

水力发电
技术知识
丛书
中国水力发电工程学会主编

TV72
3051

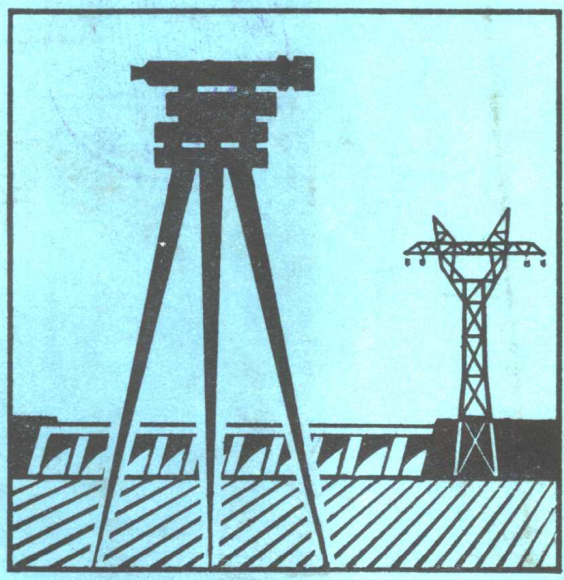
961332

电
出版社

第五分册

水电工程测量

宋盛玉



水利电力出版社

TV72
3051

961332

TV72
3051

水力发电技术知识丛书

中国水力发电工程学会主编

第五分册

水电工程测量

宋盛玉

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

全书共六章，主要介绍测量的基本知识和主要仪器、控制测量、地形图的测绘和应用、水下地形与河道纵、横断面测量、线路和渠系测量、水库淹没线测量、地质勘察测量、水工建筑物的施工测量和变形观测。

本书读者对象为从事水力发电工程建设的测量人员及水电系统广大干部、职工。

水力发电技术知识丛书

第五分册

水电工程测量

宋 盛 玉

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4.875印张 104千字

1992年12月第一版 1992年12月北京第一次印刷

印数 0001— 2730 册

ISBN 7-120-01672-5/TV·609

定价3.80元

前 言

本书是根据水力发电工程学会(80)电水学秘字第九号文关于编写《水力发电技术知识》丛书的决定而编写的。

全书分六章。主要介绍了水电工程测量方面的基本知识、基本理论、主要测量仪器工具及操作和使用的简要方法;还结合水电工程测量的特点,分别介绍了地形图的应用、施工放样、变形观测的基本方法。

在编写的过程中,赵文昌、裴文成等同志提出了宝贵意见,在此致谢。

望读者对本书存在的缺点和错误提出批评指正。

编者

1991年10月

目 录

关于编写《水力发电技术知识丛书》的说明

前言

第一章 测量的基本知识和主要仪器	11
第一节 绪论	1
第二节 水准仪及水准测量	13
第三节 经纬仪及角度测量	24
第四节 距离测量及方法	35
第五节 摄影测量	47
第二章 控制测量	61
第一节 控制网的建立	61
第二节 导线测量	66
第三节 小三角测量	70
第四节 高程控制测量	73
第三章 地形图的测绘和应用	78
第一节 地形图概述	78
第二节 地物和地貌的表示方法	82
第三节 测绘地形图的准备工作	90
第四节 平板仪测量的原理及仪器	92
第五节 地形图测绘的方法	96
第六节 水下地形测量	99
第七节 地形图的应用	101
第四章 线路和剖面测量	110
第一节 线路和堤线测量	110
第二节 河道纵、横断面测量	113
第三节 坝区剖面测量	118

第四节	水库淹没线测量	119
第五章	水工建筑物的施工测量和变形观测	122
第一节	概述	122
第二节	施工放样的基本方法	123
第三节	水工建筑物的变形观测	128
第六章	水电工程其它测量	141
第一节	地质勘察测量	141
第二节	水文勘测中的测量	143
第三节	监理和征地测量	144
主要参考文献	145

第一章 测量的基本知识和主要仪器

第一节 绪 论

测量学是研究测定地球和其它天体的形状、大小、重力场以及地球表面自然形态、人工设施的几何形态与分布位置，并编制各种地图的一门学科。按照测量科学的发展和担负任务的不同，测量学基本上可分：大地测量学、地形测量学、摄影测量学、工程测量学和海道测量学等。由于人类社会的需要，近代科学技术的发展，测量内容由常规的大地测量发展到人造卫星大地测量，由航空摄影测量发展到遥感技术的应用；测量对象由地球表面扩展到空间星球，由静态发展到动态；测量仪器已广泛趋向电子化和自动化。

测量学的主要任务是：测定整个地球或地球表面局部区域的形状和大小；把图纸上设计好的工程建筑物位置，在地面上确定下来，以便施工。

进行任何一项水电工程建设，都需要通过测量获得有关地区的测绘资料。在规划初设阶段，首先应收集和测绘拟建水电站地区和水库区的全部测绘资料，作为水文计算、地质勘探、经济调查等规划设计的依据。在技术设计阶段，又必须测绘坝址及其它建筑物更详尽的地形图和各种剖面资料。在施工中需进行施工放样测量，把设计在图纸上的建筑物位置，通过测量方法，在相应的地面上标定出来，并开始进行变形观测。工程竣工时，为了检查工程质量是否符合设计要求，需进行竣工测量。在工程运行阶段，需继续进行变形观

测，并进行库区淤积测量等，以确保工程安全。由此可见，在水电工程建设中，测量工作贯穿于规划、设计、施工和运行各阶段。

一、测量工作的基本概念

在测量中，地面上的一些物体，如房屋、道路、河流等等，称为地物。地面的高低起伏，如平原、山地、洼地等等，称为地形。地物和地形的变化是多种多样的、复杂的。需要根据不同的情况，采用不同的仪器和方法进行测定。

例如要确定一栋房子的平面位置，只要测定房屋轮廓线转折点的位置，这栋房子的位置就确定了；一条河流的边线虽然很不规则，但弯曲部分仍可以看成是由许多直线组成，只要测定这些直线转折点的位置，这条河流的平面位置也就确定了。地形变化的情况可以用地面坡度变化点所组成的线段来表示。因为各线段内的坡度是均匀的，所以只要把坡度变化点的高低和平面位置确定后，地形变化的基本情况也就反映出来了。这些转折点和坡度变化点，称为地物或地形的特征点。即使是变化复杂的地物、地形，它们的位置都是由一些特征点的位置所决定的。因此，点位的关系就是测量上要研究的基本关系。点位的测定，就是测量的主要工作。所以说，无论是地形图的测绘，还是建筑物的测设，都可以归结为测定点位的问题。

点位的测定不论用什么方法和仪器，在测量成果中都会存在有误差。如测量时从一点出发，逐点施测，测量误差就会积累起来，最后达到不能容许的程度，所以测量工作要按照布局上由整体到局部；在工作方法上先控制后碎部；在精度上由高级到低级的原则进行。

需要进行测量的区域称为测区。在测区内先应在国家或

各部门布设的控制点的基础上，选择一定数量的控制性点子，用较精确的方法测定其平面位置和高程，作为测区首级控制。为了满足地形测图的需要，还必须加密一次或两次精度较低的、供地形测量使用的控制点，这些点称为图根控制点（简称图根点）。在中小型水利工程建设中，也可以布设成独立控制网，并进行图根点的加密。如图1-1中，A、B、C、D、E为国家或有关部门所设控制点，I、II、III、IV为本测区首级控制点，1、2、3……为图根点。

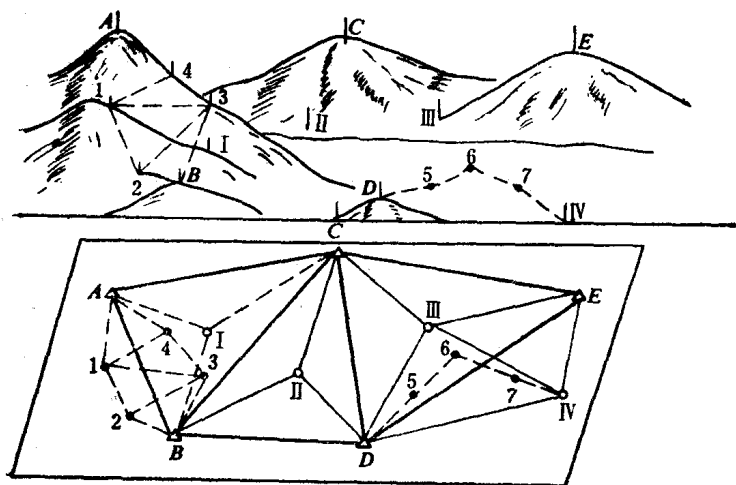


图 1-1

在地形测绘前，按测区大小，纵、横坐标线和图幅分幅的要求，进行图幅分幅。地形图分幅方法一般有两种：一是按经纬线划分，组成梯形图幅，如1:1000000、1:100000、1:10000比例尺地形图采用梯形图幅；二是按平面直角坐标

线来划分,组成正方形图幅,如1:5000、1:2000、1:1000比例尺图一般采用正方形图幅的分幅。然后将各级控制点展绘在各幅图上,根据这些控制点,使用一定的仪器和工具进行地形测绘,把地面上的地物和地貌用符号或数据在图纸上表现出来。最后经过图幅的拼接、检查验收和清绘制图,提交设计和有关专业使用。

二、地球形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的,所以对地球形状和大小应有一个了解。我们看到的地球表面是不平坦的和不规则的,在地球表面上有高山、深谷、丘陵、平原、江河、湖泊和海洋等起伏状态,这个表面称为地球的自然表面。在地球表面上,海洋面积约占71%,陆地面积约占29%。陆地上最高的山峰为8848.13m,最深的海洋约为11000m,这些起伏的变化和地球的概略半径6371km相比较是极其微小的。从这一事实出发,我们可以假设把静止状态的海水平面延伸穿过大陆和岛屿后所围成的一闭合曲面作为地球的一般形状,这个闭合曲面的表面称为水准面。水准面有无数个,它的特性是处处与铅垂线(重力方向)相垂直。其中通过平均海水面的一个称为大地水准面,并以这个面作为决定地面高程的起算面。平均海水面的位置,是由设在海边的验潮站根据长期测定潮汐运动的结果计算出来的。

大地水准面比地球表面光滑得多,但由于地球内部质量分布不均匀而引起铅垂方向的变化,以致它还是一个很复杂的曲面。在测量上,我们选用与大地水准面极为相似而且可以用数学公式表示的图形来代替地球总的形状,以便简化测量的计算工作。研究证明,大地水准面是接近于一个绕其自转轴(短轴)旋转的旋转椭球体,称为参考椭球体,如图

1-2所示。

大地水准面和参考椭球体面不是完全一致的，有的地方大地水准面在参考椭球体面的上面，有的地方又在它的下面，其差值在±150m以内。

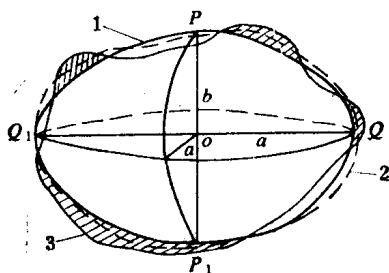


图 1-2

1—参考椭球体；2—大地水准面；3—地球表面

参考椭球体的形状和大小决定于长半径 a 、短半径 b 和扁率 α 。我国1954年北京坐标系所采用的参考椭球是1940年克拉索夫斯基椭球体，其参数为

$$a = 6378245\text{m}$$

$$b = 6356863\text{m}$$

$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298.3}$$

在水电工程测量工作中，所讨论的是地球表面上一个较小区域的测绘工作，因此在有些计算工作中，近似地把地球的形状当作圆球体来看待，其半径为6371km。

三、地面点位置的确定

测量工作的根本任务之一，就是确定地面点的空间位置。确定地球表面上的位置，通常是求出它对于大地水准面的关

系。由于地球表面是起伏不平的，因此要确定地球表面上点的位置时，必须把每个地面点沿着铅垂线的方向投影到大地水准面上。还须把投影线的长度，即地面点沿铅垂线到大地水准面的高度确定下来。因此，地面点位置的确定，可以分为地面点在大地水准面上投影位置的确定和地面点到大地水准面的高度的确定。

表示地面点的平面位置可用球面坐标和平面直角坐标两种。球面坐标又分地理坐标(λ, φ)和大地坐标(L, B)，它们都是以地面点的经纬度表示，即经度 λ 、 L 和纬度 φ 、 B 来表示。它们的区别在于地理坐标是以地球的铅垂线为依据，大地坐标是以参考椭球面的法线为依据。平面直角坐标又分国家统一平面直角坐标(高斯坐标)、独立直角坐标和假定坐标。国家统一平面直角坐标是以高斯投影后的中央子午线作纵坐标轴(X)，以投影后的赤道作为横坐标轴(Y)。由于这两者投影后互相垂直，而且与整个地球联系起来，故可构成国家统一的平面直角坐标系，也称为高斯坐标系。纵坐标 X 自赤道向北为正，向南为负；横坐标自中央子午线向东为正，向西为负。我国位于北半球， X 值始终为正，而 Y 值却有正有负。为了应用方便，使 Y 值不出现负值，统一规定中央子午线上各点横坐标 Y 值为500km，也就是把 X 轴定在离中央子午线以西500km处。这样一来，某点的 X 值表示该点离开赤道的距离。 Y 值大于500km时，则该点位于中央子午线东面；小于500km时，位于中央子午线西面。

高斯投影的分带是用子午线以经差为 6° 或 3° 宽的大小将全地球表面划分成60个或120个带。每个投影带(6° 带或 3° 带)都有一个高斯坐标系，为了区别点的坐标所属投影带，规

定在横坐标 Y 值前面冠以投影带带号。例如某点的横坐标 $Y = 21616023.56\text{m}$ ，说明该点位于第21投影带，并在中央子午线以东。目前我国各级大地控制点所采用的高斯平面坐标系，是1954年北京坐标系。

如果测区内无国家控制点或测区离国家控制点较远，联测又不方便或者其它原因，这时可采用独立直角坐标系，它的起始坐标是在小比例尺图上量取，方位角是实测的。以 X 为纵坐标轴，用来表示南北方向；以 Y 为横坐标轴，用来表示东西方向。同时规定由坐标原点向上和向右为正，向下和向左为负。因此地面上一点 A 在平面上的位置，可以由该点至纵、横坐标轴的距离 X 和 Y 来确定。如图1-3所示。

象限的次序（I、II、III、IV）依顺时针方向排列，其目的是使三角学上所有公式都可以直接用到测量工作中的计算上。

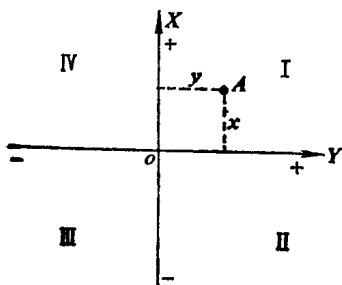


图 1-3

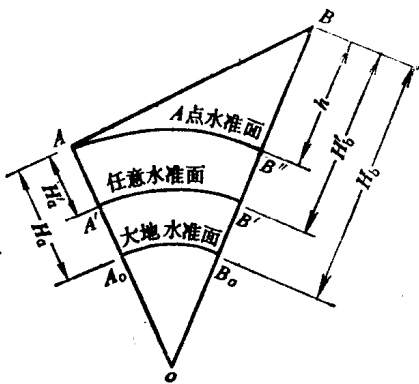


图 1-4

如果测区面积较小，离开国家控制点又较远、联测不便，或因工程需要时而采用假定坐标系。其特点是起始点坐标和起始方位角都是任意假定的。

为了完全确定地面点的位置，还要确定地面点到大地水准面的高度。地面点对于大地水准面的高度称为绝对高程，地面点对于任意水准面的高度称为相对高程或称假定高程。图1-4中的 H_A 和 H_B 代表A点和B点对于大地水准面的绝对高程。 H'_A 和 H'_B 代表A点和B点对于任意水准面 $A'B'$ 的相对高程。假设经过A点作一水准面 AB'' ，则 BB'' 表示B点对A点的高差，用 h 表示。为了统一全国高程系统，必须确定一个水准面作为高程的起算面，通常采用验潮站测定的平均海水面作为绝对高程起算面。我国在1988年以前采用1956年黄海高程系，1988年以后改用1985国家高程基准。两系统之间关系可以通过联测解决。

四、测量误差的概念和衡量精度的标准

1. 测量误差的概念

任何测量工作都是由测量者使用某种仪器、工具，按照一定的操作方法，在一定的外界条件下进行的。由于人们感觉和视觉的限制、外界条件的变化以及仪器、工具本身不完善，致使观测值含有误差。如对一段距离进行往返丈量，两次丈量结果不一致；观测一个平面三角形的三内角，其和不等于 180° ，等等。随着人们对仪器、工具不断改善和革新，观测精度日益提高。测量者的任务之一，在于选用较精密的仪器、工具，不断地改进测量方法，有效地控制影响测量精度的各种因素，以便获得高质量的测量成果，提高测量工作效率。

我们必须对误差的性质、误差的产生和积累的规律及其

对测量的影响有所认识，才能在工作之前，根据工作的需要选择适当的仪器和合理的方法。误差是不可避免的，但应当尽可能减少它；而错误则一定要避免。

测量误差按其性质可以分以下两类：

(1) 系统误差。系统误差的产生，是由于仪器工具不完善，外界自然条件的影响和观测员的感觉器官、鉴别能力等所引起。如丈量距离所用的尺子比标准尺长 a 值，或少 a 值，那么用它来丈量一尺距离就会产生一个常数 a 值差。这类误差的大小与距离成正比，距离越长，所积累的误差就越大。系统误差的特点是在大小、符号上表现一致性，或者按一定规则变化，或者保持常数。可以查明产生系统误差的原因，在一定条件下，用各种方法加以消除，或用数学方法加以改正；也可以采用严密的观测方法使这项误差互相抵消，或减少其影响的程度。系统误差必须加以改正或者使它达到极小的程度。

(2) 偶然误差。偶然误差和系统误差在观测中经常同时发生，问题是两者在观测结果中谁占主要地位。由于我们将系统误差消除或使其影响大大减少之后，测量结果中仍然会产生一种误差。如测角在度盘上读数时，读数可能比准确的数值大些，也可能小，产生了读数误差；在瞄准目标时，由于望远镜分辨能力和望远镜放大率的限制以及由于空气的透明度、目标的向光或背光等原因，瞄得偏左或偏右些，产生照准误差。此外，仪器本身由于外界条件变化，也会使观测结果产生误差。这些在一定条件下所产生的大小不等和符号不同的不可避免的误差，称为偶然误差。在相同的条件下，偶然误差的出现好象只是一些偶然因素引起的，看不出什么规律，但是通过大量的观测发现偶然误差的出现，也具

有一定规律性。举例说明如下。

在同样的观测条件下，观测了162个三角形全部内角。由于误差的存在，三角形内角之和不等于它的真值 180° ，我们将三角形内角和的真值 X ，减去它的观测值 L ，得出162个三角形内角和的真误差 Δ ，即 $\Delta=L-X$ 。现按真误差绝对值的大小排列成表，如表1-1所示。

表 1-1

误差大小的区间	正 Δ 的个数	负 Δ 的个数	总 和
0."0 ~0."195	21	21	42
0."195~0."395	19	19	38
0."395~0."595	15	12	27
0."595~0."795	9	11	20
0."795~0."995	9	8	17
0."995~1."195	5	6	11
1."195~1."395	1	3	4
1."395~1."595	1	2	3
1."595以上	0	0	0
	80	82	162

以误差大小为横坐标，误差出现的个数为纵坐标，绘成曲线如图1-5。

图1-5比较形象地表现出关于误差的大小与出现的个数之间的规律性。表1-1的结果、图1-5曲线以及大量的实践中总结出来的规律也证明，偶然误差有如下特性：

(1) 绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的机会多。

(2) 绝对值相等的正误差和负误差出现的机会大致相等。

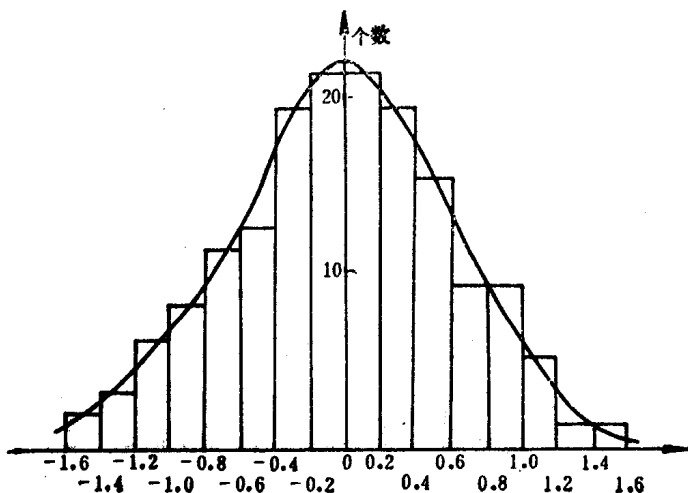


图 1-5

(3) 由(2)可知, 偶然误差的算术平均值, 随着观测次数的无限增加而趋向零。

(4) 在一定的条件下, 偶然误差的绝对值不会超过一定的界限。

错误在测量工作中是不允许存在的, 所以错误不属于误差的讨论范围。

2. 误差的衡量

测量工作的任务不仅是对一个未知量进行多次观测, 求出最后结果, 而且还要对测量结果的精度作出评定。为了衡量观测结果的精确程度, 必须规定一个衡量观测结果精度的统一标准, 通常采用中误差 (或称均方误差) 和相对误差来衡量。