

29458

SONGDIAN XIANLU
CELIANG

送电线路 测量

唐云岩 编著

8

 中国电力出版社
www.cepp.com.cn

SONGDIAN XIANLI
CELIANG

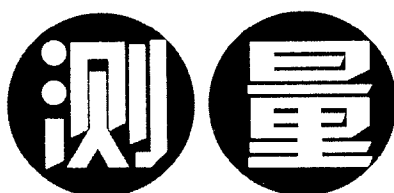
送电线路

规 则

—— 110kV —

中国电力出版社

送电线路



唐云岩 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是新编电力线路类技术工人培训教材，全书共八章。第一章至第四章概述测量的意义和作用，介绍光学经纬仪的使用、检验和校正方法，全站仪、全球定位系统的基本知识以及测量的基本原理；第五章介绍架空送电线路的定线、交叉跨越、平断面图、杆塔定位等设计测量的基本内容和要求；第六章至第八章较详细地介绍了送电线路施工复测分坑、基础操平找正以及弧垂观测的步骤和方法。内容叙述简明易懂，并列举计算和观测实例，符合工程实际需要。

本书可作为电力工业学校、电力培训中心输配电线路专业教材，也可供从事送电线路建设的技术工人学习使用，还可供技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

送电线路测量/唐云岩编著. —北京: 中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-2128-6

I. 送... II. 唐... III. 输电线路-工程施工-技术培训-教材 IV. TM752

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 010113 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

冶林印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 5 月第一版 2004 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.75 印张 194 千字

印数 0001—3000 册 定价 15.00 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)

随着精密加工技术的提高、激光技术和电子计算技术的发展,以及测绘科学的进步,给测量工作带来了突破传统测量模式的测量技术和方法。本书着重介绍了光学经纬仪的基本知识,并结合目前全站仪、全球定位系统在送电线路工程测量中的实践,对全站仪的光电测距、测角原理进行了叙述;全球定位系统的组成、定位原理、定位作业模式和误差源分析等基本知识作了概述。

全书内容分三大部分:第一部分主要概述测量的意义和作用,地面点的确定和表示方法,误差的来源与分类及其消减方法,光学经纬仪的使用、检验和校正,全站仪、全球定位系统的基本知识以及测距、测角的基本原理;第二部分介绍了送电线路设计测量的程序、定线测量、定位测量、断面测量以及交叉跨越测量的步骤、方法和要求;第三部分较详细地介绍了送电线路施工复测分坑、基础操平找正、杆塔检查、弧垂计算、弧垂观测和检查的步骤和方法。

全书由浙西电力教育培训中心马黎任老师审稿,在编写过程中,得到工程界有关技术人员的支持和帮助,在此,一并表示衷心感谢。

由于编者技术水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者指正。

编者

2003年10月



目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 测量学及其在送电线路工程建设中的作用	1
第二节 测量学的基本知识	2
第三节 地面点位置的确定和表示方法	3
第四节 用水平面代替水准面对水平距离和高程的影响	6
第五节 测量误差的来源、分类及其消减方法	7
第六节 数值的近似计算及规则	10
第七节 地形图的阅读和应用	11
第二章 测量仪器基本知识	14
第一节 光学经纬仪	14
第二节 全站仪基本知识	22
第三节 全球定位系统简介	28
第四节 使用仪器注意事项	31
第三章 距离丈量与直线定向	32
第一节 距离丈量	32
第二节 直线定向	35
第三节 直线的距离、方向与端点的直角坐标的关系	37
第四章 基本测量方法	39
第一节 角度测量原理	39
第二节 角度测量误差及注意事项	43
第三节 视距和高差测量	46
第五章 架空送电线路设计测量	49
第一节 线路路径方案的选择	49

第二节	选定线测量	50
第三节	三角形分析法测距	54
第四节	横基线法测距	54
第五节	交叉跨越测量	55
第六节	平断面测量	56
第七节	杆塔定位测量	59
第六章	线路施工复测和分坑测量	61
第一节	线路杆塔桩复测	61
第二节	杆塔基础坑的测量	65
第三节	拉线坑位测量和拉线长度的计算	74
第四节	施工基准面的测定	81
第七章	基础的操平找正及杆塔检查	86
第一节	基础坑检查	86
第二节	等高塔腿基础的操平找正	87
第三节	不等高塔腿基础的操平找正	96
第四节	基础检查	97
第五节	杆塔检查	100
第八章	架空线弧垂观测及检查	105
第一节	弧垂观测档的选择及弧垂值的计算	105
第二节	弧垂观测	109
第三节	弧垂检查	129

第一节 测量学及其在送电线路工程建设中的作用

一、测量学的研究对象

测量学是研究地球及其表面各种形态,如何测定地球表面(包括空中和地下)点的位置和高程,将地球表面的地物、地貌及其他信息绘制成图,以及确定地球的形状和大小的科学。

二、测量学的学科

测量学是随着人们生活和生产的需要而发展起来的学科。最初,人们利用最简单的工具(如绳子、尺)来丈量土地、建造房屋等。随着科学的发展和技术的进步,测量学的研究范围已十分广泛;按其研究范围和对象不同,产生了多门独立的学科。

大地测量学是研究地球表面广大区域内建立国家大地控制网,测定整个地球的形状、大小和重力场的理论、技术和方法的学科。它为其他测量工作提供基础数据和有关资料。

普通测量学也称地形测量学,它是研究地球表面较小区域内测绘地形图的基本理论、技术、方法和应用的学科。它是测量学的基础。

摄影测量学是研究如何利用摄影像片、遥感技术或辐射能技术来测定地球表面物体的形状、大小和空间位置的学科。早期的摄影测量的主要研究对象是地球表面,用于绘制地形图。由于20世纪60年代以来遥感、遥测技术,摄影方式以及信息处理和信息载体技术的发展,摄影测量广泛应用于其他科学领域。

工程测量学是研究城市建设、矿山、道路、电力、水利等工程建设在规划设计、施工和运行管理各个阶段所进行的各种测量工作的理论、技术、方法和应用的学科。

本书所讲的只是普通测量学和工程测量学中的部分内容,简称为“测量”。送电线路测量是为电力工程建设所进行的专门测量,属于工程测量学范畴。

三、测量学的任务

测量学的任务包括测定和测设两部分。

测定是指通过使用测量仪器,经过测量和计算得到所测点位的数据,把地球表面的地形按一定比例缩绘成地形图,供工程建设、经济建设、规划和科学研究使用。

测设是指把图纸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。

四、测量在送电线路工程建设中的作用

测量工作在送电线路工程建设中起着十分重要的作用。

(1) 在工程规划阶段要依据地形图确定线路的基本走向,得到线路长度、曲折系数等基本数据,用以编制投资框算,进行工程造价控制,论证规划设计的可行性。

(2) 在工程设计阶段要依据地形图和其他信息进行选择和确定线路路径方案, 实地对路径中心进行测定, 测量所经地带的地物、地貌, 并绘制成具有专业特点的送电线路平断面图, 为线路电气、杆塔结构设计、工程施工及运行维护提供科学依据。

(3) 在施工阶段, 要依据上述平断面图, 对杆塔位置进行复核和定位, 要依据杆塔中心桩位准确地测设杆塔基础位置, 对架空线的弧垂要精确测量。

(4) 施工完毕后, 对基础、杆塔、架空线弧垂的质量须进行检测, 确保施工质量符合设计要求, 以保证送电线路的运行安全。

线路路径纵断面、横断面和路径区域带状平面内的地物、地貌测定以及绘制平断面图是由专业设计人员负责完成的, 称为设计测量。而根据设计图纸进行实地定位的测量称为施工测量, 常称为复测分坑。设计测量线路路径中所使用的测量方法, 在施工测量中都可借鉴利用。因此, 从事线路施工的工程技术人员, 应具备测量学一些基本知识和技能。把本书作为送电线路工程施工专业的一门必修专业技术课程, 是非常必要的。

测量学是一门实践性很强的应用科学。通过本书的学习, 达到掌握送电线路测量的基本理论、基本知识和基本技能, 能正确使用测量仪器和工具, 在理解基础概念和了解各种测量方法的基础上, 加强实践操作过程, 以达到熟悉掌握的目的, 为工程技术服务。

第二节 测量学的基本知识

一、地球的形状和大小的概念

测量工作一般都在地球表面上进行的, 其实质就是要确定地面点的位置。点的位置的确定需要建立一个坐标系, 这与地球的形状和大小有关, 因此, 有必要首先对地球的形状和大小作一大概了解。

地球表面错综复杂, 有高山、平原、海洋等高低起伏的地貌。地球上最高的珠穆朗玛峰, 高出海平面 8.848km, 海洋最深处是太平洋西部的马里亚纳海沟, 深达 11.034km, 而地球半径约 6371km。因此, 地面上的这点起伏相对于地球半径来说是相当微小的, 可以忽略不计。同时, 就整个地球而言, 地球表面上海洋的面积占 79%, 而陆地仅占 21%, 所以海水面向陆地延伸所包围的形体大致上表示了地球的形状。可以把地球想像成一个由静止状态的海水面向陆地延伸所包围的形体, 这个静止状态海水面称为水准面。水准面的特点是水准面处处与重力方向(铅垂线)正交。由于潮汐潮落, 海水面有无数个, 为此人们进行长期观察, 计算出平均高度的海水面, 测量上把通过平均海水面的水准面叫做大地水准面, 作为确定高程的基准面。

大地水准面和铅垂线是测量工作所依据的面和线。

大地水准面所包围的形体叫大地体。由于地球表面的起伏不平和质量分布的不均匀性, 使得铅垂线方向具有不规则的变化, 所以大地水准面实际上是一略有起伏的不规则的曲面, 这样不便于测量计算。为此, 人们选择一个可以用数学公式表示又很接近大地水准面的参考椭球面来代替它, 以它所围成的形体来代表地球的形状和大小, 这个形体称为

旋转椭球面，如图 1-1 所示，它是由椭圆 NWSE 绕轴 NS 旋转而成的形体。其形状和大小取决于长半轴 a （赤道半径）、短半轴 b （旋转轴半径）和扁率 α 。

我国目前采用 1975 年第 16 届国际大地测量与地球物理协会联合推荐的参考椭球数据是： $a = 6378140\text{m}$ ， $\alpha = \frac{a-b}{a} = 1:298.257$ 。

由于地球扁率很小，在普通测量计算时可以将地球看成圆球体，其平均半径约为 6371km。

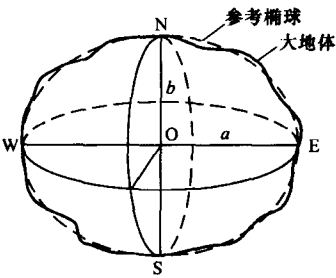


图 1-1 参考椭球与大地体

二、我国大地坐标系

为了确定地面上点的位置，各国根据本国领土的实际情况，采用与大地体接近的椭球体，选择地面上一点，称为大地基准点，或称大地原点。确定它在椭球面上的位置，作为推算大地坐标的起始点。

我国曾于 1954 年在北京设立大地原点，称“1954 年北京坐标系”，该坐标系作为临时过渡性的坐标系。1980 年在陕西省泾阳县永乐镇境内选择并设置了我国大地原点，建立全国统一的坐标系，称“1980 年国家大地坐标系”。

第三节 地面点位置的确定和表示方法

地球表面的形状复杂多样，在测量中将地面上复杂的形态分为地物和地貌两类。地面上固定的河流、湖泊、房屋和道路等称为地物；呈现各种高低起伏的状态称为地貌。地物和地貌的总称为地形。尽管地形的变化是多种多样十分复杂的，但是各种地形都是由一系列连续不断的点所组成，如图 1-2 所示。要把它反映到地形图上，是通过测定地面上的地物和地貌有特征意义点的相互位置来实现，测定出来的点并按比例绘制到图纸上，就可以获得地形图。同样，施工放样中是通过将设计图纸上建筑物、构筑物轮廓的特征点测设到实地来完成的。

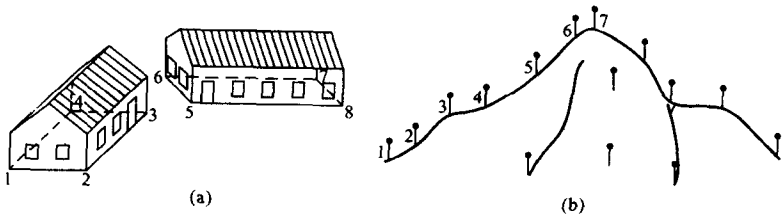


图 1-2 地形特征点
(a) 地物特征点；(b) 地貌特征点

一、地面点位置的表示方法

在测量工作中，地面上点的位置是用三维坐标，即该点在参考椭球面上投影位置（坐

标)和点到大地水准面的铅垂距离(高程)表示的。

(一) 地理坐标

采用经度和纬度来表示地面上点的位置的,称为地理坐标。

根据国际天文学会规定,通过英国格林威治天文台的子午线称为起始子午线(首子午线),又称经线,从起始子午线起,向东 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 称东经,向西 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 称西经。赤道以北 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 称北纬,赤道以南 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 称南纬。如浙江省嘉兴市的地理坐标为东经 $120^{\circ}44'$,北纬 $30^{\circ}47'$ 。经纬度是用天文测量方法测定的。

(二) 平面直角坐标

当小范围地区测量时(测区半径不大于10km的范围内),可将该部分的地球表面近似地看成水平面,把测区内的地面点直接沿铅垂线方向投影到水平面上。在一般的工程中用平面直角坐标系来确定地面上点的位置是很方便的,如电力工程中变电所的所区平面地形测量。

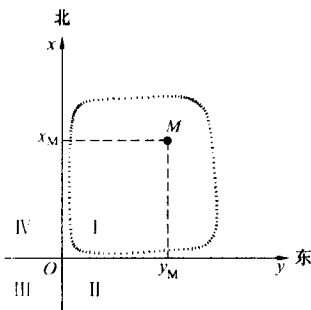


图 1-3 平面直角坐标

图 1-3 所示,以相互垂直的纵横轴建立平面直角坐标系,平面直角坐标系规定南北方向为纵轴(x 轴),向北为正。东西方向为横轴(y 轴),向东为正。坐标轴将平面分为四个象限,其顺序以顺时针方向排列。为使测区内各点的坐标值(x_M , y_M)均为正值,即在第 I 象限内,坐标原点一般设在测区西南角以外。任意一点的平面位置都可以用其纵横坐标的 x 、 y 表示,如果坐标原点任意定义的,则该平面直角坐标系为独立的平面直角坐标系。

测量上使用的平面直角坐标系与数学上的不同,这是因为测量中规定所有的直线都是以纵坐标轴北端顺时针方向量度的,而数学上的平面直角坐标系的角值从横轴正方向起按逆时针方向计值,只要将 x 和 y 轴互换后,数学上的三角函数公式就可以直接用于测量计算中。

(三) 高斯平面直角坐标

地理坐标是将整个地球作为一个坐标系统,它的测量计算都相当复杂。当测区范围较大时,不能把测区的球面视为水平面,也就不能采用平面直角坐标系,要把球面上的点位投影并绘到平面上,就必须采用另外一种方法即高斯投影来实现。

高斯平面直角坐标系也称高斯·克里格坐标系,它是从起始经度线(通过英国格林尼治天文台)起,采用分带(经差 6° 或 3° 划分一带)投影的方法,将每一带展开成平面,构成独立坐标系。每带的中央子午线(经线)为纵轴 x ,地球的赤道线为横轴 y ,每带中央经线与赤道的交点为坐标原点。原点以北为正,以南为负。我国地处北半球,纵坐标为正值。而横坐标是以带中央经线算起,向东为正,向西为负。为使坐标横轴不出现负值,国家统一规定将每带的坐标原点西移 500km,如图 1-4 所示。同时为了指示投影带是哪一带,还规定在横坐标值前加上带号,如图 1-4 中的 M 点坐标 $x_M = 543721.73\text{m}$, $y_M = \boxed{20}732478.55\text{m}$ 。 y_M 坐标值前面方框中的 20,表示第 20 带。

二、地面点的高程

测量工作的最终目的是确定地面点的位置，包括它的平面位置和高程。要确定点的高程，首先要确定一个投影基准面。大地水准面是高程的投影基准面。目前我国采用“1985年国家高程基准”，它是利用青岛验潮站 1953~1979 年的观测成果推算的黄海平均海水面作为高程零点，位于青岛的我国水准原点的基准起算高程为 72.2604m。这是我国统一规定的大地水准面，并以它作为高程的起算面，称为黄海高程系。

(一) 绝对高程

地面点沿铅垂线方向到大地水准面的距离称为绝对高程，简称高程或海拔，一般用 H 表示，如图 1-5 中 H_a 和 H_b 分别为地面点 A 和 B 的高程。

(二) 相对高程

在测量中，当测区范围内没有已知的水准点时，可任意假设一个水准面作为高程的起算面，地面点到这个假设水准面的铅垂距离，称为相对高程或称假定高程，如图 1-5 中 H'_a 和 H'_b 分别为地面点 A 和 B 的相对高程。

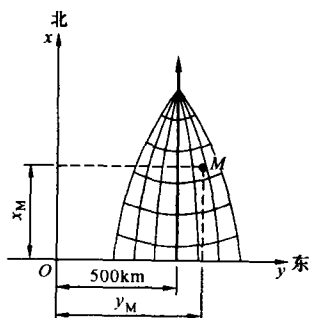


图 1-4 高斯平面直角坐标

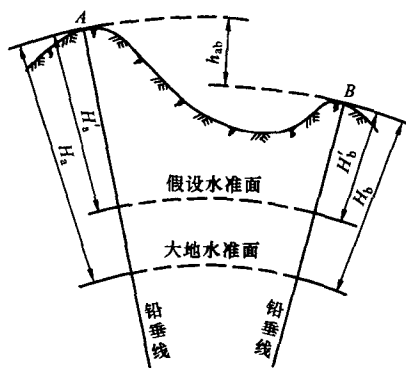


图 1-5 绝对高程和相对高程。

(三) 高差

地面上两点的绝对高程或相对高程的差值称为高差，用 h 表示。图 1-5 中 A 和 B 两点之间的高差为

$$h_{ab} = H_a - H_b = H'_a - H'_b \quad (1-1)$$

三、地面点位确定的基本要素和测量工作的基本原则

(一) 地面点位确定的基本要素

如图 1-6 中，设 A 、 B 、 C 为地面上的三点，投影到水平面上的位置分别为 a 、 b 和 c 。为确定 A 、 B 、 C 三地面点的位置进行下述测

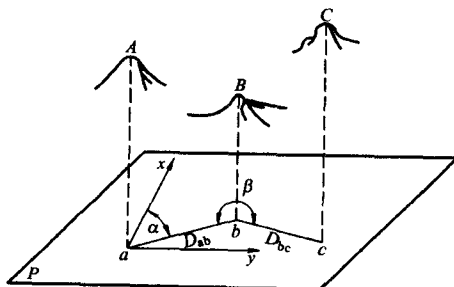


图 1-6 地面点的相对位置

量工作：如果已知 A 点的位置，来确定 B 点的位置，首先测量 A 点到 B 点在投影面上的水平距离 D_{ab} ，然后测量通过 a 点的指北方向与 ab 直线的夹角 α （水平角）， α 角称为方位角，有了水平距离 D_{ab} 和水平角 α ， B 点在图上的位置就确定了。同样，测量 B 点到 C 点在投影面上的水平距离 D_{bc} 以及 ab 与 bc 两直线段之间的水平夹角 β ， C 点的位置即可确定。最后还要测量出 A 、 B 、 C 三点之间的高差 h_{ab} 、 h_{bc} 。如果已知三点中任一点的高程，则其他两点的高程也可以通过计算求得。

由以上示例可知，水平距离、水平角和高程是确定地面点之间的相互位置关系的三个基本要素，所以测量水平距离、测量水平角及高差是测量的基本工作。

（二）测量工作的基本原则

测量工作由于各种因素的影响，不可避免地产生误差，一点接一点连续测量，测量点越多，误差累积越大。为了防止误差的累积和传递，保证所测点位的精度，测量工作必须按照一定的规则进行。在送电线路测量中，由于线路较长，不可能在一个测站点上完成，往往需要连续逐个测站施测。用较高精度的测量方法进行定线测量（即控制测量）测出各控制点的平面位置和高程，这些控制点就可以控制误差传递的范围；用稍低精度的测量方法进行定位测量（即碎部测量）测出各杆塔定位点、交叉跨越、断面点的点位，根据这些控制点和碎部点的点位按一定比例将整条线路绘制成平断面图。

由上述可知，在工作步骤上遵循“先控制后碎部”的原则，即先进行定线测量，后进行定位测量。测量工作中还必须坚持“边测边校”的原则，只有这样才能保证测量成果的质量和较高的工作效率。

第四节 用水平面代替水准面对水平距离和高程的影响

如前所述，在普通测量学范围内把大地近似看作圆球体。将地面上的点投影到圆球面上，然后绘制到平面的图纸上是非常复杂的。在实际测量中，当测区面积不大时，可把球面看作平面，就是用水平面来代替水准面，使计算和绘图工作大为简化。以下来讨论它们之间的差异。

一、水准面曲率对水平距离的影响

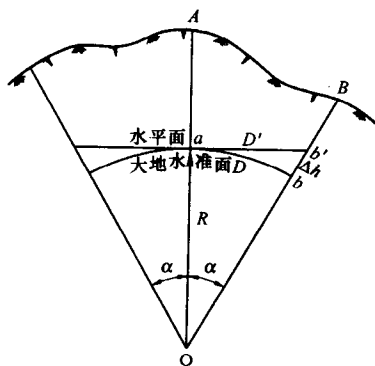


图 1-7 水平面与水准面的关系

如图 1-7 所示，地面上 A 、 B 两点在水准面上的投影分别为 a 、 b ，投影距离为弧长 $\widehat{ab} = D$ ；在水平面上的投影分别为 a 、 b' ，投影距离为 $ab' = D'$ 。地球半径 R ，弧长 D 所对圆心角 α ，用数学方法可推导出用水平面代替水准面对水平距离的影响值 ΔD 按式 (1-2)、式 (1-3) 计算。取 $R = 6371\text{km}$ ，当距离 $D = 10\text{km}$ 时，对水平值代替弧长产生的误差仅 8mm ，由此可见，在送电线路工程测量中，水准面曲率对水平距离的影响可以忽略。

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

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

二、水准面曲率对高程的影响

由图 1-7 可知, a 、 b 两点在同一水准面上, 所以它们的高程相等, 若以水平面代替水准面, 则产生 b 点到 b' 点的高差误差为 Δh

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-4)$$

由式 (1-4) 可知, 高程误差 Δh 与距离的平方成正比。当距离 $D = 10\text{km}$ 时, Δh 为 7.848m , 因此, 当进行高程测量时用水平面代替水准面对高程影响不能忽视。

第五节 测量误差的来源、分类及其消减方法



结合送电线路测量专业, 本节只介绍测量误差的来源和减小误差的方法, 目的在于使读者在测量实践中正确地、合理地处理测量数据, 为电气和结构设计计算提供可靠的基础数据。

一、测量误差的定义

无论使用多么精密的仪器, 观测人员多么仔细, 当对某一个物理量或者几何量进行多次重复测量时总有差异。例如, 观测水平角的两个半测回测得的角值不完全相等, 多次测量地面上两点间的距离也不完全相同。这些差异说明了观测中存在着误差, 这些误差称为测量误差。

任何一个观测对象的量, 在客观上总存在一个代表其真正大小的数值, 这个数值称为观测量的真值, 用 X 表示。对某量观测 n 次, 观测值为 L_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 则真误差 Δ_i 定义如下

$$\Delta_i = L_i - X (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1-5)$$

二、测量误差的来源

产生测量误差的主要原因有三个因素。

(一) 仪器误差

由于测量仪器精度上的限制和构造不可能十分完善的缺陷, 虽然事前已校正了仪器, 但尚有剩余误差未能完全消除。

(二) 人的因素

观测者操作仪器的熟练程度和感觉器官的鉴别能力有一定的局限性, 在仪器的安置、照准、读数等观测过程中使观测值产生误差。

(三) 外界环境的影响

观测时所处的外界条件的变化, 如温度高低、湿度大小、风力强弱以及大气折光的



同等因素的影响而产生的误差。

仪器、人和外界环境这三个方面是产生误差的主要因素，称为观测条件。显然观测条件的优劣与观测成果质量的高低密切相关。

三、测量误差的分类

按测量误差的性质可分为两类。

(一) 系统误差

在相同的观测条件下，对某量进行一系列的观测，若出现误差的大小或符号表现出一定的规律性，这种误差称为系统误差。

系统误差的产生可能有多种原因，主要是由于使用的仪器不够完善及外界条件引起的。例如：使用的经纬仪存在视准轴误差、横轴误差或水平度盘偏心差，在送电线路测量中如都采用正镜观测前视方向，测量线路越长，误差就越大，最后线路就偏离设计路径，但可以采取正倒镜观测的方法来减小或消除它的影响。系统误差具有累积性质，而且一般总是可以预见的，可按其出现的规律采取相应的措施，尽可能全部或部分地消除系统误差的影响。

(二) 偶然误差

在相同的观测条件下，对某量进行一系列的观测，如果出现误差的大小或符号表现出偶然性，即误差的大小不等，符号不同，这种误差称为偶然误差。

偶然误差无法确知产生的具体原因。例如：用经纬仪对准花杆时，十字丝不一定在花杆中心，可能偏左一些，也可能偏右一些，而且每次偏离中心线的大小也不一样。又如，角度测量估读秒数时，每次估读数也不完全相同。这些都属于偶然性，而且不可避免，也不能完全消除，只能采用一些措施来削弱它的影响。

偶然误差的特性：

- (1) 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。
- (2) 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的概率大，或者说，小误差出现的机会多。
- (3) 绝对值相等的正误差与负误差出现的次数大致相等。
- (4) 当观测次数无限多时，偶然误差的算术平均值趋近于零。

在送电线路测量中，除了上述系统误差和偶然误差外，还有在测量作业中产生的错误，如由于观测者粗心大意、数据的读错，记录计算人员的记错、计算错误等。这些错误可以通过重复观测发现并予以消除。在测量成果中错误是不允许存在的。

四、测量误差的消减方法

(一) 消减系统误差的方法

- (1) 对使用的仪器进行严格的检验校正，保持仪器良好状态，把系统误差降低到最低程度。
- (2) 对于有些误差求出其误差大小值，然后将观测值加以改正的方法消除它的影响。
- (3) 采用对称观测方法可消除或减小系统误差，如正倒镜观测法能消除角度观测值的系统误差影响。

(二) 偶然误差的消减方法

(1) 采用先进仪器或提高仪器精度。

(2) 由于观测结果中不可避免地存在偶然误差,所以在实际工作中,增加观测值的个数或次数,这种方法称为多余观测。例如,对某些桩位采用前视、后视观测,以减弱偶然误差对测量成果的影响。

五、衡量精度的标准

对某一个量,在相同观测条件下进行多次观测,为了评定观测值的精确程度,必须有一个衡量精度的标准。下面介绍常用的几种精度标准。

(一) 中误差

在相同观测条件下,一组观测值真误差平方和的平均值的平方根作为评定观测值精度的标准,称为中误差,用 m 表示,计算如下

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \cdots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (1-6)$$

式中 Δ ——观测值的真误差;

n ——观测次数。

【例 1-1】 A、B 两组在相同观测条件下,对同一量测量 5 次,各观测值的真误差(单位: mm) 如下:

A 组: -2, +1, +5, -3, +6;

B 组: +4, +3, -2, +6, +4

$$m_A = \pm \sqrt{\frac{(4 + 1 + 25 + 9 + 36)}{5}} = \pm 3.87$$

$$m_B = \pm \sqrt{\frac{(16 + 9 + 4 + 36 + 16)}{5}} = \pm 4.02$$

从以上可以看出, A 组观测值的真误差分布比较集中,而 B 组观测值的真误差分布较为离散, A 组观测值比 B 组观测值的精度高。因此,测量工作中采用中误差作为衡量精度的标准。

(二) 相对误差

中误差只是反映误差分布的离散程度。在测量工作中,有时以中误差还不能完全表达观测成果的精度。例如,分别测量了 5km 和 10km 两段线路的长度,其中误差均为 $\pm 1.0\text{mm}$,虽然两者中误差相同,但是决不能说明两者测量精度相同。因此,引入另一种衡量精度的方法,叫做相对误差或相对中误差的概念。

观测值绝对误差的绝对值与其观测值的比值称为相对误差,相对误差是个无名数,并写成分子为 1 的形式,即 $1/T$ (T 为相对误差的分母)。上述两段线路相对误差分别为 $1/5$ 和 $1/10$,后者精度明显高于前者。

(三) 容许误差

在工程测量中,由于各种因素的存在,出现偶然误差是难免的。根据偶然误差的特

性, 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。误差理论分析和实践证明: 绝对值大于 2 倍中误差的偶然误差出现的机会为 5%, 大于 3 倍中误差的偶然误差出现的机会仅为 0.3%。由此认为: 在有限的观测次数中, 大于 3 倍中误差的偶然误差出现的机会非常小。因此, 通常以 2~3 倍中误差作为偶然误差的极限值, 称为容许误差或限差, 用 Δ_R 表示, 即 $\Delta_R = 3m$ 。

第六节 数值的近似计算及规则

在测量计算工作中, 观测值除了外业观测产生的误差外, 在计算时也会因数字的取舍而产生误差。这就要求既不影响数据的精度, 又要减少不必要的计算的一些规则。

一、有效数字

一个近似数的最大凑整误差不超过该数最末位的 0.5 个单位, 则从这个数字起一直到该数字最左面的第一个不为零的数字为止, 称为该数的有效数字。有效数字是用位数表示的, 例如:

185.23	有 5 位有效数字
0.00185	有 3 位有效数字
1.18500	有 6 位有效数字

二、凑整规则

为了减少凑整误差的积累, 在测量成果的计算中运用凑整规则:

(1) 若数值中被舍去部分的数值大于保留的末位的 0.5, 则在位加 1。如某数为 1.826m, 需取到厘米 (即保留两位小数), 则该数应凑整为 1.83m。

(2) 若数值中被舍去部分的数值小于保留的末位的 0.5, 则末位不变。如某数为 1.824m, 需取到厘米 (即保留两位小数), 则该数应凑整为 1.82m。

(3) 若数值中被舍去部分的数值正好等于保留的末位的 0.5, 则应将末位凑整成偶数。如某数为 1.835m, 即保留两位小数, 则凑整为 1.84m。又如某数为 1.825m, 即保留两位小数时, 则凑整为 1.82m。

从上述可知, 数字经凑整后, 带有凑整误差, 其最大凑整误差为 $\pm 0.5 \times 10^n$, n 为小数位数, 如凑整后的数字 1.83, 则它的最大凑整误差 $\pm 0.5 \times 10^{-2} = \pm 0.005$, 即为小数点后的第二位的 0.5。

三、运算中合理取位

(一) 加、减的合理取位

当有几个不同小数位的数字相加, 按小数最少的多保留一位。例如 -0.3、10.24、6.223, 其和为 15.863, 凑整为 15.86。减法与加法相同。

(二) 乘、除的合理取位

当两数相乘, 积的有效数字的个数应与乘因子中有效数字个数最少的相同。例如 $836.12 \times 1.75 = 1463.21$, 凑整为 $1460 = 1.46 \times 10^3$ 。除法与乘法相同。

