

测绘行业职业技能培训教材

测量基础

国家测绘局人事司 编
国家测绘局职业技能鉴定指导中心



哈尔滨地图出版社

15167

测绘行业职业技能培训教材

测 量 基 础

CELIANG JICHU

国家测绘局人事司 编
国家测绘局职业技能鉴定指导中心



哈尔滨建筑工程学院图书馆
(地址: 哈尔滨市南岗区学府街150号 邮编: 150080)

280 mm × 130 mm 1/16 印张: 13.2 字数: 418千字
2001年6月第1版 2001年6月第1次印刷
定价: 33.00元

哈尔滨地图出版社
· 哈尔滨 ·



图书在版编目(CIP)数据

测量基础/国家测绘局人事司,国家测绘局职业技能
鉴定指导中心编. —哈尔滨:哈尔滨地图出版社,
2001.6

ISBN 7-80529-419-4

I. 测… II. ①国… ②国… III. 测量学—职业教
育:技术教育—教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 036579 号

哈尔滨地图出版社出版、发行

(地址:哈尔滨市南岗区测绘路2号 邮政编码:150086)

郑州测绘学校印刷厂印刷

开本:880 mm×1 230 mm 1/16 印张:13.5 字数:418 千字

2001年6月第1版 2001年6月第1次印刷

印数:1~3 000册 定价:32.00元

编写说明

为了配合测绘职工培训和测绘行业特有工种职业技能鉴定工作,依据《中华人民共和国职业技能鉴定规范》,我们组织编写了这套测绘行业职业技能培训教材。本套教材可供测绘生产单位作为职工培训或各地测绘行业职业技能鉴定站作为鉴定考核培训的基本教材,亦可供有关院校师生及其他测绘技术人员参考。

全套教材包括《测量基础》、《大地测量》、《航空摄影测量》、《工程测量》、《地籍测绘》、《地图制图》等6册,各册与《中华人民共和国职业分类大典》中测绘类工种分类相对应。其中《测量基础》包含了各工种所需的公共知识,同时可满足地形测量工种培训的需要。其他各册分别对应相应的工种,可与《测量基础》配套使用。

随着以“3S”为代表的新技术的发展,光电测距仪、全站仪、电子平板、GPS等电子仪器及内外业一体化数字测图技术已普遍应用于测量外业;数字摄影测量、RS技术、计算机制图、GIS技术等测绘内业的应用更加普遍。测绘的一些理论、方法和作业手段发生了一定变化,有些传统的作业方法已基本被淘汰。因此在教材内容处理上,对虽然列入鉴定规范但实际上已经被新技术取代或已基本不再采用的作业方法不作详细介绍,这些内容一般也不再作为今后的考核内容。对一些尚未列入鉴定规范的新技术,做了简单的介绍,供培训时参考。

本套教材由具有丰富教学与实践经验的老师、专家执笔和审稿。教材的突出特点是说理浅显、通俗易懂,淡化学科概念和系统理论,注重职业技能的培养。为满足职工培训和鉴定考核的需要,每本教材均按知识结构分章节,每章都配有一定数量的思考题或练习题。

郑州测绘学校承担本套教材的编写工作,陕西测绘局、四川测绘局、黑龙江测绘局、北京市测绘设计研究院等单位承担审稿工作,国家测绘局人事司、职业技能鉴定指导中心进行最后审定。哈尔滨地图出版社对本套教材的出版给予了大力支持。

各单位在使用过程中如发现问题,可书面向国家测绘局职业技能鉴定指导中心反映,以便今后修订。

测绘行业职业技能培训教材
编审委员会

2001年6月

测绘行业职业技能培训教材编审委员会

(以姓氏笔画为序)

主任委员 李玉潮 柏玉霜

副主任委员 李骏元 易杰军 韩力援

委员 王玉富 杨晓明 张传喜 孟凡利 杨承宇

庞秋红 郑殿军 罗志勋 赵长安 贾志英

钱祖林 董学 薛雁明

主 编 李玉潮

副 主 编 王玉富 李骏元

《测量基础》编审人员

(以姓氏笔画为序)

执行主编 赵长安

执 笔 赵长安 李延军 王玉富

审 稿 李广源 李继才 闵开伟 张泽源 黄云康

编 辑 王玉富

会 员 委 审 会

2001年10月

前 言

本书系根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范》编写的测绘行业职业技能培训教材之一,是全套教材的基础册,除适合地形测量工培训使用外,与其他各册配合,可供相应工种培训使用。本书还可供有关院校师生及其他测绘技术人员参考。

全书共分十章。第一章为测绘基础知识,主要包括测绘工作概述、地球的形状、参考椭球面、测量坐标系、用球面及平面代替水准面问题、高斯投影、地形图的分幅与编号、测量上常用的度量单位、程序型电子计算器的使用、测绘仪器的保养及资料保密等;第二章为误差基本知识,包括观测误差、精度评定、误差传播定律、不等精度观测等问题;第三章为水准仪及水准测量,主要介绍水准测量常规仪器及三、四等水准、等外水准测量的实施;第四章为经纬仪及角度测量,主要介绍普通经纬仪的使用、检校及水平角观测、垂直角观测;第五章为距离测量,包括钢尺量距、视距测量和电磁波测距;第六章为平面控制测量,主要介绍电磁波测距导线及测角交会、测边交会等;第七章为三角高程测量;第八章为平板仪测量;第九章为大比例尺地形图测绘;第十章为数字化测图简介,简要介绍了数字化测图的基本概念和内外业一体化数字测图的设备配置及作业模式等。

本书的内容按鉴定规范对测绘类各工种应掌握的基础知识的要求以及地形测量工的全部要求组织编写。技术标准依据《1:500、1:1 000、1:2 000 地形图平板仪测量规范》(GB/T 16819—1997)、《1:500 1:1 000 1:2 000 地形图图式》(GB/T 7929—1995)、《中、短程光电测距规范》(GB/T 16818—1997)、《城市测量规范》(CJJ8—99)等。

本书由赵长安同志主持编写。其中第一、二、三、四、五章由赵长安同志执笔,第六、七、八、九章由李延军同志执笔,第一章的部分内容及第十章由王玉富同志执笔;全书由赵长安、王玉富统稿;王玉富同志对全书进行了文字加工和编辑处理。

本书在编写过程中,得到了编委会的诸多指导,参阅了有关教材和资料,部分数据、图表引自郑州测绘学校内部教材《地形测量学》、《地形测量实习指导书》以及即将由测绘出版社出版发行的罗聚盛、杨晓明编写的《地形测量学》等教材。同时,听取了部分专家和有关老师的意见,特别是充分吸收了审稿专家的意见和建议。在此,对提出意见的专家、老师、审稿人及有关参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,加之编者水平有限,书中定有不足之处。希望读者提出宝贵意见,以便进一步修改、完善。

编 者

2001年5月

目 录

第一章 测绘基础知识	1
第一节 测绘工作的任务及作用	1
第二节 地球的形状和大小	2
第三节 参考椭球面	3
第四节 测量坐标系的概念	5
第五节 用水平面代替水准面的限度	8
第六节 高斯投影	10
第七节 地形图的分幅与编号	13
第八节 地形图的认识	20
第九节 测量上常用的度量单位	24
第十节 地形测量作业概述	25
第十一节 电子计算器的使用	29
第十二节 测绘仪器的使用、保养及资料保密	40
思考题一	44
练习题一	45
第二章 误差基本理论	47
第一节 观测误差	47
第二节 评定精度的指标	50
第三节 误差传播定律及其应用	52
第四节 不等精度观测问题	59
思考题二	63
练习题二	63
第三章 水准仪及水准测量	66
第一节 高程测量概述	66
第二节 水准测量的基本原理	67
第三节 水准测量的仪器和器材	69
第四节 水准仪的使用	74
第五节 水准仪的检验和校正	76
第六节 水准测量的施测	79
第七节 水准测量的内业计算	88
思考题三	91
练习题三	92
第四章 经纬仪及角度测量	93
第一节 角度测量概述	93
第二节 光学经纬仪	93
第三节 光学经纬仪的使用	96
第四节 水平角观测	98
第五节 垂直角观测	105
第六节 经纬仪的检验和校正	108

思考题四	113
练习题四	114
第五章 距离测量	115
第一节 距离测量概述	115
第二节 钢尺量距	115
第三节 钢尺检定	122
第四节 钢尺量距成果的计算	124
第五节 普通视距测量	126
第六节 视距常数的测定	128
第七节 电磁波测距	130
思考题五	134
练习题五	135
第六章 平面控制测量	137
第一节 导线测量	137
第二节 光电测距极坐标法加密图根点	144
第三节 测角交会	145
第四节 测边交会	150
思考题六	152
练习题六	152
第七章 三角高程测量	154
第一节 三角高程测量原理	154
第二节 三角高程导线	157
第三节 独立交会点高程	159
思考题七	160
练习题七	160
第八章 平板仪测量	162
第一节 平板仪	162
第二节 平板仪的安置	164
第三节 平板仪的检验和校正	165
第四节 图解交会和图解导线测量	167
思考题八	171
练习题八	172
第九章 大比例尺地形图测绘	173
第一节 大比例尺测图的技术计划	173
第二节 地形基本控制测量	174
第三节 测图前的准备工作	175
第四节 测站点的测量	178
第五节 碎部点测定方法	178
第六节 平板仪测图的几种形式	181
第七节 地物的测绘	183
第八节 地貌的测绘	186
第九节 地形图测绘综合取舍的一般原则	190
第十节 地形测图的精度	191

第十一节 地形测图的收尾工作·····	192
思考题九·····	195
练习题九·····	196
第十章 数字化测图简介 ·····	197
第一节 数字化测图与白纸测图的比较·····	197
第二节 数字化测图原理及系统配置·····	198
第三节 数字化测图作业概述·····	202
思考题十·····	203
参考文献 ·····	205

第一章 测绘基础知识

第一节 测绘工作的任务及作用

测绘是测量和地图制图的统称。测绘科学研究的对象主要是地球的形状、大小和地球表面上各种固定物体的几何形状及空间位置。测绘科学的成果通常将地形信息结合某些社会信息和自然信息编制成图或地理数据库,供人们直观、方便地使用。

传统的测绘学科主要包括大地测量学、普通测量学、航空摄影测量学、工程测量学、海洋测量学、地籍测绘学、地图制图学等分支。

随着光电技术、人造地球卫星技术及计算机技术的发展和在测绘中的普遍应用,测绘的作业方式和应用领域都已经发生了重大变化,传统的按作业方式或应用领域的分类已经不能完全适合测绘学科的现状。

20 世纪末,以全球定位系统(GPS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)——“3S”技术为代表的现代测绘技术得到很快的发展并已普遍应用于测绘生产中;测绘的产品也逐步实现向数字高程模型(DEM)、数字正射影像(DOM)、数字线划图(DLG)和数字栅格图(DRG)——“4D”产品方面的过渡。随着“数字中国”、“数字地球”的建立,测绘将为经济建设提供越来越多的服务。

测绘工作在经济建设和国防建设中具有重要作用。如,农田水利建设、国土资源管理、地质矿藏的勘探与开发、交通航运的设计、工矿企业和城乡建设的规划、海洋资源的开发、江河的治理、大型工程建设等,都必须首先进行测绘,并提供地形图与数据等资料,才能保证规划设计与施工的顺利进行。因此,测绘工作者常被誉为国民经济建设的先锋。在国防建设中,军事工程的设计与施工、火炮及导弹武器的发射、战役及战斗方案的部署、各军兵种军事行动的协同等,都离不开地形图和测绘工作的保障。所以,人们形象地称地形图是“指挥员的眼睛”。在其他领域,如地震灾害的预报、航天、考古、探险,甚至人口调查等工作中,也都需要测绘工作的配合。

新中国成立 50 多年来,我国测绘的主要成就有:① 在全国范围内(除台湾省外),建立了高精度的大地控制网,统一了坐标系统与高程系统;② 完成了国家基本比例尺地形图的测绘,测图比例尺随着我国经济建设发展的需要逐步增大,测图方法从以平板仪地形测量和模拟立体摄影测量为主,发展到以内外业一体化地面数字测图和全数字摄影测量为主;③ 编制和出版各种地图、专题图及其地图集,制图逐渐实现从手工编绘向数字化、自动化过渡;④ 制定了各种测绘技术规范和法规,统一了技术规格和精度指标;⑤ 建立了从中等测绘职业教育到高等测绘教育的完整教育体系,培养和造就了大量测绘技术人才;⑥ 测绘技术步入世界先进行列,向着自动化和数字化发展,近 10 年来,研制出了大量具有世界先进水平的测绘软件,如全数字摄影测量系统——VirtuoZo,面向对象的地理信息系统——GeoStar(吉奥之星),地理信息系统软件平台——MAPGIS,数字测图系统——清华山维的 EPSW、武汉瑞得的 RDMS、南方测绘的 CASS 等等;⑦ 测绘仪器的制造从无到有,不仅能生产各种不同等级的光学经纬仪、水准仪、平板仪等,还能批量生产电子经纬仪、电磁波测距仪、自动安平水准仪、全站仪、GPS 接收机、解析测图仪等。

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、技术和应用方法的学科。它研究的对象,只是地球表面上一个较小的区域内各类固定性物体形状和位置,所进行的工作即是地形测量。由于

地球半径较大,地球表面曲率较小,在一定条件下,地面上的小区域可以近似看成平面。因此,有关地形测量的许多问题,都是以平面为依据进行的。地形测量的基本任务包括图根控制测量和地形测图,具体工作有距离测量、角度测量、定向测量、高程测量、观测数据的处理和绘图等。

本书主要围绕普通地形测量的基本原理、方法,介绍测绘基础知识。这些内容不仅是地形测量工作者应掌握的,也是每一名测绘工作者应具备的基础知识。

第二节 地球的形状和大小

测量工作研究的主要对象是地球的自然表面(地球在长期的自然变化过程中形成的表面),即岩石圈的表面。它是一个形状极其复杂而又不规则的曲面。地面上有高山、丘陵、平原、江河、湖泊、海洋等。如果仅从某一局部地区来推断,很难确定出地球的形状和大小。如,我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰高达 8 848.13 m,而在太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11 022 m。不过,从整体来看,地面的起伏与地球平均半径(约 6 371 000 m)相比是微不足道的。

通过长期的测绘工作和科学调查,人们了解到地球表面上的海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。我们可以把地球总的形状看成是一个被海水包围的形体,也就是设想一个静止的海水面(即没有波浪、无潮汐的海水面)向大陆内部延伸、最后包围起来的闭合形体。我们将海水在静止时的表面叫做水准面。水准面有无穷多个,其中一个与平均海面重合并延伸到大陆内部的水准面叫做大地水准面。它是一个没有皱纹和棱角的、连续的封闭曲面。大地水准面是决定地面点高程的起算面。由大地水准面所包围的形体叫做大地体。通常认为大地体可以代表整个地球的形状。

水准面是一个曲面,通过水准面上某一点而与水准面相切的平面称为过该点的水平面。水准面有这样的物理特征:处处都与其铅垂线方向相垂直。铅垂线方向又称为重力方向。重力是地球引力和离心力的合力,地球表面离心力与引力之比约为 1 : 300,所以重力方向主要取决于引力方向。由于地球内部物质分布不均匀,使得地面各点铅垂线方向发生不规则的变化,大地水准面实际上是略有起伏而不规则的光滑曲面,如图 1-1 所示。

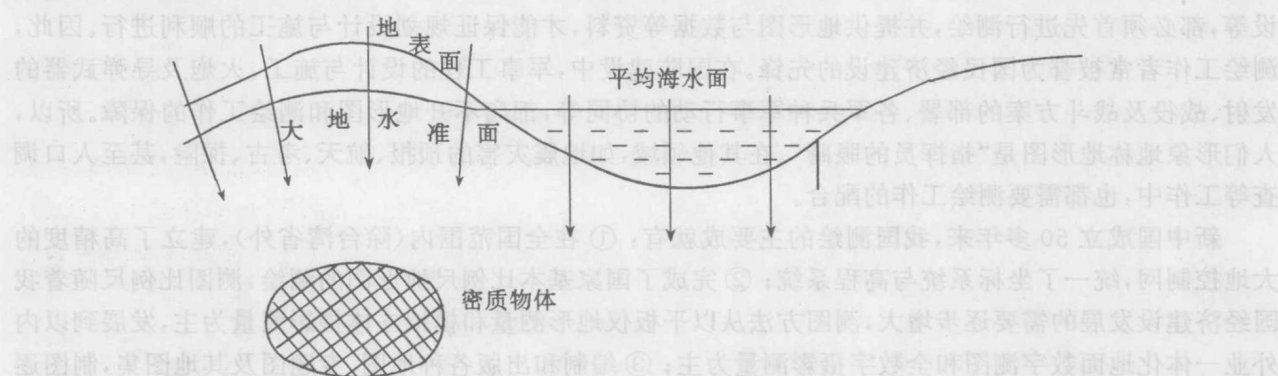


图 1-1 大地水准面示意图

显然,要在这样的曲面上进行各种测量数据的计算和成果、成图的处理是相当困难的,甚至是不可能的。然而,人们经过长期的精密测量,发现大地体十分接近于一个两极稍扁的旋转椭球体,这个与大地体形状和大小十分接近的旋转椭球体,我们称为地球椭球体。它是一个数学曲面,用 a 表示地球椭球体的长半径, b 表示其短半径,则地球椭球的扁率 α 为

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

所以地球椭球的元素用 a, α 表示即可。其值过去是用弧度测量和重力测量的方法测定,现代结合卫星大地测量资料可以得出更精确的结果。世界各国推导和采用的地球椭球元素很多,现摘录几种典型的地球

椭球元素以作参考。

表 1-1 几种典型的地球椭球元素

地球椭球名称	发表年代	长半径 a/m	扁率 α	国 别
德 兰 勃	1800	6 375 653	1 : 334.0	法 国
白 塞 耳	1841	6 377 397	1 : 299.15	德 国
海 福 特	1910	6 378 388	1 : 297.0	美 国
克拉索夫斯基	1910	6 378 245	1 : 298.3	苏 联
国际第三推荐值	1975	6 378 140	1 : 298.257	国 际
国际第四推荐值	1979	6 378 137	1 : 298.257	国 际

由于地球椭球的扁率很小,在地形测量的某些范围内常常近似地把它看作正球体,其半径取为

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) \approx 6\,371(\text{km}) \quad (1-2-2)$$

一个国家为了处理自己的大地测量成果,首先要在地面上适当的位置选择一点作为大地原点,用于归算地球椭球定位结果,并作为观测元素归算和大地坐标计算的起算点;进而采用与地球大小和形状接近的并确定了和大地原点关系的地球椭球体,称为参考椭球体,其表面称为参考椭球面。

如图 1-2 所示,在地面上适当地方选择一点 P ,设想把椭球与大地体相切,切点 P' 位于 P 点的铅垂线方向上。这时,椭球面上的 P' 点的法线与大地水准面的铅垂线相重合,使椭球的短轴与地轴保持平行,且椭球面与这个国家范围内的大地水准面的差距尽量小。于是椭球与大地水准面的相对位置便确定下来,这就是参考椭球体的定位工作。参考椭球面是处理大地测量成果的基准面。如果一个国家(或地区)的参考椭球选定的适当,参考椭球面与本国(本地区)的大地水准面的差距就会很小,它将有利的测量成果的处理。

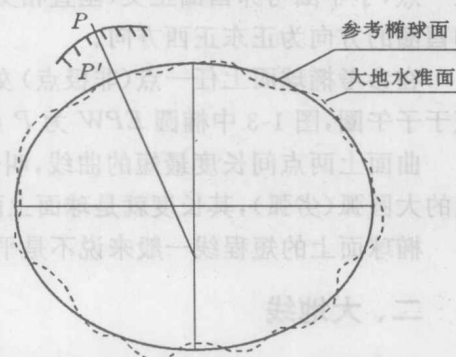


图1-2 参考椭球体定位示意图

我国所采用的参考椭球几经变化。建国前,曾采用海福特椭球;建国后,采用的是克拉索夫斯基椭球。由于克拉索夫斯基椭球参数与 1975 年国际第三推荐值相比,其长半轴相差 105 m,而 1978 年我国根据自己掌握的测量资料推算出的地球椭球为 $a = 6\,378\,143\text{ m}$, $\alpha = 1 : 298.255$,这个数值与国际第三推荐值十分接近,我国决定自 1980 年起采用 1975 年国际第三推荐值(见表 1-1)作为参考椭球,它将更适合我国大地水准面的情况,从而使测量成果归算得更准确。

第三节 参考椭球面

当参考椭球确定以后,地面上点的位置可以用它在参考椭球面上的投影和该点的高程来表示。参考椭球上有些点、曲线或平面有特殊意义(见图 1-3),为了更好地理解参考椭球面,我们首先介绍这些重要的点、线、面。

一、参考椭球面上主要的点、线、面

参考椭球旋转时所绕的短轴 NS 称为旋转轴,又称为地轴。它通过椭球中心 O 。旋转轴与参考椭球面的交点称为极点。在北端的极点 N 称为北极;在南端的极点 S 称为南极。

包含旋转轴 NS 的任一平面称为一个子午面。子午面有无数多个。子午面与参考椭球的交线(椭圆)

国际上公认,通过英国格林尼治天文台的子午面,称为首子午面或起始子午面;通过格林尼治天文台的子午线称为首子午线,或称起始子午线,起始经线,亦称本初子午线。

图1-3 参考椭球体的重要点、线、面

通过参考椭球面上任一点 P 的法线且与子午面垂直的平面称为 P 点的卯酉平面。卯酉平面与椭球面的交线为 P 点的卯酉圈。卯酉圈的形状是椭圆,不同点的卯酉圈形状一般不相同。在参考椭球面上任一点,子午圈与卯酉圈正交(垂直相交)。可以认为,该点子午线的方向为正北正南方向(真子午方向),卯酉圈的方向为正东正西方向。

曲面上两点间长度最短的曲线,叫做短程线。在球面上,过两点的所有曲线中长度最短的是过这两点的大圆弧(劣弧),其长度就是球面上两点之间的距离(弧长)。

二、大地线

我们可以想象,通过地面上两点,在地球的自然表面上可以画出很多条曲线。这些曲线的长度不尽相同,把其中最短的一条曲线的长度作为地面上这两点之间的“距离”似乎是很自然的。不过,这样定义的“距离”很难通过测量的手段来得到。

当我们把地面(自然表面)上的点投影到参考椭球面(数学曲面)上后,参考椭球面上相应投影点之间最短连线,称为大地线,也就是上面提到的短程线。参考椭球面上两点之间的大地线(短程线)的长度就是这两点之间的距离。

由于椭球面上短程线不是平面曲线,也不能用一个简单的方程表示出来,实际应用中往往在一点 P 附近的一定范围内,用一个球面来代替椭球面。所选的球面中心不是在旋转椭球的几何中心或地球的质心,而是在旋转椭球面的“曲率中心” Q (在椭球面的法线与旋转轴的交点),其半径等于旋转椭球面的平均曲率半径:

其中 φ 为 P 点的纬度, a 为参考椭球的长半径, e 为子午圈(椭圆)的离心率, M 为 P 点的子午曲率半径, N 为 P 点的卯酉曲率半径, 分别为

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^3}} \quad (1-3-2)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (1-3-3)$$

这样的球面称为旋转椭球面在 P 点的密切球面, 它的球心在椭球面的曲率中心 Q , 半径等于椭球面上 P 点的平均曲率半径 R , 法线与椭球面的法线重合, 如图 1-4 所示。

对于我国当前采用的国际第三推荐值椭球

$$a = 6\,378\,140 \text{ m}, e^2 = 0.006\,694\,384$$

在中纬度 ($\varphi = 40^\circ$) 地区

$$M_{40^\circ} = 6\,361\,819 \text{ m}, N_{40^\circ} = 6\,386\,979 \text{ m},$$

$$R_{40^\circ} = 6\,374\,387 \text{ m}$$

由于地球的扁率很小, 密切球面在 P 点相当大的范围内可以很好地拟合参考椭球面或大地水准面 (见图 1-4)。

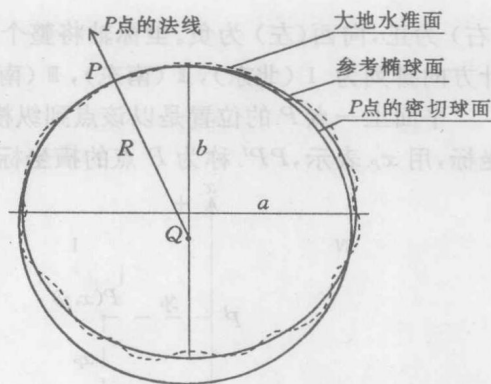


图1-4 在一定范围内以球面代替参考椭球面

第四节 测量坐标系的概念

由于地球自然表面高低起伏变化较大, 要确定地面点的空间位置, 就必须要有有一个统一的坐标系。在测量工作中, 通常用地面点在基准面 (如参考椭球面) 上的投影位置和该点沿投影方向到大地水准面的距离三个量来表示。投影位置通常用地理坐标或平面直角坐标来表示; 到大地水准面的距离用高程表示。

一、大地坐标

由首子午面和赤道面构成大地坐标系统的起算面。如图 1-3 所示, 过参考椭球面上任一点 P 的子午面与首子午面的夹角 L , 称为该点的大地经度, 简称经度。经度由首子午面向东量称为东经, 向西量称为西经, 其值各由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。在同一子午线上的各点, 其经度相同。过 P 点的法线与赤道面的夹角 B , 称为该点的大地纬度, 简称纬度。纬度由赤道面向北量称为北纬, 向南量称为南纬, 其值各由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。在同一平行圈上的各点的纬度相同。

为了计算方便和不至于混淆, 通常在东经、北纬的值前冠以“+”号; 西经、南纬的值前冠以“-”号。参考椭球面上的点以其大地经度、纬度表示的坐标称为该点的大地坐标。

由于参考椭球面与大地水准面之间的相关位置已固定下来, 地面上任何一点的位置都可以沿法线方向投影到参考椭球面上, 并用其大地经、纬度表示出来。

地形图上的经纬度一般都是用大地坐标表示的。

二、平面直角坐标

大地坐标在大地测量和制图中经常用到, 但在地形测量中很少直接使用, 而经常使用的是平面直角坐标, 特别是以后讲的高斯平面直角坐标。

平面直角坐标系是由平面内两条互相垂直的直线组成的坐标系。测量上使用的平面直角坐标系与数学上的笛卡尔坐标系有所不同。测量上将南北方向的坐标轴定为 x 轴 (纵轴), 东西方向的坐标轴定为 y 轴 (横轴), 规定的象限顺序也与数学上的象限顺序相反, 并规定所有直线的方向都是以纵坐标轴北端顺时针方向量度的。这样, 使所有平面上的数学公式均可使用, 同时又便于测量中的方向和坐标计算。

如图 1-5(a) 所示, 以南北方向的直线作为坐标系的纵轴, 即 x 轴。以东西方向的直线作为坐标系的横轴, 即 y 轴。纵、横坐标轴的交点 O 为坐标原点。规定由坐标原点向北 (上) 为正, 向南 (下) 为负; 向东

(右) 为正, 向西(左) 为负。坐标轴将整个坐标系分为四个象限, 象限的顺序是从北东象限开始, 依顺时针方向排列为 I (北东), II (南东), III (南西), IV (北西) 象限。

平面上一点 P 的位置是以该点到纵横坐标轴的垂直距离 PP' 和 PP'' 来表示的。 PP'' 称为 P 点的纵坐标, 用 x_P 表示, PP' 称为 P 点的横坐标, 用 y_P 表示。

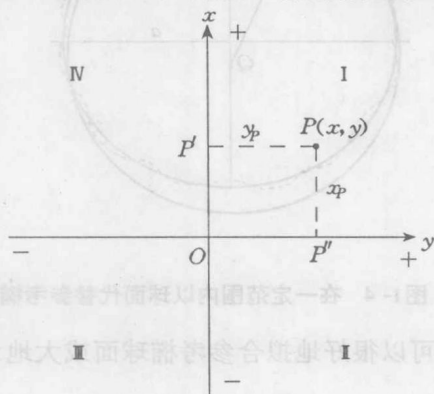


图1-5(a) 平面直角坐标系

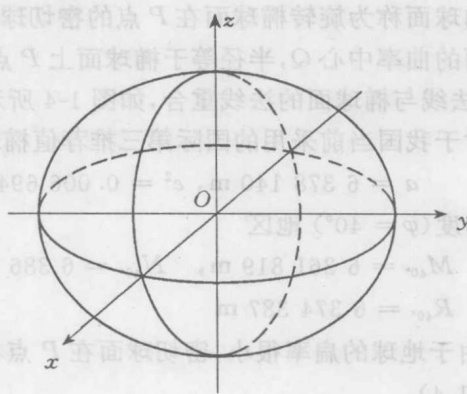


图1-5(b) 地心空间直角坐标

三、地心空间直角坐标

在卫星大地测量中, 常用地心空间直角坐标来表示空间一点的位置。通常地心空间直角坐标系的原点设在地球椭球的中心 O , z 轴与地球旋转轴重合, x 轴通过起始子午面与赤道的交点, y 轴与 z, x 轴形成右手系, 如图 1-5(b) 所示。地心空间直角坐标系可以统一各国的大地控制网, 可以使各国的地理信息“无缝”衔接。地心空间直角坐标在全球定位系统(GPS)、航空、航天、军事及国民经济各部门有着广泛的运用。

四、我国的大地坐标系

新中国成立后, 我国先后采用两套大地坐标系。

1. 1954 年北京坐标系

20 世纪 50 年代, 由于国家建设的急需, 我国地面点的大地坐标是通过联测从前苏联经我国东北传算过来的, 这些大地点经平差之后, 其坐标系统定名为 1954 年北京坐标系。实际上, 这个坐标系统是原苏联 1942 年普尔科沃大地坐标系的延伸, 它采用的是克拉索夫斯基椭球元素值, 大地原点在原苏联普尔科沃天文台, 由于大地原点距我国甚远, 在我国范围内该参考椭球面与大地水准面存在着明显的差距, 在东部地区, 两面的差距最大达 69 m 之多。因此, 1978 年全国天文大地网平差会议决定建立我国独立的大地坐标系。

2. 1980 西安坐标系

自 1980 年起, 我国采用 1975 年国际第三推荐值作为参考椭球, 并将大地原点定在西安附近(陕西省泾阳县永乐镇, 距西安约 60 千米), 由此建立了我国新的国家大地坐标系——1980 西安坐标系。该坐标系采用的地球椭球元素为: $a = 6\,378\,140\text{ m}$, $\alpha = \frac{1}{298.257}$ 。原来的 1954 年北京坐标系的成果都将改算为 1980 西安坐标系的成果。但是考虑到改算的艰巨性, 1954 年北京坐标系的成果特别是大量的地图资料, 在一定时期内, 还将继续使用。

两个系统的坐标可以互换, 但不同的地区坐标转换系数不一样。使用控制点成果时, 一定要注意坐标系的统一性。

五、我国的高程系统

地理坐标或平面直角坐标只能反映地面点在参考椭球面上或投影面上的位置, 并不能反映其高底

起伏的差别,为此,需建立一个统一的高程系统。

首先要选择一个基准面。在一般测量工作中都以大地水准面作为基准面,因而地面上某点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程或海拔,又称为绝对高度、真高,简称为高程;到任一假定水准面的垂直距离称为该点的假定高程或相对高程。如图 1-6, H_A, H_B 分别代表地面上点 A, B 的绝对高程, H'_A, H'_B 分别代表 A, B 点的假定高程。

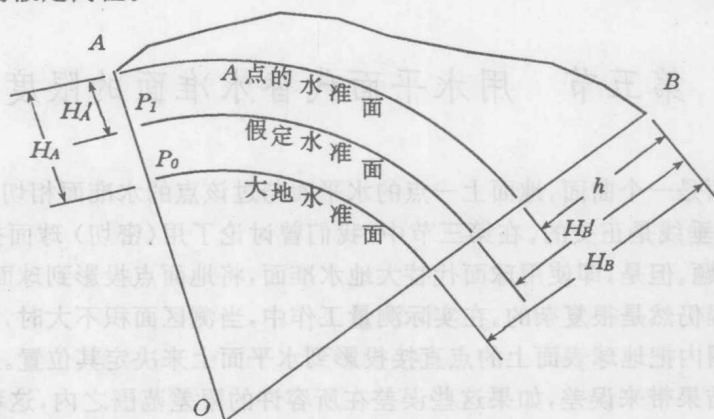


图1-6 高程系统示意图

由图 1-6 可以看出,大地水准面是确定地面点高程的基准面(起算面),而一个与平均海水面重合并延伸到大陆内部的水准面就是大地水准面。所以平均海水面实际上就是高程基准面。它的获得是通过在沿海某处设立验潮站经过长期测定海水面的高度,取其平均值,作为高程的零点。由于各海洋的水面高度存在差异,平均海水面的高度也就不一样。我国是以青岛验潮站的验潮结果求得平均海水面,作为全国统一的高程基准面。因此,地面上某点到国家基准面的铅垂距离就是该点的绝对高程。如图 1-7 所示,地面上 A, B 两点的高程分别为 H_A 和 H_B , 两点高程之差称为高差(或比高)。高差是相对的,其值有正、负,如果测量方向由 A 到 B , A 点高, B 点低,则高差 $h_{AB} = H_B - H_A$ 为负值;若测量方向由 B 到 A , 即由低点测到高点,则高差 $h_{BA} = H_A - H_B$ 为正值。

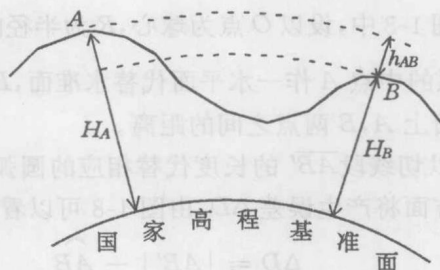


图1-7 国家高程系统

1. 1956 年黄海高程系

我国过去是以青岛验潮站 1950 ~ 1956 年连续验潮的结果求得的平均海水面作为全国统一的高程基准面的。由此基准面起算所建立的高程系统,称为 1956 年黄海高程系。为了明显而稳固地表示高程基准面的位置,在山东省青岛市观象山上的一个山洞里,建立了一个与该平均海水面相联系的水准点,这个水准点叫作国家水准原点。用精密水准测量方法测出该原点高出黄海平均海水面 72.289 m。原点是以坚固的标石加以标志的。它就是推算国家高程控制网的高程起算点。

2. 1985 国家高程基准

1985 年,国家测绘局根据青岛验潮站 1952 ~ 1979 年间连续观测的潮汐资料,推算出验潮井口横安铜丝距黄海平均海平面的高度为 3.571 m,即该横安铜丝以下 3.571 m 为平均海水面。1980 年,用精密水准测量测得横安铜丝与青岛水准原点的高差为 68.689 m,从而求得青岛水准原点的高程为

$$H_0 = 3.571 + 68.689 = 72.260(\text{m})$$

于 1987 年 5 月正式通告启用,并以此定名为 1985 国家高程基准,同时“1956 年黄海高程系”即相应废止。各部门各类水准点成果将逐步归算至“1985 国家高程基准”面上来。所以,在使用高程成果时,要特别注意使用的高程基准,防止错误。

“1985 国家高程基准”与“1956 年黄海高程系”比较,验潮站和水准原点未变,只是更精确,两者相

差 0.029 m(1985 国家高程基准“低”0.029 m)。由 1956 年黄海高程系的高程换算成 1985 国家基准高程时需要减去 29 mm。

对于独立的小块地区,由于用图紧急或暂时无法与国家水准网联测时,可以采用假定高程系,即假设任意一个水准面作为高程起算面(参见图 1-6),但必须在成果表中加以说明。该系统中地面点的高程为点的假定高程(相对高程)。

第五节 用水平面代替水准面的限度

我们知道,水准面是一个曲面,地面上一点的水平面与过该点的水准面相切。由水准面的特性可知,水平面与过该点的铅垂线是正交的。在第三节中,我们曾讨论了用(密切)球面拟合参考椭球面来近似代替大地水准面的问题。但是,即使用球面代替大地水准面,将地面点投影到球面上,然后再投影描绘到平面图纸上,这一过程仍然是很复杂的。在实际测量工作中,当测区面积不大时,往往以水平面直接代替水准面,即在一定范围内把地球表面上的点直接投影到水平面上来决定其位置。这样做简化了测量和计算工作,但却给测量结果带来误差,如果这些误差在所容许的限差范围之内,这种代替是允许的。但是,究竟在多大范围内才能允许用水平面代替水准面呢?我们有必要对这种代替所产生的误差进行讨论。

下面对用水平面代替水准面引起的距离、角度、面积和高程等方面误差的大小作初步的分析。

一、距离误差

在图 1-8 中,设以 O 点为球心,R 为半径的球面为水准面。在水准面上不太大的范围内有 B,C 两点,过 BC 弧的中点 A 作一水平面代替水准面,B',C' 点分别为 B,C 在水平面上的投影。 $\widehat{AB}$ 弧的长度 D 就是水准面上 A,B 两点之间的距离。

若以切线段 $\overline{AB'}$ 的长度代替相应的圆弧 $\widehat{AB}$ 的长度,则在距离方面将产生误差 ΔD 。由图 1-8 可以看出

$$\Delta D = |AB'| - \widehat{AB}$$

当 $\widehat{AB'}$ 所对的圆心角为 θ (以弧度表示)不太大时,经过数学推导可得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1-5-1}$$

或用相对误差表示为

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \tag{1-5-2}$$

(1-5-1) 式为距离误差 ΔD 的计算公式;(1-5-2) 式为用相对误差表示的计算公式。因 R 可以看成常数,故 ΔD 仅随 D 而变化。为便于理解,现将距离 D 为 10 km,20 km,50 km 时,产生的误差和相对误差列于表 1-2 中。

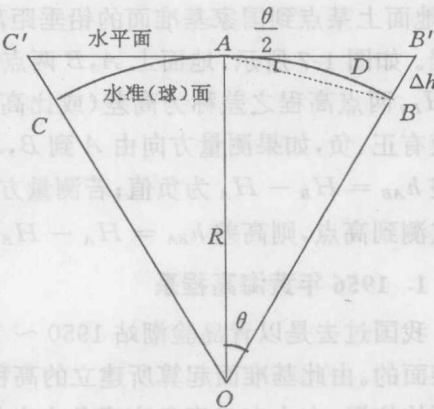


图1-8 水平面代替水准面引起的距离误差

表 1-2 用水平面代替水准面在距离方面引起的误差

距离 D/km	10	20	50
距离误差 ΔD /cm	0.82	6.57	102
相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$	$\frac{1}{1\,220\,000}$	$\frac{1}{304\,000}$	$\frac{1}{50\,000}$

从表中可以看出,当地面距离为 10 km 时,用水平面代替水准面所产生的距离误差仅为 0.82 cm,其相对误差为 1/1 220 000。而实际测量距离时,大地测量中使用的精密电磁波测距仪的测距精度为 1/1 000 000(相对误差),地形测量中普通钢尺的量距精度约为 1/3 000(相对误差)。所以,只有在大范围