

CELIANG



FANGXIAN

测量放线

◆ 朱莉宏 李井永 主编



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.com.cn>



测量放线

主 编 朱莉宏 李井永
副主编 张 娜 王 胜

清华大学出版社
北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是以建设部颁布的测量放线工职业技能标准和岗位鉴定规范为依据,结合当前土建类职业教育人才培养模式和工学结合课程改革的实际编写而成。本书力求科学性与实用性结合,知识能力与专业能力、社会能力协调。全书分6章,主要内容有施工测量的基本知识、水准测量、角度测量、距离测量、施工测量的基本方法、施工测量,并附有测量仪器检修的设备、工具和材料,测量仪器的维护和保养,施工测量放线方案实例,施工测量记录和报验用表,测量放线工职业技能岗位标准。

本书按照现行最新的标准、规范、规程编写。在内容组织上以必需、够用为原则,简化理论推导,注重实用性和实践性。

本书可作为土建类高职高专和应用型本科教材,也可作为土建技术人员和管理人员学习参考、岗位培训教材或参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

测量放线 / 朱莉宏, 李井永主编. —北京: 北京交通大学出版社: 清华大学出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-5121-2070-9

I. ① 测… II. ① 朱… ② 李… III. ① 建筑测量-中等专业学校-教材
IV. ① TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 200713 号

责任编辑: 解 坤

出版发行: 清华大学出版社 邮编: 100084 电话: 010-62776969

北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686414

印刷者: 北京艺堂印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印张: 9.75 字数: 243 千字

版 次: 2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-2070-9/TU · 131

印 数: 1 ~ 2 500 册 定价: 28.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。
投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

近年来国家大力扶持高职高专、应用型本科等各层次的职业教育，现已初具规模。随着职业教育教学改革的不深入，适应土建类专业高级实用性人才对建筑施工测量知识的需要，所有编者经过精心规划、仔细调研，以多年的施工测量教学 and 实践经验为基础，对建筑施工测量知识进行重新组织梳理，参照各种相关规范编写了《测量放线》教材。

本书在编写过程中参考了工程测量的新标准和新规范，知识面广，具有较强的教学适用性和专业适应面。内容组织以必需、实用和够用为原则，突出课堂教学的实践性和就业岗位实用性，如取消了地形图测绘及应用部分，而对施工测量方面的知识进行了细化，突出可操作性，力求体现职业教育特点。本书知识讲解深入浅出，淡化理论推导，注重以实例、示例说明问题。每章后有“教学小结”，并附有“思考题与习题”。

本书由辽宁建筑职业学院朱莉宏、李井永任主编，张娜、王胜任副主编。具体分工为：朱莉宏编写第三章、第四章、第六章，负责统稿、书稿的初审及版面的初步规划等工作；李井永编写第二章、第五章；张娜编写第一章；王胜整理附录部分。辽宁科技大学学生徐子健负责本书的绘图、初审和校验。

在本书编写的过程中，得到了辽宁建筑职业学院领导的鼓励和支持，全体编者再次表示深切的谢意。本书编写中参阅了一些院校编写的教材，在参考文献中一并列出。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，敬请同行和读者及时指正，以便再版时修订。

编 者

2014 年 7 月

目 录

第一章 施工测量的基本知识	(1)
第一节 概述	(1)
一、施工准备阶段	(1)
二、施工阶段	(1)
三、竣工阶段及变形观测	(1)
第二节 地面点位的确定	(2)
一、测量的基准面和基准线	(2)
二、地面点位的确定	(2)
第三节 测量误差的基本概念	(6)
一、产生误差的原因	(6)
二、误差分类	(6)
三、衡量测量精度的标准	(8)
第四节 有关施工测量的法规和规范	(10)
一、中华人民共和国测绘法	(10)
二、中华人民共和国计量法	(10)
三、《工程测量规范》(GB 50026—2007)	(10)
四、《建筑施工测量技术规程》(DB11/T 446—2007)	(11)
教学小结	(12)
思考题与习题	(13)
第二章 水准测量	(15)
第一节 水准测量原理	(15)
一、高差法	(15)
二、视线高法	(16)
第二节 普通水准仪的认识与使用	(17)
一、DS ₃ 型微倾水准仪	(17)
二、水准尺和尺垫	(20)
三、水准仪的使用	(21)
四、自动安平水准仪	(23)
第三节 水准测量观测、记录与计算	(25)
一、水准点 (BM)	(25)
二、水准测量测站的基本工作	(26)
三、水准测量记录	(26)
四、水准测量的成果检核	(30)
五、点的高程位置测设	(32)

六、水准测量的注意事项	(33)
第四节 普通水准仪的检验	(34)
一、水准仪的轴线及其应满足的条件	(34)
二、水准仪的检验与校正方法	(35)
教学小结	(37)
思考题与习题	(38)
第三章 角度测量	(42)
第一节 角度测量原理	(42)
一、水平角测量原理	(42)
二、竖直角测量原理	(43)
第二节 普通经纬仪的认识与使用	(43)
一、光学经纬仪的构造	(43)
二、光学经纬仪的读数方法	(46)
三、经纬仪的使用	(48)
第三节 角度观测与记录	(50)
一、水平角观测与记录	(50)
二、竖直角观测与记录	(53)
三、电子经纬仪测量水平角(测回法)	(56)
四、测设水平角	(56)
五、角度观测注意事项	(57)
第四节 普通经纬仪的检验	(58)
一、经纬仪应满足的几何条件	(58)
二、照准部水准管轴垂直于竖轴的检验	(59)
三、十字丝竖丝垂直于横轴的检验	(59)
四、望远镜视准轴垂直于横轴的检验	(59)
五、竖盘指标差的检验	(60)
教学小结	(60)
思考题与习题	(61)
第四章 距离测量	(63)
第一节 钢尺量距	(63)
一、钢尺的性质和检定	(63)
二、钢尺量距	(64)
三、钢尺量距注意事项	(68)
第二节 视距测量	(68)
一、视距测量的基本原理	(68)
二、视距测量的施测方法	(70)
三、视距测量注意事项	(71)
第三节 光电测距	(71)
一、光电测距的基本原理	(71)

二、光电测距仪的构造及其使用方法	(72)
三、全站仪	(76)
教学小结	(78)
思考题与习题	(79)
第五章 施工测量的基本方法	(81)
第一节 测设点平面位置的基本方法	(81)
一、直角坐标法	(81)
二、极坐标法	(82)
三、角度交会法	(83)
四、距离交会法	(85)
第二节 测设坡度线的基本方法	(85)
一、水平视线法	(86)
二、倾斜视线法	(86)
第三节 测设圆曲线的基本方法	(87)
一、圆曲线测设要素	(87)
二、圆曲线主点的测设	(88)
三、圆曲线辅点测设	(88)
第四节 建筑物定位放线的基本方法	(90)
一、建筑物定位条件	(90)
二、建筑物定位放线的基本内容	(91)
三、建筑物定位验线的要点	(93)
教学小结	(93)
思考题与习题	(93)
第六章 施工测量	(96)
第一节 施工测量准备工作	(96)
一、钢尺检定与仪器检校	(96)
二、了解设计意图,熟悉、校核施工图	(96)
三、现场踏勘,并校核平面控制点和水准点	(99)
四、制定测量放线方案	(99)
五、必要的测量坐标和建筑坐标换算	(99)
第二节 控制测量	(100)
一、平面控制网测设	(100)
二、高程控制网	(103)
第三节 基础施工测量	(104)
一、基础放线的基本步骤	(104)
二、基础验线要点	(104)
三、基础施工中标高的测设	(104)
第四节 主体结构施工测量	(106)
一、轴线竖向投测和高程传递	(106)

二、现浇钢筋混凝土框架结构的施工放线	(109)
三、砖混结构的施工放线	(110)
四、楼梯施工测量	(111)
五、安装测量	(112)
第五节 建筑工程施工中的沉降观测	(115)
一、沉降观测的基本内容	(116)
二、沉降观测的周期和时间	(116)
三、沉降观测方法	(117)
四、沉降观测的成果整理	(117)
第六节 竣工测量	(119)
一、竣工测量资料的基本内容	(120)
二、竣工图的基本要求	(120)
三、竣工图的内容、类型与绘制要求	(120)
教学小结	(121)
思考题与习题	(122)
附录 A 测量仪器检修的设备、工具 and 材料	(124)
附录 B 测量仪器的维护与保养	(126)
附录 C 施工测量放线方案实例	(128)
附录 D 施工测量记录和报验用表	(134)
附录 E 测量放线工职业技能岗位标准	(142)
参考文献	(145)

第一章

施工测量的基本知识

第一节 概 述

施工测量是采用一定的测量方法和手段将施工图上规划、设计的建筑物、构筑物，按 1:1 的比例标定在地面上预定的位置，作为施工建造的依据，也称为测设、施工放线或测量放线。相比较而言，在设计前期将拟建地区地形地貌绘成平面图或地形图作为规划设计依据的测量称为测定，也称为地形测绘或设计测量。一个工程项目从规划设计到施工、竣工、运营管理，维修、改建和扩建等都离不开测量工作。

施工测量主要包含以下几个方面的内容。

一、施工准备阶段

校核设计图纸与建设单位移交的测量点位、数据等测量依据，点位标志是否完好，必要的情况下对数据进行校核。根据设计与施工要求编制施工测量方案，对于形状复杂的建筑可按施工要求进行场地暂设工程测量。施工测量方案经过批准后，可进行场地平面控制网与高程控制网的测设；场地平整及土方计算；建筑物、构筑物定位测量。

二、施工阶段

根据工程进度要求对建筑物、构筑物进行细部定位放线与竖向轴线和高程传递，作出实测标志，作为各阶段施工、工序间交接检查与隐蔽工程验收的依据；构配件安装定位测量；重要建筑物、构筑物施工期间的变形测量。

三、竣工阶段及变形观测

工程结束要检查验收各主要部位的实际平面位置、高程及相关尺寸，编绘竣工图，作为工程验收与运行、管理的依据。

对一些重要建筑物和构筑物，为保证运营期间的安全，需进行沉降、倾斜、裂缝等变形观测。

施工测量贯穿于施工的全过程，作业环境复杂，图纸、数据繁多，并且与施工进度有着密切的关系，因此要求测量人员具备较强的责任心；现场工种多，交叉作业频繁，土石填挖

较多,影响施工控制点的稳定和破坏,所以各种测量标志必须埋设稳固,位置选择恰当,并应有足够的密度,同时做好测量标志和施工控制点的保护工作。

测量放线必须做到准确无误,使基坑开挖、打桩、立模、钢筋绑扎、混凝土浇筑、墙体砌筑等作业处于正确的设计位置,保证施工质量和工程进度。

第二节 地面点位的确定

测量工作的实质就是确定点的空间位置,换言之是确定两点间的相对位置,包括点的平面位置和高程位置。确定地面点位的基本要素有水平角、水平距离与高差,其中水平角和水平距离是确定点的平面位置的要素。也就是说根据已知点的平面位置和高程,如果采用测量的手段和方法测出已知点与待定点间的水平角、水平距离及高差,就可以推测出待定点的平面位置和高程。

在施工测量中测角、量距、测高差都分别有专用的仪器,但自全站仪问世以来,由于它可以同时测出角度和距离,并可以通过仪器自身的计算程序得出需要的测量结果,大大提高了工作效率。在当前的施工测量放线中,全站仪主要用于场地控制测量和主要点位的放线工作,而水准仪测高差、经纬仪测水平角及钢尺量距还是现场放线中的基本操作,是必须熟练掌握的基本功。

一、测量的基准面和基准线

为了比较地球表面点的高低,需要有测量的基准面——大地水准面、水准面、水平面。要确定地面点的平面位置,必须以铅垂线为基准线。

1. 基准面

(1) 大地水准面。大地水准面是平均静止的海水表面,是人们设想一个完全处于静止和平衡状态、没有潮汐风浪影响的海洋表面,以及由它延伸穿过陆地并处处保持着与铅垂线正交这一特性而形成的封闭曲面。人们发现,某一地点的平均海水面位置基本上是稳定的,因此它是唯一的。目前,我国采用的“1985 国家高程基准”,是以青岛验潮站 1953—1979 年所测定的黄海平均海水面作为全国高程的统一起算面,并推测得青岛观象山上国家水准原点的高程为 72.260 m,全国各地的高程则以它为准进行测算。

(2) 水准面。水准面是自由静止的海水表面,处处与铅垂线成正交,是与大地水准面平行的不规则曲面。由于海水表面的涨落,水准面有无数个。

(3) 水平面。水平面是与水准面相切的平面,仅在切点处与铅垂线成正交。

2. 基准线

地球上的任何物体都受到地球自转产生的离心力和地心引力作用,这两个力的合力称为重力。重力的作用线常称为铅垂线,它是测量工作的基准线。

二、地面点位的确定

(一) 地面点的高程位置

地面点到高程基准面的铅垂距离称为高程。高程按基准面的不同可分为绝对高程和相对高程两种,如图 1-1 所示。

1. 绝对高程 (H)

地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程, 又称绝对标高或海拔。如图 1-1 中 A 点、 B 点的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。

2. 相对高程 (H')

地面点到任意水准面的铅垂距离称为相对高程, 或相对标高。如图 1-1 中 A 点、 B 点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。

在建筑工程中, 为了对建筑物进行高程定位, 总平面图上标有建筑物首层室内地面的设计绝对高程; 建筑物的其他高程均以首层地面为基准面, 其相对高程为 ± 0.000 。高于 ± 0.000 基准面的高程为正值, 通常不注 “+”, 低于 ± 0.000 基准面的高程为负值, 注写 “-”, 如二层楼面的相对标高为 4.200 m, 地下室底板标高为 -3.900 m。

3. 高差 (h)

两地面点间的高程差即为高差。如图 1-1 中, B 点相对于 A 点的高差为:

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

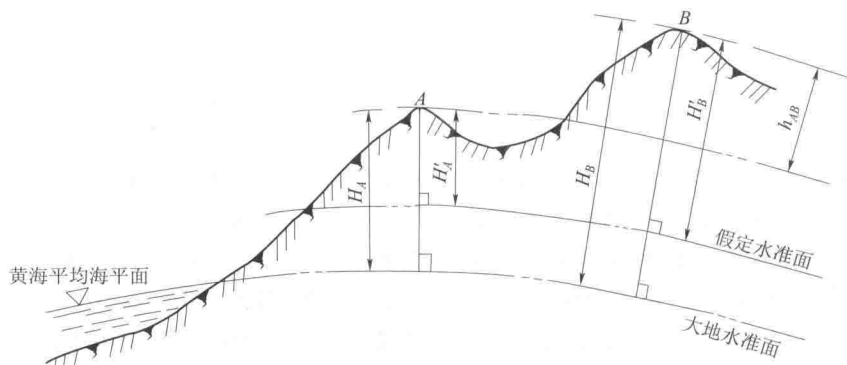


图 1-1 绝对高程、相对高程和高差

由式 (1-1) 可知, 高差的计算采用绝对高程或相对高程, 只是基准面不同, 两点间高差是不变的。

显然, 当 $h_{AB} > 0$ 时, 表明 B 点高于 A 点; 反之, 则 B 点低于 A 点; 当 $h_{AB} = 0$ 时, 表明 B 点和 A 点的高程相等, 处在同一个平面内。

B 点相对于 A 点的高差与 A 点相对于 B 点的高差绝对值相等, 符号相反。即:

$$h_{BA} = -h_{AB} \quad (1-2)$$

4. 坡度 (i)

坡度是指一条直线或一个平面的倾斜程度, 可通过倾斜角 (θ) 的正切函数 ($\tan\theta$) 计算, 一般用百分比 (%) 或斜率 (i) 表示。如图 1-2 中, 直线或平面上两点 A 、 B 的高差 h_{AB} 与水平距离 D_{AB} 之比, 即

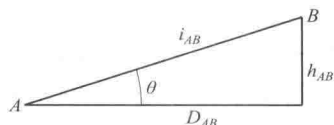


图 1-2 高差与坡度

$$\text{坡度 } i_{AB} = \tan \theta = h_{AB} / D_{AB} \quad (1-3)$$

因高差有正负，所以坡度也有正负，向上倾斜为升坡（+），向下倾斜为降坡（-）。

（二）地面点的平面位置

地面点的平面位置可以用直角坐标系来表示。测量工作中采用的平面直角坐标系如图 1-3 所示，规定以南北方向为纵轴，记为 x 轴，以东西方向为横轴，记为 y 轴，象限分布为顺时针。为使测区内各点的坐标均为正值，可将测区坐标原点加一个大数或选在测区的西南角。点 A 的位置可用 (x_A, y_A) 来表示。

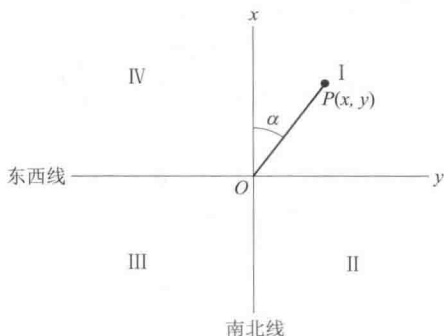


图 1-3 测量平面直角坐标系

测量平面直角坐标系与数学平面直角坐标系不同，它们的区别在于：一是坐标轴互换，测量的纵坐标轴为 x 轴，横坐标轴为 y 轴；二是以 x 轴正向为始边，顺时针方向转动定义方位角及象限；三是测量坐标系原点 O 的坐标多为两个大的正整数，如北京城市测量坐标原点的坐标 $y_0=500\,000\text{ m}$ ， $x_0=300\,000\text{ m}$ ，而数学坐标原点的坐标 $x_0=0$ ， $y_0=0$ 。

但数学上的三角函数和符号规则、公式可以直接应用到测量计算中，不需作任何改变，如图 1-3 所示，

$$\begin{aligned} x_B &= x_A + D_{AB} \cos \alpha \\ y_B &= y_A + D_{AB} \sin \alpha \end{aligned} \quad (1-4)$$

1980 国家大地坐标系的坐标原点在陕西省距西安市 60 km 的泾阳县永乐镇，也叫 1980 西安坐标系或 C80 坐标系。国家测绘局（1990 年 180 号文件）通知，1991 年起在全国采用 1980 国家大地坐标系。

在工程建设中为了设计方便而在总平面图上建立的建筑坐标系，是一个局部范围的独立坐标系，它与测量坐标系之间的相互换算方法详见第六章第一节。

（三）方位角（ α ）

方位角（ α ）是由子午线（即南北线）北端顺时针方向旋转到直线的夹角，用以表示该直线的方向。正北的方位角为 0° ，正东、正南、正西的方位角分别为 90° 、 180° 、 270° ，正西北的方位角为 315° 。

一条直线起端的方位角叫做该直线的正方位角，用 $\alpha_{\text{正}}$ 表示；直线终端的方位角叫做该直线的反方位角，用 $\alpha_{\text{反}}$ 表示，两者的关系是 $\alpha_{\text{正}} = \alpha_{\text{反}} \pm 180^\circ$ 。如直线 AB 的正方位角 $\alpha_{AB} = 35^\circ$ ，则其反方位角 $\alpha_{BA} = 215^\circ$ ；直线 BC 的正方位角 $\alpha_{BC} = 260^\circ$ ，则其反方位角 $\alpha_{CB} = 80^\circ$ 。

(四) 坐标增量、坐标正算与坐标反算

1. 坐标增量 (Δx , Δy)

直线 ij 的终点 $j(x_j, y_j)$ 对起点 $i(x_i, y_i)$ 的坐标差 (Δx_{ij} , Δy_{ij}), 如图 1-4 所示, 即 $\Delta x_{ij}=x_j-x_i$

$\Delta y_{ij}=y_j-y_i$ (1-5)

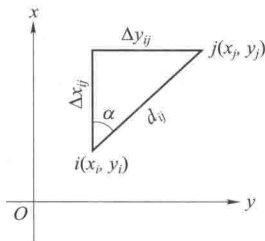


图 1-4 坐标增量

2. 坐标正算

坐标正算是指已知直线的边长 d_{ij} 和方位角 α_{ij} , 求其坐标增量 Δx_{ij} 、 Δy_{ij} , 即

$\Delta x_{ij}=d_{ij} \cdot \cos \alpha_{ij}$
 $\Delta y_{ij}=d_{ij} \cdot \sin \alpha_{ij}$ (1-6)

3. 坐标反算

坐标反算是指已知直线 ij 的坐标增量 Δx_{ij} 、 Δy_{ij} , 求其边长 d_{ij} 和方位角 α_{ij} , 即

$d_{ij}=\sqrt{\left(\Delta x_{ij}\right)^2+\left(\Delta y_{ij}\right)^2}$
 $\alpha_{ij}=\arctan \frac{\Delta y_{ij}}{\Delta x_{ij}}$ (1-7)

方位角值的确定, 见表 1-1。

表 1-1 方位角 α 所在象限的确定

Δy	+	+	-	-
Δx	+	-	-	+
象限	I	II	III	IV
α	$0^{\circ} \sim 90^{\circ}$	$90^{\circ} \sim 180^{\circ}$	$180^{\circ} \sim 270^{\circ}$	$270^{\circ} \sim 360^{\circ}$

【例 1-1】已知直线 AB 的坐标增量 $\Delta x_{AB}=81.780 \text{ m}$, $\Delta y_{AB}=-22.000 \text{ m}$, 计算边长 d_{AB} 及方位角 α_{AB} 。

解: 边长 $d_{AB}=\sqrt{\left(\Delta x_{AB}\right)^2+\left(\Delta y_{AB}\right)^2}=\sqrt{81.780^2+(-22.000)^2}=84.687 \text{ m}$

方位角 $\alpha_{AB}=\arctan \frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}=\arctan \frac{-22.000}{81.780}=344^{\circ} 56' 35''$

第三节 测量误差的基本概念

测量工作的大量实践表明,对某个量进行多次观测时,尽管使用了精密的测量仪器,而且观测方法合理、过程仔细,但测量结果之间总是存在着或多或少的差异。例如,对地面上某两点间距离反复丈量若干次,测量结果往往都不一致;对某平面三角形三个内角进行观测,其和常常不等于理论值 180° 。这些现象说明观测值中不可避免地存在着测量误差,也就是说测量误差是不可避免的。

观测误差与错误在性质上是不同的。错误是不允许出现的,必须加以避免,如观测方法错误,瞄准目标位置不正确,数据读错、记错等,否则要重新测量。错误主要是由于观测者的粗心或者各种外界干扰造成的。除了作业认真外,还必须采取必要的防范措施,如对角度进行多次观测,对距离进行往返观测,对几何图形进行必要的多次观测,就可以发现观测值中的错误,对测量结果进行正确的分析和评判。

一、产生误差的原因

测量工作是借助测量仪器、工具,按照一定的观测方法,在一定的外界条件下完成的。这就使测量结果不同程度地会受到各种因素的影响,归结起来,产生误差的原因主要有以下几点。

(1) 仪器、工具制造或检校不完善。例如水准仪校正后的残余误差,水准尺、钢尺刻画误差,仪器的精密程度都会产生测量误差。

(2) 人为因素。由于观测者视觉器官辨别能力的局限性,在安置仪器、气泡居中、照准目标、读数、视差都会产生误差。例如,在有视差的情况下,眼睛的高度不一样,读数就会产生不同的结果;观测者的仪器操作熟练程度和观测习惯也会带来不同程度的影响。

(3) 外界环境的影响。在外界进行测量工作时,所处条件变化或不适宜的观测条件都会对测量结果产生影响。例如,温度变化引起大气折光变化及望远镜瞄准偏差,日光照射强度使气泡居中受到影响等。

通常把仪器、观测者的技术水平和外界环境这三方面综合起来称为观测条件。凡是观测条件相同的各次观测称为等精度观测,观测条件不同的各次观测则称为非等精度观测。

测量工作不仅要获得观测结果,还要知道观测结果的精度。只有对误差的性质、产生的原因及对测量结果的影响有了清楚的了解,才能正确合理地实施测量方案,最大限度地减少误差,得到测量结果的最可靠值。一般来说,测量误差越小,结果的精度越高;测量误差越大,精度越小。因此,在测量工作中,通过对误差理论的探讨和研究,以便根据不同的误差原因采取不同的措施,达到消除或减少误差、提高测量结果的精度。

二、误差分类

误差按性质不同可分为系统误差和偶然误差两类。

1. 系统误差

在相同的观测条件下,对某个量进行一系列观测,如果误差的大小和符号呈现出规律性的变化或保持常数,这种误差称为系统误差。例如,钢尺的标记长度为50 m,经过检定后的

实际长度为 50.005 m, 当用该尺量距离时, 每量一整尺长就比实际长度减少了 0.005 m, 这 5 mm 的误差, 大小和符号是相同的, 量的整尺数越多, 误差就越大, 这种量距误差的大小与丈量的长度成正比, 且符号不变。又如在水准测量中, 因水准仪的视准轴不平行于水准管轴而产生的读数误差, 与水准仪到水准尺的距离成正比, 且符号不变, 距离越远, 读数误差就越大。又如在角度测量中, 经纬仪的视准轴不垂直于横轴而产生的读数误差与仪器到目标点的距离无关, 始终保持一个固定的常数。

系统误差对观测成果影响很大, 但它的数值大小和符号有一定的规律性, 可以按其产生的原因和规律加以改正、抵消或削弱。例如, 钢尺量距时的尺长误差可以按其检定结果对量距长度进行尺长改正, 即可消除尺长误差对距离的影响; 在水准测量中, 用前、后视距相等的办法可消除视准轴与水准管轴不平行的误差影响; 在角度测量中, 采用盘左、盘右观测取平均值的方法可以消除视准轴不垂直于横轴、横轴不垂直于竖轴、照准部偏心差等的误差影响。

有的系统误差用以上方法都无法消除, 如经纬仪的照准部水准管轴与仪器竖轴不垂直的误差对水平角观测值的影响。这类误差只能按要求对仪器进行严格校正, 并在观测过程中仔细整平仪器来减少误差的影响。

2. 偶然误差

在相同的观测条件下, 对某个量进行一系列观测, 如果误差在大小和符号上均不相同, 从表面上看没有明显的规律性, 但就大量的误差总体而言, 服从一定的统计规律, 这种误差称为偶然误差。偶然误差不是人为能控制的, 其符号正负和数值大小纯属偶然。例如, 水准测量中水准仪在水准尺上读数时的毫米估读误差, 角度测量中经纬仪照准误差, 估读数值误差等, 都属于偶然误差。

偶然误差的大小和符号随着各种偶然因素的综合影响在不断变化, 相对于系统误差而言, 测量误差主要是偶然误差。通过对某一个未知量进行大量的观测, 结果表明偶然误差具有统计特性: 绝对值较小的误差出现的概率大, 绝对值较大的误差出现的概率小; 绝对值相等的正、负误差出现的概率大致相等; 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; 当观测次数无限增大时, 偶然误差的算术平均值趋近于零。

3. 错误

在一定观测条件下, 由于工作粗心或措施不严密, 而使观测值产生超过规定限差的误差, 称为粗差, 也称错误。错误是必须避免的。测量放线中发生错误的主要原因有以下几方面。

(1) 起始依据的错误。主要是设计图纸中的错误, 测量起始点位或数据的错误以及仪器方面的问题。

(2) 计算放线数据的错误。主要是原始记录错误、转抄错误、用错公式或计算中错误。

(3) 观测中的错误。主要是用错点位或点位碰动未发现、仪器没检校或部件失灵、操作不当或测距仪与棱镜不配套等。

(4) 记录中的错误。主要是听错、记错、漏记等。

(5) 标志的错误。主要是放线人员给出的标志不明确或施工人员用错标志, 如轴线不是中线等。

总之, 从审核起始依据开始, 作业中要坚持测量、计算工作步步有校核的工作方法, 减少误差, 保证最终结果的正确性。

三、衡量测量精度的标准

为了研究观测成果的质量，评定观测成果的精度，常用的衡量标准有中误差、极限误差、相对误差三种。

1. 中误差

中误差，也称均方误差，用 m 表示；数理统计学中也叫标准差。

在相同的观测条件下，对某个量（真值为 X ）进行了 n 次观测，各观测值为 $l_1, l_2, \cdots, l_n$ ，则观测值的真误差分别为 $\Delta_1=X-l_1, \Delta_2=X-l_2, \cdots, \Delta_n=X-l_n$ ，则该组观测值中误差 m 的计算公式为：

$$m=\pm\sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \tag{1-8}$$

式中， n 为观测次数； $[\Delta\Delta]=\Delta_1^2+\Delta_2^2+\Delta_3^2+\cdots+\Delta_n^2$ 。 m 值较小表示观测精度较高，反之则表示观测精度较低。

例如，对某个三角形的内角和进行了两组不同精度的观测，每组观测了 10 次，分别计算出两组观测值的真误差 Δ_i 和中误差 $m_1、m_2$ ，列于表 1-2 中。比较表中 $m_1、m_2$ 的值，可知第一组的观测精度高于第二组。

表 1-2 观测值的真误差及中误差

次数	第一组			第二组		
	观测值	真误差 $\Delta_i /''$	Δ_i^2	观测值	真误差 $\Delta_i /''$	Δ_i^2
1	180°00'04''	-4	16	180°00'01''	-1	1
2	180°00'01''	-1	1	179°59'59''	+1	1
3	180°00'02''	-2	4	180°00'08''	-8	64
4	179°59'58''	+2	4	180°00'03''	-3	9
5	180°00'01''	-1	1	180°00'02''	-2	4
6	180°00'00''	0	0	179°59'59''	+1	1
7	180°00'02''	-2	4	179°59'54''	+6	36
8	179°59'57''	+3	9	180°00'00''	0	0
9	179°59'56''	+4	16	179°59'56''	+4	16
10	179°59'57''	+3	9	180°00'01''	-1	1
Σ			64			133
中误差	$m_1=\pm 2.5''$			$m_2=\pm 3.6''$		

工程测量中多以中误差衡量观测值的精度，也可以说明仪器的精度，如 J6 级经纬仪设计的精度为照准单一方向，一测回方向的中误差为 $\pm 6''$ 。

2. 极限误差

根据偶然误差的性质可知，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。如果观测值的误差超过这个限值，就认为该观测值错误，应舍去，并重新观测。这个限

值就是极限误差。根据误差理论和大量的实践证明,在一系列等精度观测的一组误差中,大于一倍中误差的偶然误差出现的概率不足 30%;大于两倍中误差的偶然误差不足 5%;大于三倍中误差的偶然误差仅有 0.3%。因此,在观测次数有限的情况下,大于三倍中误差的偶然误差几乎是不可能出现的。通常以两倍中误差作为各种测量误差的允许范围,也称为极限误差或限差,即

$$\Delta_{\text{限}} = 2m \quad (1-9)$$

测量允许误差宜为工程允许偏差(在各种工程设计与施工规范、规程中,对工程验收时的平面位置、高程位置、竖直方向、几何尺寸等,均规定了不同的允许偏差,作为工程施工验收的评定标准)的 $1/3 \sim 1/2$ 。

3. 相对误差

某个量观测值的绝对误差与该量真实值或近似值的比值,称为相对误差,也称为相对精度,常用来衡量量距的精度。有时评定观测值的精度,单用中误差衡量会得出不合理的结论。例如,用钢尺丈量 100 m 和 50 m 两条直线的长度,量距的中误差都是 10 mm,但不能认为这两段距离的丈量精度是相同的,因为量距误差具有积累性,与其长度有关,距离越长,误差积累越大。这时采用相对误差 K 描述观测的质量是合理的。

相对误差是以观测值的误差,如边长中误差(m)或往返丈量较差(ΔD)等,与该观测值 D 之比,通常以分子为 1 的分数形式来表示,即

$$K = \frac{\text{观测误差}}{\text{观测值}} = \frac{1}{T} \quad (1-10)$$

上例中,前者的相对误差为 $K_1 = 0.010/100 = 1/10\,000$,而后者为 $K_2 = 0.010/50 = 1/5\,000$ 。显然,前者量距精度高于后者。

同样,如果往返丈量地面上 A 、 B 两点之间的距离,往返距离之差用 ΔD 表示,往返距离的平均值用 $D_{\text{平均}}$ 表示,则相对误差 $K = \Delta D / D_{\text{平均}}$ 。

4. 算术平均值

设 X 为某一个未知量的真值, $l_1, l_2, \dots, l_n$ 为该量的一组等精度观测值, x 为这一组等精度观测值的算术平均值。可以认为算术平均值比所有观测值最接近于真值,常把算术平均值称为最或然值,原理说明如下。

若以 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ 表示等精度观测值 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 的真误差,则有

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= x - l_1 \\ \Delta_2 &= x - l_2 \\ &\vdots \\ \Delta_n &= x - l_n \end{aligned} \right\}$$

将各等式两端分别相加,得

$$[\Delta] = nX - [l]$$

两端除以 n ,

$$\frac{[\Delta]}{n} = X - \frac{[l]}{n}$$