



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

工程测量

(第二版)

金仲秋 陈 凯 主编

方贤平 [浙江省交通规划设计研究院] 主审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

Gongcheng Celiang

工 程 测 量

(第二版)

金仲秋 陈 凯 主编
方贤平[浙江省交通规划设计研究院] 主审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为高等职业教育交通土建类精品课程教材,国家级精品课程《工程测量》的配套教材、“十二五”职业教育国家规划教材。全书共设置了八个学习情境,内容包括高程水准测量、平面控制测量、公路地形图测绘、公路中线测量、公路基中平测量、公路横断面测量、公路施工测量。

本书主要供高职、高专院校交通土建类专业教学使用,也可供相关专业工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 金仲秋, 陈凯主编. -- 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014. 8

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-114-11370-3

I. ①工… II. ①金… ②陈… 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(2014)第 074625 号

“十二五”职业教育国家规划教材

书 名: 工程测量(第二版)

著 作 者: 金仲秋 陈 凯

责任编辑: 任雪莲

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 12.5

字 数: 310 千

版 次: 2007 年 3 月 第 1 版

2014 年 8 月 第 2 版

印 次: 2014 年 8 月 第 1 次印刷 总第 6 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11370-3

定 价: 32.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

第二版前言

本教材第一版于2007年3月由人民交通出版社出版发行后,在全国各高职院校使用中得到了肯定和好评。2010年,本教材入选浙江省高校重点教材建设项目。2014年,本教材第二版入选教育部“十二五”职业教育国家规划教材。本次教材编写按照工学结合、校企合作的要求,在教材第一版的基础上进行了修订,以适应专业课程教学改革的需要。

本书主要有如下特点:

(1) 教学内容紧贴生产实际。

为了充分体现教材的职业性和实践性,达到基于工作过程导向的教材要求,教材编写紧贴生产实际,选择与企业相同或相似的工作任务为载体,并结合完成工作任务的工作流程来组织教材内容,联合企业一线技术人员合作完成教材编写。

(2) 教材编写体现工作过程导向的教改思路。

以工作过程导向的思路,打破学科知识逻辑界线,摒弃呈现完整学科体系的习惯做法。教材编写以完成工作任务为目标来编排和组织教学内容;对于工程测量的工作任务选择,考虑其典型性,通过企业调研来确定工作任务与数量。

(3) 应用学习情境的课程理念来组织教材内容。

以工作项目为主线,共设置了七个学习情境,包括高程测量、平面控制测量、公路地形图测绘、公路中线测量、公路基中平测量、公路横断面测量、公路施工测量等项目导向的学习内容,引导学生在完成工作任务的过程中学到知识和技能。

(4) 编写格式与体例上,从实用人才培养原则出发,内容全面、重点突出,在理论体系、内容结构和文字论述方面等均有新的尝试。每个学习情境列有学习目标、学习指南,最后附有学习情境小结和课后训练,以便学生更好地掌握学习的核心内容。

本书由浙江交通职业技术学院金仲秋、陈凯担任主编,并由金仲秋负责全书的统稿,浙江省交通规划设计研究院方贤平教授级高工担任主审。参加本书编写工作的有:金仲秋(编写测量工作认知、学习情境1、学习情境4、学习情境7);陈凯(编写学习情境2、学习情境5);绍兴市交通设计院何小明(编写学习情境3);丽水佳途设计有限公司叶建胜(编写学习情境6)。

本教材在编写过程中,参考并引用了附于本书末尾的参考文献中作者的部分成果,在此一并致以诚挚谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编 者
2014年8月

第一版前言

本教材是为满足教育之需,按照交通土建类课程设置框架的要求编写,是高等职业教育交通土建类精品课程教材。在编写体系的安排上,首先介绍了工程测量中常用仪器设备,包括水准仪、经纬仪、测距仪、全站仪和 GPS 系统等的工作原理、功能、操作方法、维护和检验校正等方面的知识;然后按照控制测量、地形测量、道路中线测量、纵横断面测量和道路、桥涵及隧道施工测量的顺序,分别介绍各项工作的原理和使用方法。

作为普通高等职业教育交通土建类精品课程教材,本书主要具有如下特点:

1. 全面贯彻素质教育思想,注重学生个性与创新精神及实践动手能力的培养,教材内容编写以实用为原则,紧密跟踪我国公路工程测量技术的发展,力求将现代工程测量领域的最新科技成果、技术方法反映出来,并注重实际,以培养学生分析问题、解决问题的能力。

2. 遵循高等教育的办学规律,突出实用性、通用性和灵活性,课程教学安排以能力目标要求为框架,使能力目标与教学安排相对应并呈现模块式。

3. 编写格式与体例上,从实用人才培养原则出发,内容全面、重点突出、资料新颖、数据准确、层次分明。在理论体系、组织结构和文字论述方面等均有新的尝试,每章列有本章概要和本章小结,最后附有思考题与习题,以便学生更好地掌握本章核心内容。

参加本书编写工作的有:浙江交通职业技术学院金仲秋(编写第一、二、九、十一章);辽宁交通高等专科学校马真安(编写第五、六、七、十章);浙江交通职业技术学院陈凯(编写第三、四、八章);全书由金仲秋、马真安担任主编,并由金仲秋负责全书的统稿,东南大学胡伍生教授担任主审。

本教材编写过程中,得到人民交通出版社及本书参考书目作者的大力支持,在此一并致以诚挚谢意。

限于编者的学识水平和实践经验,书中错误和不足之处在所难免,敬请读者赐教。

精品课程网站:<http://60.191.9.21/eln/cljs/cosup/index.asp>

编 者

2006 年 12 月

目 录

导入 测量工作认知	1
知识点 1 测量工作的分类、任务和作用	2
知识点 2 地球的形状和大小	3
知识点 3 确定地面点位的方法	4
知识点 4 测量工作的内容、程序及基本原则	7
知识点 5 测量误差的基本知识	8
知识点 6 本课程的学习方法指导	14
学习情境小结	15
课后训练	16
学习情境 1 高程水准测量	17
任务 1 水准点及水准路线的设置	18
任务 2 高程水准测量	21
任务 3 微倾式水准仪的检验和校正	35
任务 4 高程控制测量	38
任务 5 水准测量成果的数据处理	43
学习情境小结	49
课后训练	49
学习情境 2 平面控制测量	52
任务 1 导线点的设置	53
任务 2 导线的角度测量	55
任务 3 经纬仪检验与校正	68
任务 4 导线的距离测量与定向	71
任务 5 导线平面控制测量	79
任务 6 全站仪认识与操作	86
任务 7 全站仪导线测量	93
学习情境小结	97
课后训练	98
学习情境 3 公路地形图测绘	102
任务 1 公路地形图识读	102
任务 2 地形图测绘	109
任务 3 地形图的检查、拼接与整饰	117
任务 4 大比例尺数字化测图	118
任务 5 地形图的应用	120

学习情境小结	124
课后训练	124
学习情境4 公路中线测量	126
任务1 路线交点和转点的测设	127
任务2 路线转角的测定和里程桩的设置	129
任务3 圆曲线测设	131
任务4 虚交曲线测设	137
任务5 缓和曲线的测设	140
任务6 复曲线的测设	150
学习情境小结	152
课后训练	153
学习情境5 公路中基平测量	154
任务1 公路基平测量	154
任务2 公路中平测量	155
任务3 公路纵断面图绘制	159
学习情境小结	161
课后训练	162
学习情境6 公路横断面测量	163
任务1 横断面测量方向测定	163
任务2 公路横断面测量	165
任务3 公路横断面图绘制	166
学习情境小结	167
课后训练	167
学习情境7 公路工程施工测量	168
任务1 施工放样的基本工作	169
任务2 GPS 放样测量	174
任务3 公路施工测量	178
任务4 桥涵施工测量	182
任务5 隧道施工测量	184
学习情境小结	189
课后训练	190
参考文献	191

导入 测量工作认知



学习目标

1. 能正确叙述测量工作的分类,测量工作在公路建设各阶段的任务和作用;
2. 能正确叙述地球的形状与大小,知道大地水准面与基准线;
3. 能正确叙述大地坐标、高斯平面直角坐标、独立平面直角坐标系;
4. 知道国家高程基准、水准原点的高程、绝对高程、相对高程、高差的概念;
5. 能描述测量工作的原则、方法与工作内容;
6. 知道测量误差的概念,算术平均值原理,观测值中误差、容许误差、相对误差;
7. 能正确叙述评定观测值精度的标准。



学习指南

测量的基本任务,包括测绘和测设两个部分。测绘是指使用测量仪器和工具,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;测设是指把图纸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。

测量工作是在地球表面进行的,而地球的自然表面很不规则,有高山、丘陵、平原和海洋等,且海洋约占整个地球表面的71%,因此,可以把海水面所包围的地球形体看作地球的形状,我们将其中与平均的海水面相吻合的一个水准面,称为大地水准面。大地水准面是进行测量工作的基准面。由于大地水准面是一个曲面,在进行测量工作时,要考虑地球曲率对测量精度的影响。

在工程测量中,确定地面点位置的方法是通过确定该地面点的坐标和该点的高程来实现的。根据不同的测量精度要求,在工程建设中可以采用不同的坐标和高程系统。在测量工作中,由于仪器的误差、观测者的观测误差以及外界条件的影响,每次观测结果总是存在着测量误差,因此,要了解测量误差产生的规律,选用适当的观测方法,正确地处理观测成果,以提高观测精度。此外,为了把地球表面上的地物与地貌精确地绘制在图纸上,应按照“从整体到局部”、“先控制后碎部”的原则进行,以防止测量误差的积累。

测量工作认知共分为6个学习知识点,分别为测量工作的分类、任务和作用;地球的形状和大小;确定地面点位的方法;测量工作的内容、程序及基本原则;测量误差的基本知识;本课程的学习方法指导。

知识点 1 测量工作的分类、任务和作用

测量学是一门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)点位的科学。它的任务包括测绘和测设两个部分。测绘也称测定,是指使用测量仪器和工具,通过观测和计算,得到一系列测量数据,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。测设又称放样,是指把图纸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。

测量学按研究对象和范围的不同,大致可分为以下几个分支学科:

大地测量学:研究和确定地球形状、大小、重力场、整体与局部运动和地表面点的几何位置以及它们的变化的理论和技术的学科。由于人造地球卫星的发射和空间技术的发展,测量又分为常规大地测量和卫星大地测量学。

摄影测量与遥感学:研究利用电磁波传感器获取目标物的影像数据,从中提取语义和非语义信息,并用图形、图像和数字形式表达的学科。根据获得影像的方式及遥感距离的不同,又分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感测量等。

海洋测量学:研究以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和海图编制理论与方法的学科。主要内容包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量以及航海图、海底地形图的编制等。

工程测量学:研究工程建设与自然资源开发中在规划、勘测设计、施工与管理各个阶段中,所需要进行的控制和地形测绘、施工放样、变形监测的理论和技术的学科。包括工程控制网的建立、地形测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和维修养护测量,以及工程控制测量、土建施工测量和竣工测量等。

公路工程测量是测量学中一个重要组成部分,在国家经济建设和国防建设中具有非常重要的作用,在道路、桥梁和隧道工程的勘测设计、施工和运营管理各个阶段有着广泛的应用,主要体现在:

(1)在公路建设的勘测设计阶段,为了能在公路网线规划指定的起、终点之间设计出一条既符合一定公路等级技术标准又在经济上最合理的路线,首先要沿着路线可能经过的范围内布设控制点进行控制测量,通过测绘路线带状地形图作为纸上选定路线和进行路线方案比较的依据。在路线方案确定以后,为了编制设计施工文件和概预算,还要通过测设把地形图上选定的路线位置在地面上标定出来,然后进行路线的中线测量、水准测量、横断面测量、地形测量和有关调查测量等测量工作。此外,当路线跨越河流架设桥梁或穿越山岭采用隧道时,也要测绘桥址或隧址处的地形图,测定桥轴线、隧道轴线的长度和位置,为桥梁和隧道设计提供必要的资料数据。

(2)在公路建设的施工阶段,为了指导施工,首先要将在图纸上已设计好的路线、桥涵和隧道等构造物的各项元素,按规定的精度准确无误地测设于实地,完成施工前的施工放样测量工作。进行公路施工前的恢复中线测量。在施工的过程中,为了保证施工的进度和质量,还要经常通过各种测量来检查工程建设的进展情况。工程施工结束以后,还要通过必要的测量检查来进行竣工验收,并通过测量编制竣工图,以满足工程的验收、维护、加固以至扩建的需要。

(3)在公路建设投入使用以后的营运阶段,还要对公路、桥涵和隧道等构造物进行必要

的常规检查和定期进行变形观测,以指导日常的养护和维修,确保公路、桥梁和隧道等构造物的安全使用。

从以上叙述可知,工程测量工作贯穿于工程建设的勘测、设计、施工、竣工及养护维修的整个过程,测量工作的质量直接关系到工程建设的速度和质量。所以,每一位从事工程建设的工程技术人员,都必须明确工程测量技术在工程建设中的重要地位,掌握必要的测量基本理论、基本知识、基本技能和方法,是进行道路、桥梁和隧道工程技术工作的基本条件。

知识点2 地球的形状和大小

2.1 大地水准面与基准线

测量工作是在地球表面进行的,而地球自然表面很不规则,有高山、丘陵、平原和海洋等,见图0-2-1a)。其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面达8 844.43m,最低的位于太平洋西部的马里亚纳海沟低于海水面达11 022m。但是这样的高低起伏,相对于地球近似半径6 371km来说还是很小的。又由于海洋约占整个地球表面的71%,因此,可以把海水面所包围的地球形体看作地球的形状。即设想一个静止的海水面,向陆地延伸而形成一个闭合曲面,这个曲面称为水准面。

水准面作为流体的水面是受地球重力影响而形成的重力等势面,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。由于海水面受潮汐和风浪的影响,水面可高可低,是个动态的曲面,因此,水准面有无数多个,我们将其中与平均的海水面相吻合的一个水准面,称为大地水准面,见图0-2-1a)。大地水准面是进行测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体。

另外,由于地球的自转运动,地球上任意一点都要受到重力作用,重力的方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。

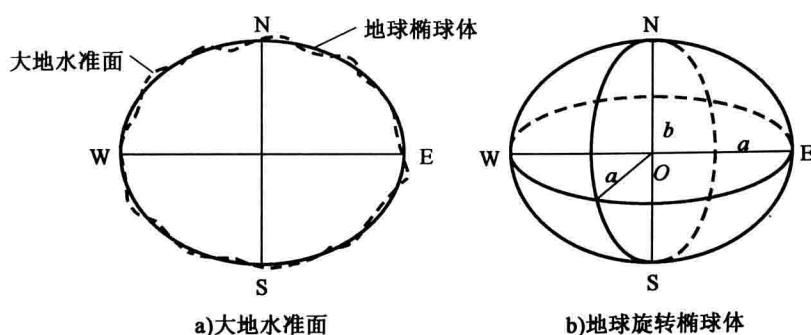


图0-2-1 地球自然表面、大地水准面和地球旋转椭球体

2.2 地球旋转椭球体

由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体。但是由于地球内部质量分布不均匀,引起局部重力异常,导致铅垂线的方向产生不规则的变化,使得大地水准面上也有微小的起伏,成为一个复杂的曲面,如图0-2-1a)所示,因此无法在这个复杂的曲面上进行测量数据的处理。为了测量计算工作的方便,通常用一个非常接近于大地水准面,并可用数学式表示的

纯几何形体来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面,这一几何形体称为地球椭球体。它是由一个椭圆绕其短轴旋转而成,故地球椭球又称为旋转椭球,如图 0-2-1b) 所示。这样,测量工作的基准面为大地水准面,而测量计算工作的基准面为旋转椭球面。

旋转椭球的形状和大小可由其长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 α 来表示。我国的旋转椭球目前采用的参数值为:

长半轴

短半轴

扁率

$a = 6\,378.140\text{km}$

$b = 6\,356.755\text{km}$

$\alpha = \frac{a-b}{a} \approx \frac{1}{298.257}$

由于旋转椭球的扁率很小,因此当测区范围不大时,可近似地把旋转椭球作为圆球,其半径近似值为 $R = \frac{1}{3}(2a + b) \approx 6\,371\text{km}$ 。当在小范围内进行测量工作时,可以用水平面代替大地水准面。

知识点 3 确定地面点位的方法

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置。在工程测量中确定地面点位置的方法是通过确定该地面点的坐标 (x, y) 和该点的高程 (H) 来实现的。根据不同的测量精度要求,在工程建设中可采用不同的坐标和高程系统。

3.1 确定地面点的坐标系

3.1.1 大地坐标系

大地坐标是以参考椭球体面为基准面的球面坐标系,常以大地经度和大地纬度表示,简称经度 (L) 、纬度 (B) ,它适用于在地球椭球面上确定点位。如图 0-3-1 表示以 O 为中心的大地椭球体,短轴 NS 为地球的旋转轴(也称地轴), N 为北极, S 为南极。地面上点 F 与地轴

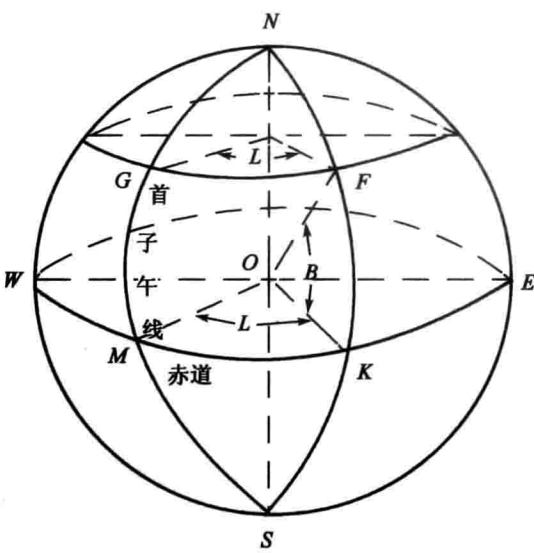


图 0-3-1 大地坐标系

NS 所组成的平面 $NFKSON$ 称为该点子午面。子午面与球面的交线 $NFKS$ 称为该点的子午线(或称经线)。其中经过英国格林尼治天文台 G 点的子午面 $NGMSON$ 称为首子午面,首子午面与球面的交线 $NGMS$ 称为首子午线。过 F 点的子午面与首子午面所夹的二面角,称为该点的大地经度,以 L 表示。大地经度自首子午线向东或向西 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ 量度,向东为正,称东经,或写成 $0^\circ \sim 180^\circ\text{E}$;向西为负,称西经,或写成 $0^\circ \sim 180^\circ\text{W}$ 。

经过球心 O 与地轴垂直的平面称为地球赤道平面,赤道平面与球面的交线称为赤道。平行赤道平面的其他平面与球面的交线称为纬线。如图 0-3-1 过 F 点的法线与赤道面的夹角 FOK 称为该点的大地纬度,用 B 表示。大地纬度自赤

道 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 量度, 向北称为北纬, 向南称为南纬。我国地理位置处在首子午线以东的经度约是 $74^{\circ} \sim 135^{\circ}$, 处在赤道平面以北的纬度约是 $3^{\circ} \sim 54^{\circ}$, 因此在我国表示点位大地坐标时冠以“东经”、“北纬”的名称。例如 F 点位于北京北纬 40° 、东经 116° , 可用 $B = 40^{\circ}\text{N}$ 、 $L = 116^{\circ}\text{E}$ 表示。

3.1.2 高斯平面直角坐标系

利用高斯投影法建立的平面直角坐标系, 称为高斯平面直角坐标系。我们知道, 地球是一个旋转椭球面, 如果测区范围较大, 就不能将测区曲面当作平面看待, 而工程设计上需要的是地面点的平面坐标, 可想而知, “平面”与“曲面”必然有矛盾。利用高斯平面直角坐标可以解决这类问题。

高斯投影法是将地球划分成若干带, 然后将每带投影到平面上, 如图 0-3-2 所示。投影带通常分为 6 度带或 3 度带。如 6 度带是从首子午线起, 每隔经度 6° 划分一带, 称为 6° 带, 将整个地球划分成 60 个带。带号从首子午线起自西向东编号, $0^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 为第 1 号带, $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 为第 2 号带, 依此类推。位于各带中央的子午线, 称为中央子午线, 第 1 号带中央子午线的经度为 3° , 任意号带中央子午线的经度 L_0 可按式计算。

$$L_0 = 6N - 3 \tag{0-3-1}$$

式中: N —— 6° 带的带号。

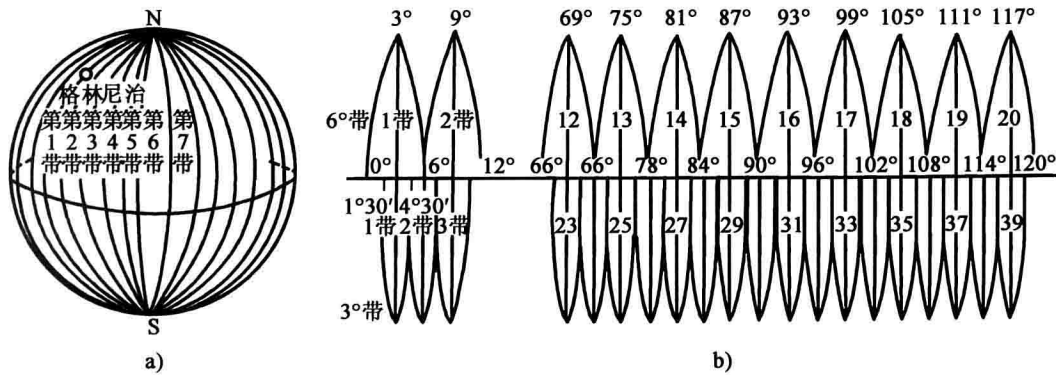


图 0-3-2 高斯平面直角坐标的分带

地面点的平面位置, 可用高斯平面直角坐标 x 、 y 来表示, 如图 0-3-3 所示。在坐标系内, 规定 X 轴向北为正, Y 轴向东为正。由于我国位于北半球, x 坐标均为正值, y 坐标则有正有负, 如图 0-3-3a) 所示, $y_A = +136\,780\text{m}$, $y_B = -272\,440\text{m}$ 。为了避免 y 坐标出现负值, 规定将每带的坐标原点向西移 500km , 如图 0-3-3b) 所示, 纵轴西移后高斯平面直角坐标 x 表示地面点到赤道的距离, y 包括投影带号、西移值 500km 和地面点到每带中央子午线 (X 轴) 的距离 y 。即

$$Y = \text{带号 } N + 500\text{km} + y \tag{0-3-2}$$

例如, 某地面点的坐标 $x = 2\,344\,554\text{m}$, $y = 20\,487\,778\text{m}$ 。其中 x 表示该点在高斯平面上到赤道的距离为 $2\,344\,554\text{m}$, y 表示该点位于第 20 带内, 距该带中央子午线的距离是 $-12\,222\text{m}$ 。

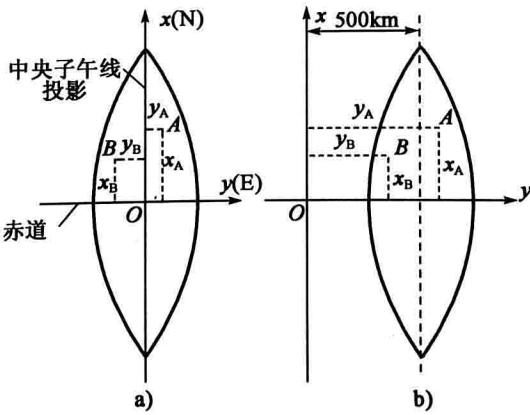


图 0-3-3 高斯平面直角坐标系

3.1.3 独立平面直角坐标系

当测量区域较小(如半径不大于 10km 的范围)时,可以把测区的曲面当作平面看待,用平面直角坐标来确定点位,如图 0-3-4a)所示。测量上采用的平面直角坐标与数学上的直角坐标相似,如以两条互相垂直的直线为坐标轴,两轴的垂点为坐标原点,规定南北方向为纵轴,并记为 X 轴, X 轴向北为正,向南为负;以东西为横轴,并记为 Y 轴, Y 轴向东为正,向西为负;坐标原点一般选在测区的西南角,使测区内各点的 x 、 y 坐标均为正值;平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号,如图 0-3-4b)所示。

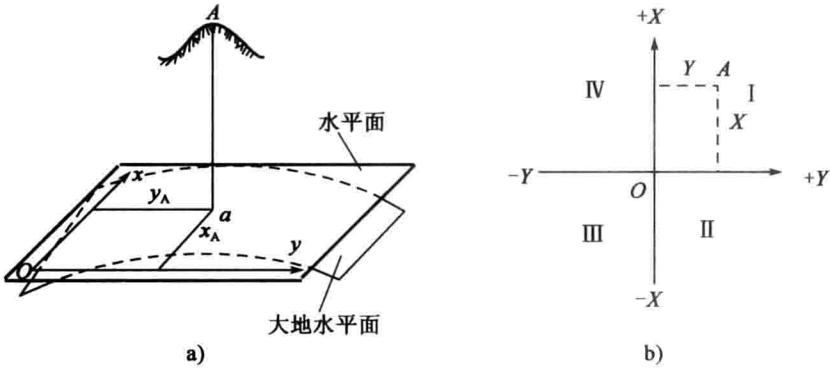


图 0-3-4 独立平面直角坐标系

3.2 确定地面点的高程系统

由于海水面受潮汐和风浪的影响,它的基准面是时刻变化的,是个动态的曲面,平均静止的海水面实际在大自然中是不存在的。为此,我国在青岛设立验潮站,长期观察和记录黄海海水面的高低变化,取其平均值作为我国的大地水准面的位置(其高程为零),并在青岛建立了水准原点。目前,我国采用“1985 国家高程基准”为基准,青岛水准原点的高程为 72.260m,全国各地的高程都以它为准进行测算。

如图 0-3-5 所示,地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,简称高程,也称海拔,用 H 表示。地面点 A 、 B 的绝对高程分别为 H_a 、 H_b 。如果在局部地区当引用绝对高程有困难时,也可任意假定一个水准面作为高程起算的基准面,这时地面上任意一点到假定

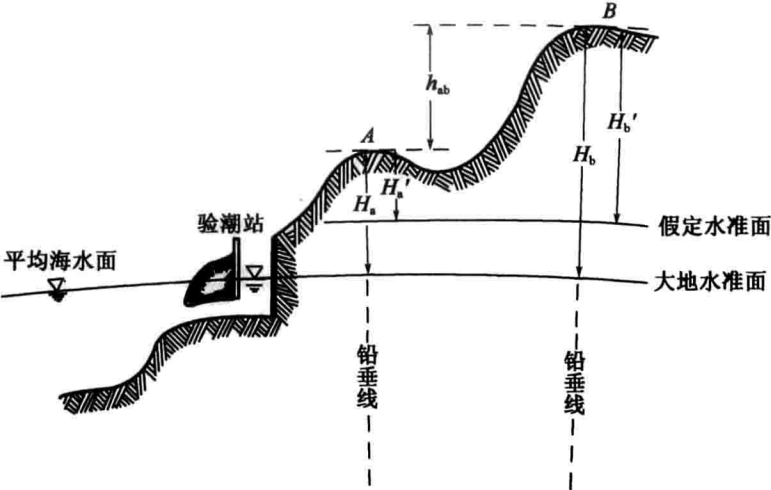


图 0-3-5 高程与高差

水准面的铅垂距离称为该点的假定高程,也称相对高程,分别以 H'_a 、 H'_b 表示。

地面点之间的高程之差称为高差,用 h 表示。如 A 、 B 两点高差 h_{ab} 为:

$$h_{ab} = H_b - H_a = H'_a - H'_b \quad (0-3-3)$$

根据地面点的坐标 (x, y) 和高程 H , 则该地面点的空间位置就可以确定了。

知识点 4 测量工作的内容、程序及基本原则

地球表面的各种高低起伏的形态,可以分为地物和地貌两大类。地面上有明显轮廓的,天然形成或人工建造的各种固定物体,如江河、湖泊、道路、桥梁、房屋和农田等称为地物。地面上自然形成的高低起伏形态,如高山、丘陵、平原、洼地等称为地貌,地貌的表示方法很多,大比例尺地形图中常用等高线表示。地物与地貌统称为地形。测量工作的任务就是通过使用测量仪器和工具,测定地形的位置并把它绘制在图纸上或通过测设把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来。

如图 0-4-1a) 所示,为了把图上的地物与地貌绘制在图 0-4-1b) 上,应按照“从整体到局部”、“先控制后碎部”的原则进行,即首先应在测区内选择若干个具有控制意义的点作为控制点,如图中 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 点等,用精密的仪器和方法测定其位置,作为全面测量的依据,

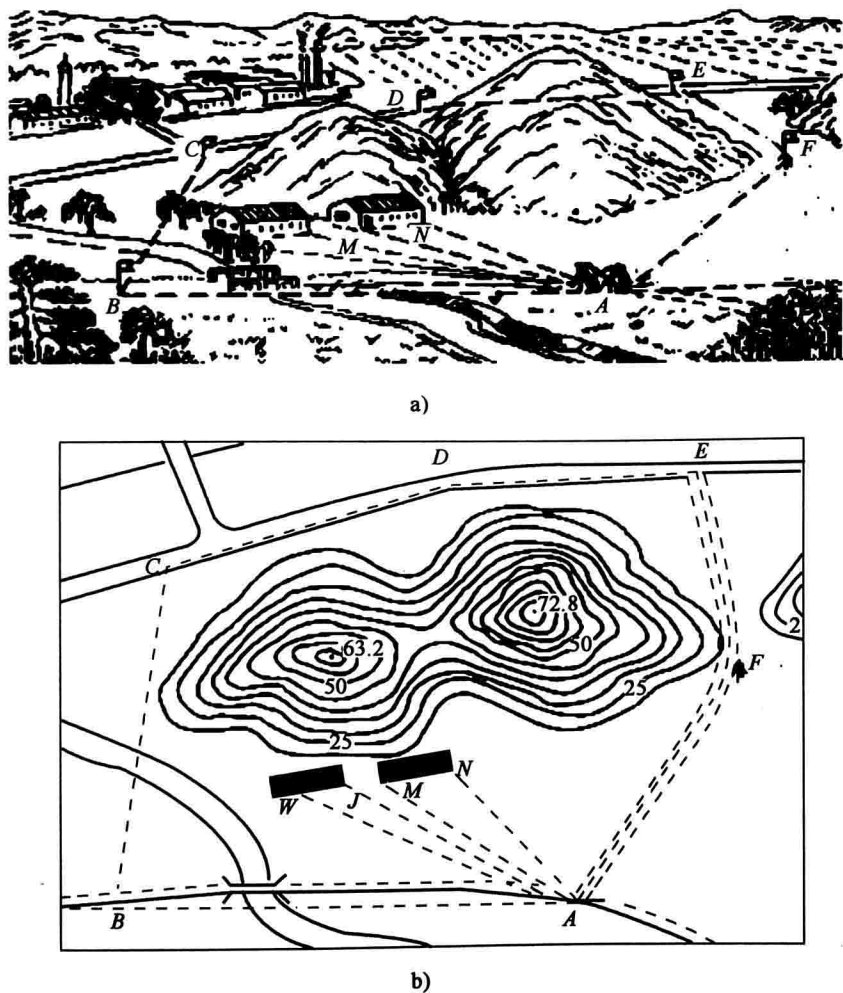


图 0-4-1 控制测量与碎部测量

这些控制点所组成的图形称为控制网。进行这部分的测量工作,称为控制测量。其次,再根据这些控制点测定周围碎部点的位置。例如在控制点 A 分别测定其周围的碎部点 M 、 N 、 J 、 W 等,就可确定建筑物的具体位置。同样也可测定其他控制点周围的碎部点,这样整个测区的形状和大小情况就可以在图纸上表示出来了。

从以上讨论可知,地物和地貌的形状和大小都是由一些特征点的位置所决定的。这些特征点又称碎部点。测量时,主要就是测定这些碎部点的平面位置和高程。当进行测量工作时,不论用何种方法,使用何种仪器,测量成果都会带有误差。为了防止测量误差的积累,提高测量精度,在测量工作中必须遵循的原则是:

- (1) 在测量布局上要“从整体到局部”;
- (2) 在测量精度上要“由高级到低级”;
- (3) 在测量程序上要“先控制后碎部”;
- (4) 前一步工作未做检核不进行下一步工作。

也就是说,在测量时,首先应在测区整体范围内选择一些有“控制”意义的点,把它们的坐标和高程精确地测定出来,然后再以这些控制点作为已知点来确定其他地面点位置的依据。采用上述原则和方法进行测量,可以有效控制误差的传递和积累,使整个测区的精度较为均匀和统一。

测量工作有内业与外业之分,利用测量仪器在野外测出控制点之间或控制点与碎部点之间的距离、角度、高差等工作称为测量外业。因此,测量的基本工作是高差测量、水平角测量、水平距离测量,水平角、距离和高差是确定地面点位的三个基本要素。将外业成果在室内进行整理计算和绘图等工作称为测量内业。

测量人员必须从思想上爱护仪器,养成正确使用仪器的良好习惯,要认真做好记录,要求正确、清洁、干净。各项成图要准确、整洁、清晰、美观。测量工作完工后,对内外业资料以及图纸、记录应及时整理存档,以便查阅。

知识点 5 测量误差的基本知识

5.1 测量误差及其产生的原因

在测量工作中,由于测量仪器的误差、观测者的观测误差以及外界条件的影响,以致对某量(如某一个角度、某一段距离或某两点间的高差等)进行多次观测,所得的各次观测结果总是存在着差异(如三角形内角之和不等于 180°)。这种差异,实质上表现为每次测量所得的观测值与该量的真值之间的差值,这种差值称为测量误差,常用 Δ 来表示,即:

$$\text{测量误差}(\Delta) = \text{真值} - \text{观测值}$$

测量误差产生的原因主要有以下三个方面。

(1) 仪器设备。测量工作是利用测量仪器进行的,而每一种测量仪器都具有一定的精确度,因此,会使测量结果受到一定影响。例如,钢尺的实际长度和名义长度总存在差异,由此所测的长度总存在尺长误差。再如,水准仪的视准轴不平行于水准管轴,也会使观测的高差产生 i 角误差。

(2) 观测者。由于观测者的感觉器官的鉴别能力存在一定的局限性,所以,对于仪器的对中、整平、瞄准、读数等操作都会产生误差。例如,在厘米分划的水准尺上,由观测者估读

毫米数,则 1mm 以下的估读误差是完全有可能产生的。另外,观测者的技术熟练程度、工作态度也会给观测成果带来不同程度的影响。

(3)外界环境。观测时所处的外界环境中的温度、风力、大气折光、湿度、气压等客观情况时刻在变化,也会使测量结果产生误差。例如,温度变化使钢尺产生伸缩,大气折光使望远镜的瞄准产生偏差等。

上述三方面的因素是引起观测误差的主要因素,因此把这三方面因素综合起来称为观测条件。观测条件的好坏与观测成果的质量有着密切的联系。在同一观测条件下的观测称为等精度观测;反之,称为不等精度观测。相应的观测值称为等精度观测值和不等精度观测值。本书讨论的内容均为等精度观测。

5.2 测量误差的分类及处理原则

测量误差按其性质可分为系统误差和偶然误差。

5.2.1 系统误差

在相同的观测条件下,对某量进行一系列的观测,若观测误差的符号及大小保持不变,或按一定的规律变化,这种误差称为系统误差。这种误差往往随着观测次数的增加而逐渐积累。如某钢尺的注记长度为 30m,经鉴定后,它的实际长度为 30.016m,即每量一个整尺,就比实际长度量小 0.016m,也就是每量一个整尺段就有 +0.016m 的系统误差。这种误差的数值和符号是固定的,误差的大小与距离成正比,若丈量了 5 个整尺段,则长度误差为 $5 \times (+0.016) = +0.080\text{m}$ 。若用此钢尺丈量结果为 167.213m,则实际长度为:

$$167.213 + \frac{167.213}{30} \times 0.016 = 167.213 + 0.089 = 167.302\text{m}$$

由此可见,系统误差对观测结果影响较大,因此必须采用各种方法加以消除或减少它的影响。比如用改正数计算公式对丈量结果进行改正。再如,角度测量时经纬仪的视准轴不垂直于横轴而产生的视准轴误差,水准尺刻划不精确所引起的读数误差,以及由于观测者照准目标时,总是习惯于偏向中央某一侧而使观测结果带有误差等都属于系统误差。

由于系统误差对测量结果的影响具有累积性,应尽可能消除或限制到最小程度,其常用的处理方法有以下几种。

(1)检校仪器。把系统误差降低到最小程度,如校正经纬仪竖盘指标差等。

(2)加改正数。在观测结果中加入系统误差改正数,如尺长改正等。

(3)采用适当的观测方法。使系统误差相互抵消或减弱,如测水平角时采用盘左、盘右观测,以消除经纬仪视准轴误差;在水准测量中,采用前、后视距离相等来消除水准仪视准轴不平行于水准管轴造成的误差等。

5.2.2 偶然误差

在相同观测条件下,对某量作一系列的观测,大量的观测数据表明,观测误差的大小及符号都表现出偶然性,即从单个误差来看,该误差的大小及符号没有规律,但从大量误差的总体来看,具有一定的统计规律,这类误差称为偶然误差或随机误差。例如,用经纬仪测角时,测角误差实际上是许多微小误差项的总和,而每项微小误差随着偶然因素的影响不断变化,因而测角误差也表现出偶然性。对同一角度的若干测回观测,其值不尽相同,观测结果

中不可避免地存在着偶然误差的影响。

偶然误差是不可避免的,在测量时为了提高观测精度,通常采用提高测量仪器等级、降低或消除外界影响、进行多余观测等方法来降低偶然误差的影响。

除上述两类误差外,还可能发生错误,也称粗差,如读错、记错等。这主要是由于测量人员粗心大意而引起的。一般粗差值大大超过系统误差或偶然误差,不属于误差范畴。粗差不仅影响测量成果的可靠性,甚至造成返工。因此,测量时必须遵守测量规范,要认真操作,随时检查,以杜绝错误的发生。

5.3 偶然误差的特性

偶然误差是由多种因素综合影响产生的,观测结果中不可避免地存在偶然误差,因而偶然误差是测量误差主要研究的对象。从大量的测量实践中发现,虽然偶然误差从表面上看没有任何规律性,但是在相同的观测条件下,当观测次数越多时,误差群的取值范围服从一定的统计规律。

例如,在相同的观测条件下,对 217 个三角形的内角进行独立观测,由于观测值带有偶然误差,故平面三角形三个内角观测值之和不等于真值 180° ,各个三角形内角和真误差 Δ_i 由下式算出:

$$\Delta_i = L_i - X \quad (0-5-1)$$

式中: L_i ——第 i 个三角形内角观测值之和;

X ——真值,为 180° 。

若取误差区间间隔 $d_\Delta = 3''$,将上述 217 个真误差按其正负号与数值大小排列,统计误差出现在各个区间内的个数为 k ,则“误差出现在某个区间内”这一事件的频率是 k/n (此处, $n = 217$),其偶然误差的统计结果见表 0-5-1。

偶然误差分布统计表 表 0-5-1

误差区间 d	正误差		负误差		合计	
	个数 k	频率 k/n	个数 k	频率 k/n	个数 k	频率 k/n
0" ~ 3"	30	0.138	29	0.134	59	0.272
3" ~ 6"	21	0.097	20	0.092	41	0.189
6" ~ 9"	15	0.069	18	0.083	33	0.152
9" ~ 12"	14	0.065	16	0.073	30	0.138
12" ~ 15"	12	0.055	10	0.046	22	0.101
15" ~ 18"	8	0.037	8	0.037	16	0.074
18" ~ 21"	5	0.023	6	0.028	11	0.051
21" ~ 24"	2	0.009	2	0.009	4	0.018
24" ~ 27"	1	0.005	0	0	1	0.005
27"以上	0	0	0	0	0	0
合计	108	0.498	109	0.502	217	1.000

从表 0-5-1 的统计中,可以归纳出偶然误差具有以下特性:

- (1) 在一定的观测条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定的限值,也称有界性。
- (2) 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会多,也称单峰性。