需加减一个常数即可进行换算。例如, A 点的相对高程加上假定水准面的高程即为 A 点的绝对高程。

当要比较地面两点之间的高低时, 常用高差来表示。高差, 即地面两点间的高程之差, 一般用 h 加两点点名作下标表示。如图 1-5 所示, A 、 B 两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-1)$$

当 h_{AB} 为正值时, 说明 B 点高于 A 点; 当 h_{AB} 为负值时, 说明 B 点低于 A 点。

值得注意的是, 高差具有方向性。即 B 、 A 两点的高差为

$$h_{BA} = H_A - H_B = H'_A - H'_B \quad (1-2)$$

可见, 由 A 点到 B 点的高差和由 B 点到 A 点的高差绝对值相等, 符号却相反, 即

$$h_{AB} = -h_{BA} \quad (1-3)$$

(二) 地面点的坐标

由于测量基准选取和应用场合的不同, 地面点的坐标有地理坐标、独立平面直角坐标、

高斯平面直角坐标之分。

1. 地理坐标

用经纬度表示地面点在基准面上投影点位置的坐标,称为地理坐标,它是一种球面坐标。因采用的基准面和基准线及测量计算坐标的方法不同而又分为天文地理坐标和大地地理坐标。

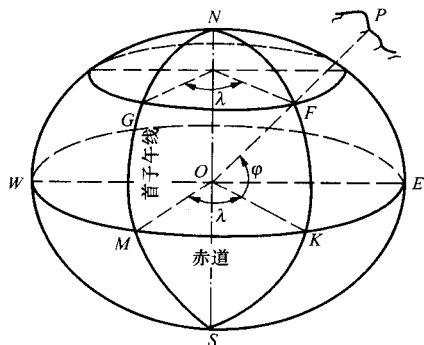


图 1-6 天文坐标示意图

(1) 天文地理坐标。天文地理坐标,简称天文坐标,常用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示地面点在大地水准面上铅垂投影点的位置,其基准为铅垂线和大地水准面。如图 1-6 所示, F 为地面任一点 P 在大地水准面上的铅垂投影点,即过 P 点的铅垂线与大地水准面的交点。过 F 点和地球南北极 N 、 S (N 表示北极, S 表示南极,南北两极的连线 NS 称为地轴) 的平面,称为该点的天文子午面。过英国格林尼治天文台 G 点的天文子午面,称为首天文子午面。天文子午面与大地水准面的交线,称为天文子午线或称天文经线。 F 点的天文经度 λ 就是过 F 点的天文子午面与首天文子午面所夹的二面角,用 λ 表示。规定首天文子午线的天文经度为 0° ,自首天文子午线向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经;向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。垂直于地轴的平面与大地水准面的交线称为天文纬线。垂直于地轴并通过地心的平面称为赤道面,赤道面与大地水准面的交线称为赤道。 F 点的天文纬度就是过 F 点的铅垂线与赤道面的夹角,用 φ 表示。规定赤道的天文纬度为 0° ,从赤道向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称北纬,向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。

由上面的定义可知,同一铅垂线的各点将具有相同的天文坐标,其空间位置则要通过高程的不同来区别。

(2) 大地地理坐标。大地地理坐标,简称大地坐标,常用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在参考椭球面上投影点的位置。大地坐标的定义与天文坐标的定义类似,但其基准为参考椭球面和法线。即地面上任意点 P 的大地经度 L 是过该点的大地子午面与首大地子午面所夹的二面角; P 点的大地纬度 B 是过该点的法线(与参考椭球面相垂直的线)与赤道面的夹角。

天文坐标通过天文测量的方法测定,而大地坐标则是根据大地原点(其大地坐标与天文坐标一致)的大地坐标和大地测量所得数据推算出来的。

各点的天文坐标和大地坐标略有差异,但在精度要求不高的情况下,其差异可忽略不计。

2. 独立平面直角坐标

地理坐标为球面坐标,计算复杂,对一般的测量工作而言使用起来极不方便,而且其精度一般不能满足工程测量的要求(例如在赤道上, $1''$ 的经度差或纬度差,对应的地面距离约为 30m)。因此,测量上的计算和绘图,要求最好在平面上进行。但不论是大地水准面还是参考椭球面都是一个不能简单地展成平面的球面,因此要把球面上的内容展绘到平面上(此项工作,称为地图投影)必然会产生(角度、距离等)变形。

(1) 角度变形。由球面三角学可知,同一个空间多边形投影在球面上球面角的内角和,要比投影在水平面上水平角的内角和大一个球面角超 ϵ ,对地球而言其值可按式计算

$$\epsilon = \frac{A}{R^2} \times 206265'' \quad (1-4)$$

式中 A ——多边形的面积;

R ——地球半径, 一般取 6371km。

当 A 分别取 10km^2 、 100km^2 、 200km^2 , 由上式可算得 ϵ 的相应值为 $0.05''$ 、 $0.51''$ 、 $1.02''$ 。

(2) 距离变形。如图 1-7 所示, A' 、 B' 为地面上两点, 它们在大地水准面的铅垂投影点分别为 A 、 B , 用过 A 点的切平面代替大地水准面后, 地面点 A' 、 B' 在水平面上的投影点分别为 A 、 C 。设 A' 、 B' 点在大地水准面上的距离即弧长为 S (对应的圆心角为 θ), 在水平面上的距离即水平距离为 D , 则两者之差即距离变形值 ΔD 为

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

式中 R ——地球半径, 一般取 6371km。

由于地面两点的距离相对于地球半径而言一般较小, 故 θ 也很小。因此有

$$\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$$

取其前两项, 代入式 (1-5) 则得

$$\Delta D = \frac{1}{3}\theta^3 R$$

因为 $\theta = D/R$, 所以有

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-6)$$

当 D 分别取 10km 、 20km 时, 由上式可算得 ΔD 的相应值为 0.8cm 、 6.6cm 。

由此可见, 把球面上的内容展绘到平面上, 其变形的大小与测区 (测量的区域) 范围的大小有关; 当测区范围较小时, 投影变形也较小。因此, 对一般的测量工作而言, 在半径小于 10km 的圆面积内, 可把该地区的球面当作平面看待, 可以不顾及地球曲率对角度和距离的影响。此时, 将该测区内的地面点沿铅垂线直接投影在水平面上, 并在该水平面上建立直角坐标系, 即可用平面直角坐标 (x, y) 来表示地面点的平面位置, 如图 1-8 和图 1-9 所示。

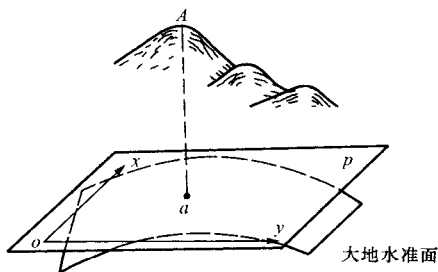


图 1-8 用测区中心点的水平面代替曲面示意图

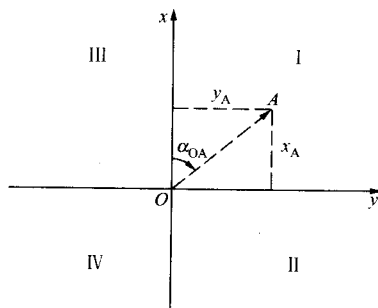


图 1-9 测量平面直角坐标系示意图

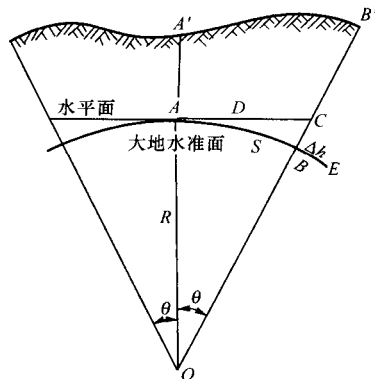


图 1-7 平面代替球面对距离影响示意图

测量上规定了以南北方向为纵轴, 并记为 x 轴, 向北为正, 向南为负; 以东西方向为横轴, 并记为 y 轴, 向东为正, 向西为负; 象限从 x 轴正方向 (坐标北) 起按顺时针方向进行编号; 原点 O 一般选在测区的西南角, 以便使整个测区内各点的坐标均为正值 (如图 1-8); 直线的方向, 用坐标方位角 (从坐标北起顺时针量至某一直线的水平夹角) 表示, 如图 1-9 所示, 直线 OA 的坐标方位角为 α_{OA} 。显然, 这些规定与数学上是不同的, 要注意区分。但数学中的公式可直接应用到测量计算中, 不需作任何变更。例如, 在图 1-9 中 A 的坐标 (x_A, y_A) 可按式计算

$$\left. \begin{aligned} x_A &= D_{OA} \cos \alpha_{OA} \\ y_A &= D_{OA} \sin \alpha_{OA} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

式中 D_{OA} —— O 、 A 两点间的平距。

另外, 由上面的定义可知, 同一铅垂线的各点将具有相同的平面直角坐标 (x, y) , 其空间位置则要通过高程的不同来区别。

3. 高斯平面直角坐标

由前面的介绍可知, 不论是大地水准面还是参考椭球面都是一个不可展的球面, 要把球面上的内容展绘到平面上必然会产生变形; 当测区范围较大时, 投影变形也较大。因此, 上述的独立平面直角坐标系, 只适应于确定局部区域地面点的平面位置, 而不能用于大范围地面点位的确定。为此, 必须采用适当的投影方法来解决大范围地面点位的确定问题。

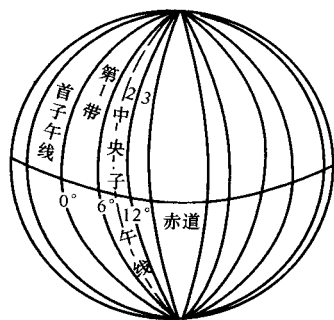


图 1-10 高斯投影分带示意图

目前, 地图投影的方法有多种, 我国通常采用高斯投影。由此建立起的平面直角坐标系, 称为高斯平面直角坐标系。

为了将投影变形控制在允许的范围内, 高斯投影采用分带投影的方法, 即先按一定的经度差将地球划分成若干带, 然后再将每带投影到平面上。如图 1-10 所示, 投影带从首子午线起, 每隔经差 6° 划一带 (称为六度带), 自西向东将整个地球划分成经差相等的 60 个带。带号从首子午线开始编, 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。在东半球, 任一六度带中央子午线的经度 L_0 与投影带号 N 的关系为

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-8)$$

例如, 北京某点的经度为东经 $116^\circ 20'$, 则其所在高斯投影 6° 带的带号 N 及该带中央子午线的经度 L_0 分别为

$$N = \text{INT}(116^\circ 20' / 6^\circ) + 1 = 20$$

$$\text{东经 } L_0 = 6^\circ \times 20 - 3^\circ = 117^\circ$$

如图 1-11 (a) 所示, 高斯投影是设想用一个平面卷成一个空心椭圆柱, 把它横着套在地球椭球外面, 使椭圆柱的中心轴线位于赤道面内并通过球心, 使地球椭球上某六度带的中央子午线与椭圆柱面相切; 在椭球面上的图形与椭圆柱面上的图形保持等角的条件下, 将整个六度带投影到椭圆柱面上 (等角投影或正形投影); 然后将椭圆柱沿着通过南北极的母线切开并展成平面, 便得到六度带在平面上的影像 [图 1-11 (b)]。中央子午线经投影展开后是一条直线, 以此直线作为纵轴, 记作 x 轴; 赤道是一条与中央子午线垂直的直线, 将它作为横轴, 记为 y 轴; 两直线的交点作为原点 O , 则组成高斯平面直角坐标系 [图