

工程测量

主 编 王金玲
副主编 张庆宽 鲁有柱

武汉大学出版社

前 言

随着新形势下教育事业的飞速发展和现代测量新技术、新设备的不断出现,工程测量课程的要求也在不断变化。我们在有关学校测量教师多次研讨、交流的基础上,结合多年的教学实践并参阅同行专家的有关论述编写了此书。本书从高职高专院校学生的培养目标出发,着重介绍了工程测量的基本知识,同时也充实了现代测绘新技术、新仪器等内容,并采用了最新的测量标准、规范。具有较强的针对性和实用性,适合高职高专院校学生测量基本技能的培养与训练。

参加本书编写的人员皆为在本专业有多年教学经验的教师,参编人员有:湖北水利水电职业技术学院王金玲(第一、二、七章)、李行洋(第八章、第五章第二节)、田福娟(第四章),杨凌职业技术学院鲁有柱(第三、十三章)、张养安(第十五章、第五章第一节)、王稳江(第九章)、杨旭江(第十四章),山东水利职业学院张庆宽(第十、十二章)、董志跃(第十一章),长江工程职业技术学院牛志宏(第六章)。本书的例题和习题部分由董志跃编写,张养安负责插图编绘工作。全书由王金玲统稿。

武汉大学徐方老师对本书进行了细致的审阅,特此致谢。

由于编者业务水平有限以及时间仓促,书中错误难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 测量学的基本内容、任务与作用	1
第二节 地球的形状和大小	3
第三节 地面点位的确定	4
第四节 用水平面代替水准面的限度	7
第五节 测量工作概述	9
第二章 水准测量	11
第一节 水准测量原理	11
第二节 水准仪和水准尺	12
第三节 水准测量的方法	16
第四节 水准测量成果的计算	20
第五节 三、四等水准测量	22
第六节 微倾式水准仪的检验与校正	25
第七节 水准测量的误差分析	27
第八节 精密水准仪和电子水准仪简介	29
第三章 角度测量	32
第一节 角度测量原理	32
第二节 光学经纬仪及其使用	33
第三节 水平角观测	37
第四节 竖直角观测	41
第五节 经纬仪的检验与校正	44
第六节 角度测量的误差分析	47
第七节 电子经纬仪简介	49
第四章 距离测量	52
第一节 钢尺量距	52
第二节 视距测量	57
第三节 电磁波测距简介	59

第五章 测绘新技术简介	62
第一节 全站仪	62
第二节 GPS 全球定位系统	69
第六章 测量误差的基本知识	74
第一节 测量误差概述	74
第二节 衡量精度的指标	77
第三节 误差传播定律	78
第七章 定向测量	82
第一节 直线定向	82
第二节 坐标方位角的推算	84
第三节 坐标正、反算	86
第四节 罗盘仪及其使用	87
第八章 小区域控制测量	89
第一节 控制测量概述	89
第二节 导线测量	92
第三节 小三角测量	99
第四节 测角交会定点	104
第五节 全站仪极坐标法导线测量	107
第六节 高程控制测量	108
第九章 地形图的基本知识	111
第一节 地形图的比例尺	111
第二节 地形图的图式	112
第三节 地形图的图外注记	118
第四节 地形图的分幅与编号	119
第十章 大比例尺地形图的测绘	123
第一节 测图前的准备工作	123
第二节 测量碎部点平面位置的基本方法	124
第三节 地形测图方法	125
第四节 地形图的绘制	129
第五节 数字化测图概述	132
第十一章 地形图的应用	134
第一节 地形图应用的基本内容	134

第二节	地形图在工程建设中的应用.....	135
第三节	地形图在平整土地中的应用及方量的计算.....	139
第四节	地形图上面积量算.....	142
第十二章	施工测量的基本知识	147
第一节	施工测量概述.....	147
第二节	测设的基本工作.....	148
第三节	点的平面位置的测设.....	150
第四节	坡度线的测设	152
第十三章	水工建筑物的放样	154
第一节	土坝的施工放样.....	154
第二节	水闸的放样.....	159
第三节	隧洞施工放样.....	161
第十四章	工业与民用建筑施工测量	168
第一节	施工控制测量.....	168
第二节	民用建筑施工测量.....	171
第三节	工业厂房施工测量.....	174
第四节	建筑物的变形观测.....	177
第五节	竣工测量.....	180
第十五章	线路测量	183
第一节	线路测量工作概述.....	183
第二节	中线测量.....	183
第三节	纵断面测量.....	190
第四节	横断面测量.....	194
第五节	道路施工测量.....	196
参考文献	201

第一章 绪 论

第一节 测量学的基本内容、任务与作用

一、测量学的基本内容

测量学是研究地球的形状、大小以及确定地面点位的科学,它的内容包括测定和测设两个方面。测定是指使用测量仪器,通过一定的测量程序和方法,把地球表面的形状和大小缩绘成地形图或建立有关的数字信息,为国民经济建设的规划、设计和管理阶段提供资料;测设是指把图纸上设计好的建筑物的平面位置和高程位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

测量学按照研究对象和研究范围的不同,划分为以下几个学科:

(一) 大地测量学

该学科主要是研究整个地球的形状、大小和外部重力场及其变化、地面点的精确定位,解决大范围控制测量工作。大地测量学是整个测绘科学的基础理论学科,它的主要任务是为测制地形图和工程建设提供基本的平面控制和高程控制。

(二) 普通测量学

该学科主要是研究地球表面局部区域的形状和大小,不考虑地球曲率的影响,把地球表面较小范围当做平面看待所进行的测量工作。其主要内容有图根控制网的建立、地形图的测绘及工程的施工测量。

(三) 摄影测量学

该学科主要是利用摄影或遥感技术获取地面物体的影像,进行分析处理后建立相应的数字模型或直接绘制成地形图。根据像片获取方式的不同,摄影测量又分为地面摄影测量和航空摄影测量等。

(四) 工程测量学

该学科主要是研究工程建设在规划、勘测设计、施工和运营管理各阶段所进行的测量工作。按工程建设的对象不同,工程测量又分为:水利、建筑、公路、铁路、矿山、隧道、桥梁、城市和国防等工程测量。工程测量贯穿于工程建设的全过程。

(五) 制图学

该学科主要是利用测量所获得的成果资料,研究如何投影编绘和制印各种地图的测量工作,属于制图学的范畴。

二、工程测量的任务

工程测量是研究各种工程在勘察、设计、施工和管理阶段所进行测量工作的理论和技术学科。其主要任务是：

1. 大比例尺地形图测绘

使用测量仪器,按一定的测量程序和方法,把将要进行工程建设地区的各种地物(如道路、桥梁等)和地貌(地势的高低起伏形态,如山头、盆地、丘陵等)按规定的符号及一定的比例测绘到图纸上,供规划设计使用,这项工作称为地形测图。

2. 施工放样

使用测量仪器,把图纸上设计好的建筑物的平面位置和高程在地面上标定出来,作为施工的依据,也叫测设。

3. 变形监测

在建筑物建成后的运营管理阶段,对建筑物的稳定性及变化情况进行监督测量,以确保建筑物的安全。另外,在建筑物施工过程中,也要进行变形监测,以指导和检查工程的施工。

三、测量工作的作用

测量学是一门历史悠久的学科,随着现代科学技术的发展,测量学的发展也极为迅速,目前在国民经济建设的各个领域都有着广泛的应用。

在国民经济和社会发展规划中,测绘信息是最重要的基础信息之一。各种规划首先要有规划区的地形图,在图上展开各种构思和设想;在工程建设中,测绘更是一项重要的前期工作,有精确的测绘成果和地形图,才能保证工程的选址、选线,才能设计出经济合理的方案;在工程施工中,要通过放样测量把已确定的设计方案精确地落到地上,以保证施工符合设计要求,这对工程的质量起着相当关键的作用;竣工测绘资料则是工程在交付使用后进行管理的重要依据,竣工图是日后扩建、改建和管理维护的首要资料。对于大型工程建筑,在使用期间定期进行监测,及时发现建筑物的变形和移位,以便采取措施,防止重大事故发生,更是不可忽视的环节。

在国防建设中,军事测量和军用地图是现代大规模的诸兵种协同作战不可缺少的重要保障。至于远程导弹、空间武器、人造卫星或航天器的发射,要保证它精确入轨,随时校正轨道和命中目标,除了应测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关区域的地球重力场资料。

在科学研究方面,测绘工作也有着重要的作用,例如:地壳的形变、地震预报、灾情监视等都离不开测绘资料。

在国家的各级管理工作中,测量和地图资料也是必不可少的。工农业生产建设的组织管理、土地地籍管理以及各种公用设施的管理等都离不开测绘资料。

随着测绘科技的不断进步和发展,在各个行业和人民日常生活中,其必将提供更为全面、准确、及时和适用的测绘成果和技术服务。

第二节 地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面,所以必须知道地表的形状和大小。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地及海洋等起伏状态,世界上最高的珠穆朗玛峰高达 8 844.43 m,最深的马里亚纳海沟深达 11 022m,高低起伏很大。但这种起伏变化相对于地球庞大的体积来说仍可忽略不计。由于地球表面 71% 被海水所覆盖,所以可以把海水所覆盖的地球形体看做地球的形状。

由于地球的自转运动,地球上任意一点都要受到离心力和地球引力的双重作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。设想一个静止的海水面向陆地延伸通过大陆和岛屿形成一个包围地球的封闭曲面,这个曲面就称为水准面。水准面是受重力影响而形成的,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。由于潮汐的影响,海水面有涨有落,所以水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面,称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面所包围的地球形体称为大地体。

大地水准面完全可以代表地球表面的形状和大小,但由于地球内部质量分布不均引起铅垂线的方向产生不规则的变化,致使大地水准面成为一个复杂的曲面(如图 1-1 所示)。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上,将对测量计算和绘图带来很多困难,为此选用一个非常接近大地水准面,并可用数学式表达的规则的几何形体来代表地球的总形状,这个数学形体称为旋转椭球体,包围它的面称为旋转椭球面。

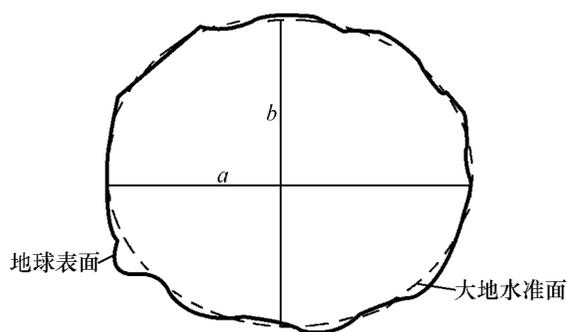


图 1-1

旋转椭球体是由一椭圆绕其短半轴旋转而成的椭球体(如图 1-2 所示)。椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 α 是决定旋转椭球体的形状和大小的元素。随着测绘科学的进步,可以越来越精确地测定这些元素。目前,我国采用国际大地测量协会 IAG-75 参数: $a = 6\,378\,140\text{m}$, $\alpha = 1 : 298.257$, 推算值 $b = 6\,356\,755.288\text{m}$ 。

采用椭球体定位得到的坐标系为国家大地坐标系。我国大地坐标系的原点在陕西省泾阳县永乐镇。由于地球椭球体的扁率很小,当测量精密程度要求不高及测区面积不大时,可将地球当做半径 R 为 $6\,371\text{km}$ 的圆球。

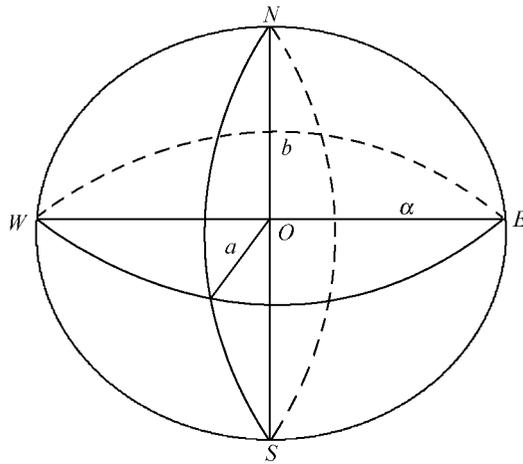


图 1-2 旋转椭球体

第三节 地面点位的确定

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置。确定地面点的空间位置需要三个要素,通常是确定地面点在球面或平面上的投影位置,即地面点的坐标;地面点到大地水准面的铅垂距离,即地面点的高程。

一、地面点坐标的确定

(一) 大地坐标

在大区域内确定地面点的位置,以球面坐标系来表示,用大地经度和大地纬度表示地面点在旋转椭球面上的位置,称为大地地理坐标,简称大地坐标(如图 1-3 所示)。NS 为椭球的旋转轴,N 为北极,S 为南极。通过椭球旋转轴做的平面称为子午面,过英国格林威治天文台的子午面称为起始子午面,也称本初子午面。子午面与球面的交线称为子午线或经线。球面上 P 点的大地经度是过 P 点的子午面与起始子午面所夹的二面角,用 L 表示。自起始子午面向东 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 称为东经,向西 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 称为西经,我国地处东半球。

垂直于地轴并通过球心的平面称为赤道面。赤道面与球面的交线称为赤道。垂直于地轴且平行于赤道的平面与球面的交线称为纬圈或平行圈。球面上某点的大地纬度是过该点的法线(与椭球面相垂直的线)与赤道面的夹角,用 B 表示(图 1-3 中,过 P 点做子午线的法线,该法线与赤道面的交角 B 即为 P 点的大地纬度)。纬度从赤道起向北 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 称为北纬,向南 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 称为南纬,我国地处北半球。

大地经、纬度是根据大地原点的起算数据,再按大地测量得到的数据推算而得。我国曾采用“1954 年北京坐标系”并于 1987 年废止,现采用国家大地坐标系。

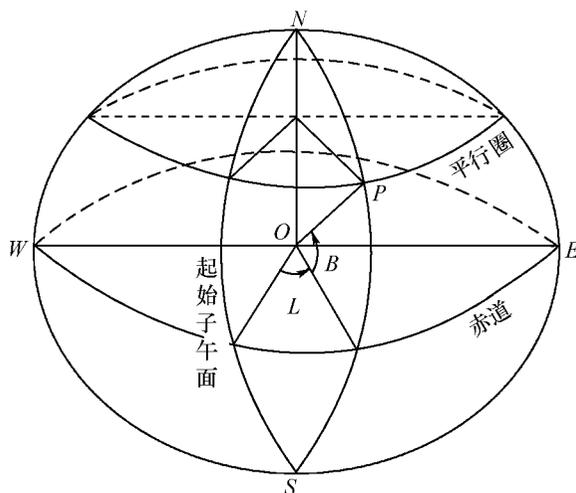


图 1-3

(二) 独立平面直角坐标

当测量区域较小时,可以把测区内球面沿铅垂线方向投影到水平面上,用平面直角坐标来确定点位。如图 1-4 所示,测量上采用的平面直角坐标系与数学上的平面直角坐标基本相同,但坐标轴互换,象限顺序相反。纵轴为 x 轴,与南北方向一致,向北为正,向南为负;横轴为 y 轴,与东西方向一致,向东为正,向西为负。顺时针方向量度,这样便于将数学的三角公式直接应用到测量计算上。原点一般假定在测区西南以外,使测区内部点坐标均为正值,以便计算。

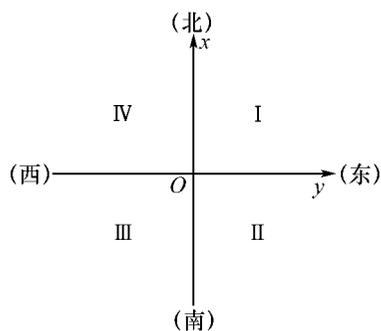


图 1-4

(三) 高斯平面直角坐标

当测区范围较大时,由于存在较大的差异,不能用水平面代替球面。应将地面点投影到椭球面上,再按一定的条件投影到平面上,形成统一的平面直角坐标系。我国现采用的是高斯-克吕格投影方法。它是由高斯创意,经克吕格改进而得名,采用分带投影的方法,将每一投影带展成平面,以中央子午线为纵轴,赤道为横轴,建立统一的平面直角坐标系。

高斯投影是按一定经差将地球椭球面划分成若干投影带,将地球椭球面沿子午线划分成经差相等的瓜瓣形地带(如图 1-5 所示)。

分带时,既要考虑投影后长度变形不大于测图误差,又要使带数不至于过多以减小换带计算工作,通常按经差 6° 或 3° 分为六度带或三度带。六度带自 0° 子午线起每隔经差 6° 自西向东分带,将整个地球分成 60 个投影带。用第 1、第 2、第 3、...、第 60 表示投影带的带号。

六度带中任意带的中央子午线经度 L_0 为:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1.1)$$

式中, N 为 6° 投影带的带号。

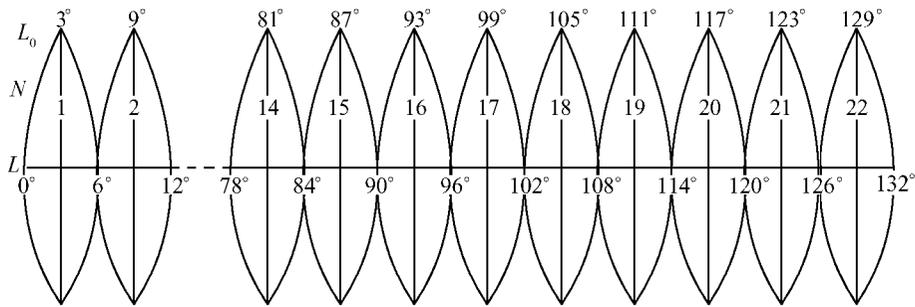


图 1-5

三度带是在六度带的基础上分成的,它的中央子午线与六度带的中央子午线和分带子午线重合,即自东经 1.5° 子午线起每隔经差 3° 自西向东分带,将整个地球分成 120 个投影带。用第 1、第 2、第 3、...、第 120 表示投影带的带号。

三度带中任意带的中央子午线经度 L'_0 为:

$$L'_0 = 3n \quad (1.2)$$

式中, n 为 3° 投影带的带号。

高斯投影的基本方法是:设想用一个圆柱横切套在地球椭球外面(如图 1-6 所示),将中央子午线两侧同一投影带范围内的椭球面投影在圆柱面上,再将圆柱面沿过南北极的母线剪开展平,即得高斯平面。投影后,中央子午线长度不变,离开中央子午线越远,其长度投影变形越大。

投影后,取中央子午线与赤道交点的投影为原点,中央子午线的投影为纵坐标 x 轴,赤道的投影为横坐标 y 轴,即构成了高斯平面直角坐标系(如图 1-7 所示)。

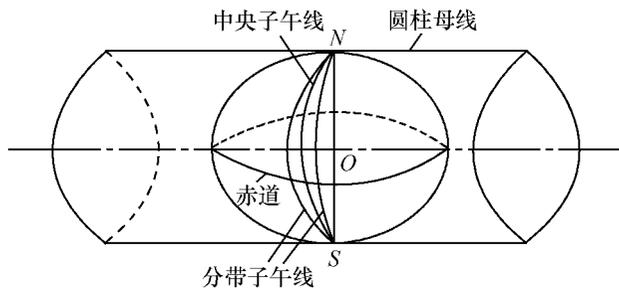


图 1-6

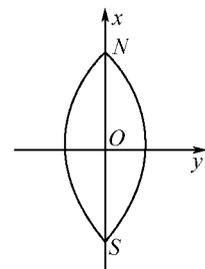


图 1-7

高斯平面直角坐标以赤道为零起算,赤道以北为正,以南为负。我国位于北半球,纵坐标均为正,横坐标有正有负。为了使用方便,避免横坐标出现负值,规定将坐标纵轴西移 500km 当做起始轴。这样带内的横坐标值均加 500km。设 A 点 $x_A = 3\,281\,547.56\text{m}$, $y_A = -298\,541.12\text{m}$, 则横坐标为 $y_A = (-298\,541.12) + 500\,000 = 201\,458.88\text{m}$ 。前者称为自然值,后者称为统一值。因为不同投影带内的点可能会有相同坐标值,也为了标明其所在的投影带,规

定在横坐标前冠以带号。例如 A 点位于第 15 带,则横坐标为 $y_A=15\ 201\ 458.88\text{m}$ 。

二、地面点的高程

(一) 绝对高程

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,又称海拔。用 H 表示(如图 1-8 所示)。

A、B 两点的绝对高程为 H_A 、 H_B 。由于受海潮、风浪等影响,海水面的高低时刻在变化,我国在青岛设立验潮站,进行长期观测,取黄海平均海水面作为高程基准面,建立“1956 黄海高程系”,其青岛国家水准原点高程为 72.289m,该高程系统自 1987 年废止并起用“1985 国家高程基准”,原点高程为 72.260m。在使用测量资料时,一定要注意新旧高程系统以及系统间的正确换算。

(二) 相对高程

地面上某点到任意水准面的铅垂距离,称为该点的假定高程或相对高程。如图 1-8 中 A、B 两点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。

地面上两点的高程之差称为高差,用 h 表示。A、B 两点的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.3)$$

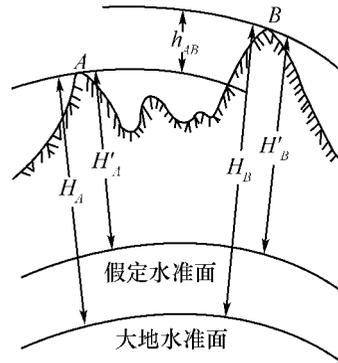


图 1-8

第四节 用水平面代替水准面的限度

在普通测量中,当测区面积不大时,又可把球面视为平面,用水平面代替水准面,使计算和绘图工作大为简化,但是多大范围内才允许用水平面代替水准面。下面就讨论以水平面代替水准面对水平距离和高差的影响,从而明确用水平面可以代替水准面的范围。

(一) 对水平距离的影响

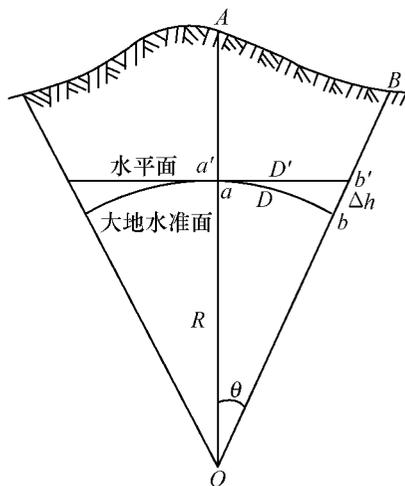


图 1-9

如图 1-9 所示,A、B 为地面上两点,它们在大地上水准面上的投影为 a 、 b ,弧长为 D 。在水平面上的投影为 a' 、 b' ,其距离为 D' ,两者之差 ΔD 即为用水平面代替水准面所产生的误差。

设地球的半径为 R , AB 所对的圆心角为 θ ,则:

$$\Delta D = D' - D$$

因为, $D' = R \tan \theta$, $D = R \theta$

则有, $\Delta D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta)$

将 $\tan \theta$ 按级数展开,并略去高次项,取前两项得:

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3$$

则, $\Delta D = \frac{1}{3} R \theta^3$ (1.4)

以 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入式(1.4),得:

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1.5)$$

表示成相对误差为：

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1.6)$$

取 $R=6\,371\text{km}$ ，并以不同的 D 值代入式(1.5)和式(1.6)，可求得用水平面代替水准面的距离误差和相对误差(见表 1-1)。

表 1-1 用水平面代替水准面对距离的影响

距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{cm})$	相对误差 $\Delta D/D$	距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{cm})$	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1 : 1 220 000	50	102.7	1 : 49 000
25	12.8	1 : 200 000	100	821.2	1 : 12 000

当距离为 10km 时，以水平面代替水准面所产生的距离误差为 1 : 122 万，这样小的误差，就是在地面上进行最精密的距离测量也是允许的。因此，在以 10km 为半径的圆面积范围内，以水平面代替水准面所产生的距离误差可以忽略不计。对于精度要求较低的测量，还可以扩大到以 25km 为半径的范围。

(二) 对高差的影响

在图 1-9 中， A 、 B 两点在同一水准面上，其高差应为零。 B 点投影在水平面上得 b' 点，则 bb' 即为水平面代替水准面所产生的高差误差，或称为地球曲率的影响。

$$bb' = \Delta h$$

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

化简得：

$$\Delta h = \frac{D'^2}{2R + \Delta h} \quad (1.7)$$

式(1.7)中，用 D 代替 D' ，同时 Δh 与 $2R$ 相比可略去不计，

则，

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1.8)$$

以不同距离 D 代入式(1.8)，得相应的高差误差值列于表 1-2 中。

表 1-2 用水平面代替水准面对高差的影响

$D(\text{m})$	100	200	500	1 000
$\Delta h(\text{mm})$	0.8	3.1	19.6	78.5

由表 1-2 可知，用水平面代替水准面，当距离为 200m 时，高差误差为 3mm，这对高程测量来说影响很大，因此，当进行高程测量时，即使距离很短也必须顾及地球曲率的影响。

第五节 测量工作概述

一、测量的基本工作

在测量工作中，地面点的三维坐标 (X, Y, H) 一般是间接测出的。设 A 、 B 、 C 为地面上

的三点(如图 1-10 所示),投影到水平面上的位置分别为 a 、 b 、 c 。如果 A 点的位置已知,要确定 B 点的位置,需要确定 B 点到 A 点在水平面上的水平距离 D_{AB} 和 B 点位于 A 点的方位。图中 ab 的方向可用通过 a 点的指北方向与 ab 的夹角(水平角) α 表示,有了 D_{AB} 和 α , B 点在图中的平面位置 b 就可以确定。由于 A 、 B 两点的高程不同,除平面位置外,还要知道它们的高低关系,即 A 、 B 两点的高程 H_A 、 H_B 或 A 、 B 两点间的高差 h_{AB} ,这样 B 点的位置就完全确定了。如果还要确定 C 点在图中的位置 c ,则需要测量 BC 在水平面的水平距离 D_{BC} 及 b 点上相邻两边的水平夹角 β 以及 H_C 或 h_{BC} 。

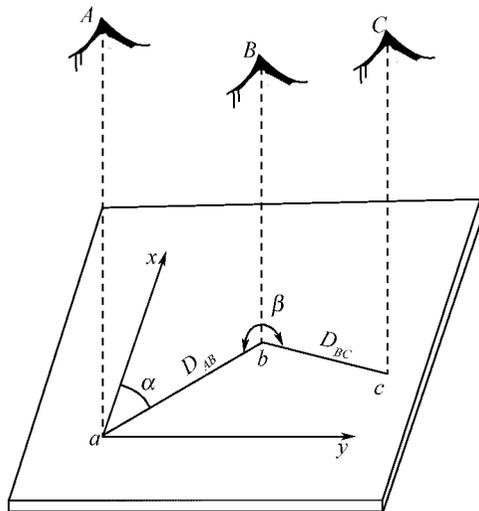


图 1-10

由此可知,水平距离、水平角及高程是确定地面点相对位置的三个基本几何要素。测量地面点的水平距离、水平角及高程是测量的基本工作。

二、测量工作的基本原则

测量工作中将地球表面复杂多样的地形分为地物和地貌两类。地面上的河流、道路、房屋等自然物体称为地物,地势的高低起伏形态称为地貌,地物和地貌统称为地形。要在一个已知点上测绘该测区所有的地物和地貌是不可能的,只能测量其附近的范围,因此,只能在若干点上分区观测,最后才能拼成一幅完整的地形图。施工放样也是如此,但不论采用何种方法、使用何种仪器进行测量或放样,都会给其成果带来误差。为了防止测量误差的逐渐传递和累积,要求测量工作遵循在布局上“从整体到局部”、在工作程序上“先控制后碎部”、在精度上“从高级到低级”的基本原则进行。同时,测量工作必须进行严格的检核,“前一步工作未作检核不进行下一步测量工作”是组织测量工作应遵循的又一个原则。

(一) 控制测量

遵循“先控制后碎部”的测量原则,就是先进行控制测量,测定测区内若干个具有控制意义的控制点的平面位置(纵横坐标)和高程,作为后面测量工作的依据。

控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量是确定测区中一系列控制点的坐标的测量工作。平面控制测量的方法有导线测量、三角测量及交会定点等,高程控制测量是确定测区中一系列控制点的高程的测量工作。主要方法有水准测量、三角高程测量等。

(二) 碎部测量

根据控制点进行地物、地貌的测量工作称为碎部测量。地物和地貌的形状和大小是由一些特征点的位置所决定的,这些特征点称为碎部点,测图时,主要就是测定这些碎部点的平面位置和高程。碎部测量常用的方法有平板仪测绘法、经纬仪测绘法、全站仪测绘法以及数字化测图等。

习 题

1. 什么叫测设?什么叫测定?
2. 工程测量的基本任务是什么?
3. 什么叫水准面?什么叫大地水准面?它们的特性是什么?
4. 什么叫绝对高程(海拔)?什么叫相对高程?什么叫高差?
5. 表示地面点位有哪几种坐标系统?
6. 测量学中的平面直角坐标系和数学上的平面直角坐标系有何不同?为何这样规定?
7. 测量工作的基本要素是什么?
8. 对于水平距离和高差而言,在多大的范围内可用水平面代替水准面?
9. 测量工作的基本原则是什么?
10. 已知点 M 位于东经 $117^{\circ}46'$,计算它所在投影带的六度带号和三度带号。

第二章 水准测量

高程测量是测量工作的基本内容之一,水准测量是测量地面点高程常用的一种方法。依据测量原理和施测方法的不同,高程测量分为水准测量、三角高程测量、气压高程测量及GPS等几种,其中水准测量是高程测量中最基本、最精密的一种方法,被广泛应用于高程控制测量和工程测量中。按精度的高低,水准测量分为国家一、二、三、四等水准测量和普通水准测量(也叫等外水准测量)。本章主要介绍普通水准测量和三、四等水准测量。

第一节 水准测量原理

水准测量是利用水准仪提供的水平视线在水准尺上读数,直接测定地面上两点间的高差,从而由已知点高程及测得的高差求得未知点的高程。

如图 2-1 所示,地面上有 A、B 两点,设 A 为已知点,其高程为 H_A ,B 点为待定点,其高程未知。可在 A、B 两点间安置水准仪,在两点上分别竖立水准尺,利用水准仪提供的水平视线,分别读取 A 点上水准尺上的读数 a 和 B 点上水准尺的读数 b ,则 A、B 两点的高差为:

$$h_{AB} = a - b \quad (2.1)$$

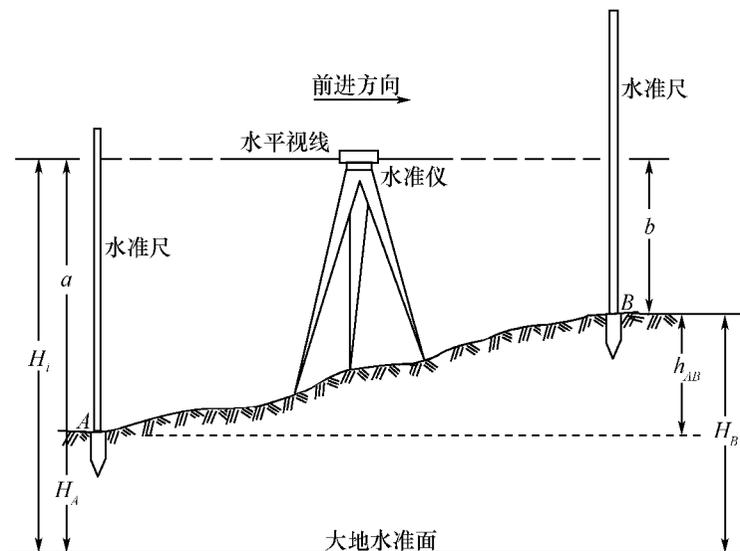


图 2-1 水准测量原理

设水准测量的方向是从 A 点往 B 点进行,在图 2-1 中称 A 点为后视点,A 点尺上的读

数 a 为后视读数,称待定点 B 为前视点,称 B 点尺上的读数 b 为前视读数,安置仪器之处称为测站,竖立水准尺的点称为测点。有了 A 、 B 两点间的高差 h_{AB} 后,就可进一步由已知高程 H_A 计算待定点 B 的高程 H_B 。 B 点的高程:

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + (a - b) \quad (2.2)$$

还可通过仪器的视线高程 H_i 计算 B 点的高程为:

$$H_i = H_A + a$$

则,

$$H_B = H_i - b = (H_A + a) - b \quad (2.3)$$

式(2.2)是直接由高差计算 B 点高程,称为高差法;式(2.3)是利用仪器视线的高程计算 B 点高程,称为仪器高法。

第二节 水准仪和水准尺

水准测量使用的仪器称为水准仪,水准仪全称为大地测量水准仪,按精度分为 DS_{05} 、 DS_1 、 DS_3 、 DS_{10} 等几个等级。 D 、 S 分别为“大地测量”、“水准仪”的汉语拼音第一个字母,下标数值表示仪器的精度,即该等级仪器对应的 1km 往返水准测量高差中误差,以毫米为单位。 DS_{05} 和 DS_1 为精密水准仪, DS_3 和 DS_{10} 为普通水准仪。本节着重介绍 DS_3 型水准仪。

一、 DS_3 型微倾式水准仪

水准仪由望远镜、水准器和基座三部分组成。图 2-2 是 DS_3 型水准仪的外貌和各部分名称。

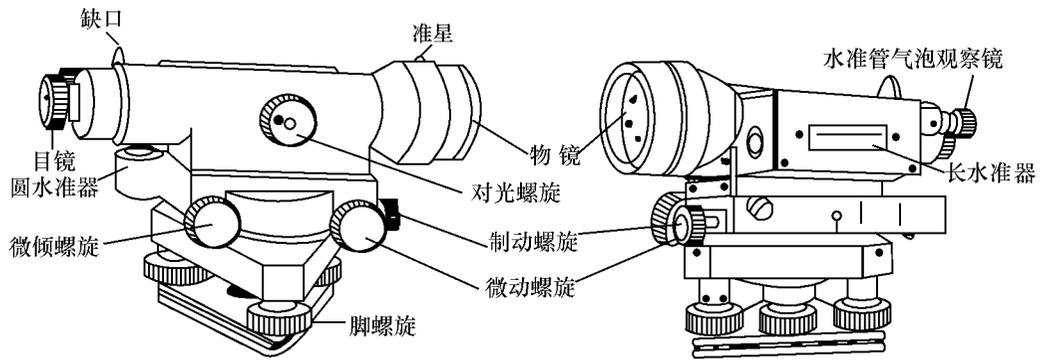


图 2-2 DS_3 型微倾式水准仪

(一) 望远镜

望远镜的作用是提供一条照准目标的视线,主要用于照准目标并在水准尺上读数。望远镜具有一定的放大倍数, DS_3 型微倾式水准仪望远镜的放大率为 28 倍。望远镜是由物镜、目镜、十字丝分划板、物镜对光螺旋(调焦螺旋)及目镜调焦螺旋组成,根据调焦方式不同,望远镜又分为外调焦望远镜和内调焦望远镜两种,现在我们使用的大多是内调焦望远镜。

十字丝分划板上刻有相互垂直的细线,称为十字丝。中间横的一条称为中丝(或横丝),与中丝平行的上、下两根短丝,一根叫上丝,一根叫下丝,统称为视距丝,用来测量仪器

和目标之间的距离。

物镜光心与十字丝交点的连线称为视准轴。视准轴是水准测量中用来读数的视线。图 2-3 是望远镜构造图。

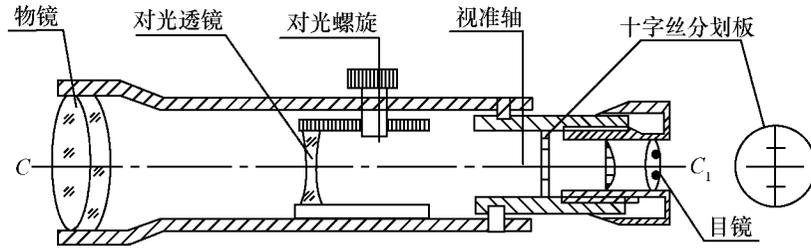


图 2-3 望远镜构造

(二) 水准器

水准器有管水准器和圆水准器两种。水准器是用来标志视准轴是否水平或仪器竖轴是否铅直的装置。

1. 管水准器

也称水准管或长水准器,是纵向内壁成圆弧形的玻璃管,管内装满酒精或乙醚,加热封闭冷却后,在管内形成一个气泡,如图 2-4 所示。

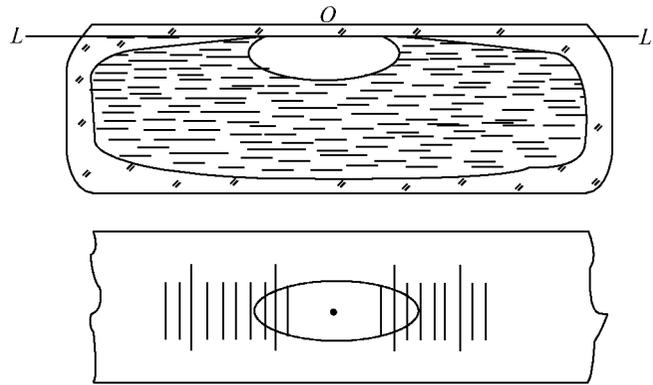


图 2-4

水准管圆弧形表面上刻有 2mm 的分划线,分划线的中点 O 称为水准管的零点。通过零点与圆弧相切的直线,称为水准管轴。当气泡中心与零点重合时,称气泡居中,这时水准管轴处于水平位置。若气泡不居中,则水准管轴处于倾斜位置。水准管上相邻两分划线间的圆弧(弧长 2mm)所对的圆心角称为水准管分划值,即气泡每移动一格时,水准管轴所倾斜的角值。即为:

$$\tau = \frac{2}{R\rho} \quad (2.4)$$

式中, $\rho = 206\,265$, 单位是秒。

水准管分划值的大小反映了仪器整平精度的高低。由式(2.4)可以看出:水准管半径越大,分划值就越小,灵敏度(整平仪器的精度)就越高,根据气泡整平仪器的精度就越高。 DS_3 型水准仪的水准管分划值为 $20''/2\text{mm}$ 。

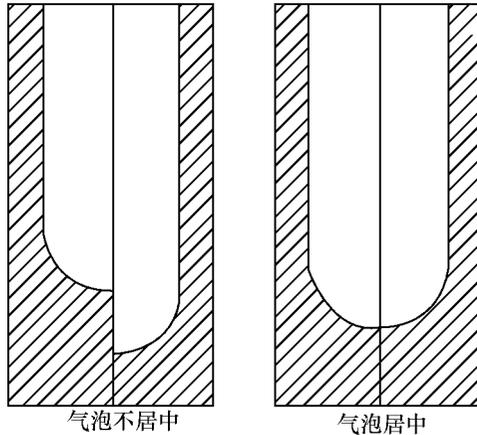


图 2-5

为了提高水准管气泡居中的精度,微倾式水准仪在水准管的上方安装一组符合棱镜系统,通过棱镜的反射作用,把气泡两端的影像折射到望远镜旁的观察窗内(如图 2-5 所示)。当气泡两端的像合成一个光滑圆弧时,表示气泡居中,若两端影像错开,则表示气泡不居中,可转动微倾螺旋使气泡影像吻合。这种水准器称为符合水准器。

2. 圆水准器

圆水准器是一圆柱形的玻璃盒镶嵌装在金属框内形成的,玻璃盒顶面内壁为球面,球面中央有一个圆圈,其圆心称为圆水准器的零点。通过零点所做球面的法线,称为圆水准器轴。当气泡居中时,圆水准器轴就处于铅直位置。由于圆水准器顶面内壁曲率半径较小,灵敏度较低,只能用于仪器的粗略整平。圆水准器的分划值是指通过零点及圆水准器轴的任一纵断面上 2mm 弧长所对的圆心角。 DS_3 型水准仪圆水准器分划值一般为 $8'/2\sim 10'/2\text{mm}$ 。

(三) 基座

基座主要由轴座、脚螺旋和连接板组成,其作用是支撑仪器的上部。整个仪器用中心连接螺旋与三脚架连接。

二、水准尺和尺垫

(一) 水准尺

水准尺是水准测量时使用的标尺,常用的水准尺有塔尺和双面尺两种,用优质木材或玻璃钢制成(如图 2-6 所示)。塔尺的形状呈塔形,由几节套接而成,其全长可达 5m ,尺的底部为零刻划,尺面以黑白相间的分划刻划,最小刻划为 1cm 或 0.5cm ,米和分米处注有数字,大于 1m 的数字注记加注红点或黑点,点的个数表示米数。塔尺携带方便,但在连接处常会产生误差,一般用于精度较低的水准测量中。双面尺也叫直尺,尺长 3m ,尺的双面均有刻划,一面为黑白相间,称为黑面尺(也称基本分划),尺底端起点为零;另一面为红白相间,称为红面尺(也称辅助分划),尺底端起点是一个常数,一般为 4.687m 或 4.787m 。不同尺常数的两根尺子组成一对使用,利用黑、红面尺零点相差的常数可对水准测量读数进行检核。双面尺用于三、四等精度以下的水准测量中。

(二) 尺垫

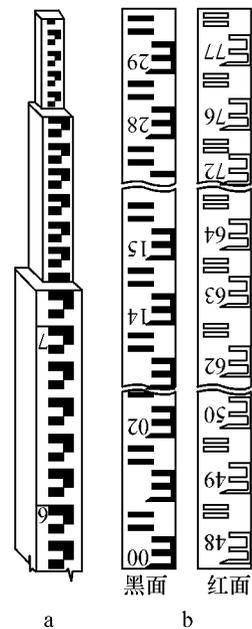


图 2-6

如图 2-7 所示,尺垫用铁制成,呈三角形。上面有一个凸起的半圆球。半球的顶点作为转点标志,使用时将尺垫下面的三个脚踏入土中使其稳定,水准尺立于尺垫的半圆球顶点上。

三、水准仪的使用

DS₃ 型水准仪的使用程序可归纳为:粗略整平、瞄准目标、精确整平、读数记录。

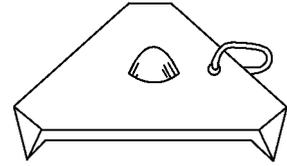


图 2-7

进行水准测量时,首先在测站上安置三角架,调节架腿长度使架头高度适合观测,目估使架头大致水平,然后将仪器用中心连接螺旋稳固地架设在脚架上。

(一) 粗略整平

粗略整平简称粗平,是调节仪器脚螺旋使圆水准器气泡居中,以达到水准仪的竖轴铅直,视线大致水平的目的。调节脚螺旋的原则是:顺时针转动脚螺旋使该脚螺旋所在一端升高,逆时针转动脚螺旋使该脚螺旋所在一端降低,气泡偏向哪端说明哪端高些,气泡的移动方向始终与左手大拇指转动的方向一致,称之为左手大拇指法则。如图 2-8a 所示旋转脚螺旋使气泡完全居中。首先用双手按箭头所指的方向转动脚螺旋 1、2,使气泡移动到这两个脚螺旋方向的中间位置,如图 2-8b 所示,然后用左手转动脚螺旋 3,使气泡居中,如图 2-8c 所示。按上述方法反复调整脚螺旋,能使圆水准器气泡完全居中。

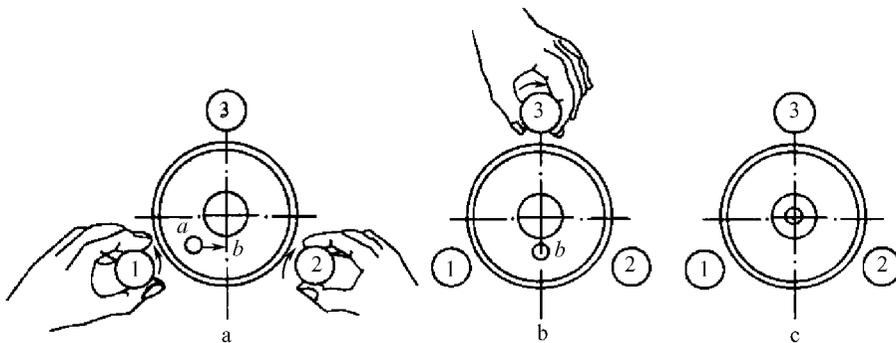


图 2-8

(二) 瞄准目标

瞄准目标简称瞄准。瞄准分为粗瞄和精瞄。粗瞄就是通过望远镜筒外的缺口和准星瞄准水准尺后,进行调焦,使镜筒内能清晰地看到水准尺和十字丝。具体的操作方法是:首先放松制动螺旋,用望远镜筒外的缺口和准星瞄准水准尺,固定制动螺旋,转动物镜对光螺旋,使尺子的成像清晰,转动目镜调焦螺旋,使十字丝的成像清晰。其次是精瞄,转动微动螺旋,使十字丝纵丝对准水准尺的中间。

调节物镜和目镜对光螺旋时,如果调焦不到位,就会使尺子成像面与十字丝分划平面不重合,此时,观测者的眼睛靠近目镜端上下微微移动就会发现读数也发生变动,这种现象称为视差。视差的存在将影响观测结果的准确性,应予消除。消除视差的方法是仔细反复进行物镜和目镜调焦,使尺子的成像和十字丝的成像均位于清晰状态。

(三) 精确整平

精确整平简称精平,就是调节微倾螺旋,使符合水准器气泡居中,即让目镜左边观察窗内的符合水准器的气泡两个半边影像完全吻合,这时望远镜的视准轴完全处于精确水平位置。每次在水准尺上读数之前都应进行精平。由于气泡移动有惯性,所以转动微倾螺旋的速度不能太快。只有符合气泡两端影像完全吻合而又稳定不动后,气泡才居中。

(四) 读数记录

符合水准器气泡居中后,即可读取十字丝中丝在水准尺上的读数。读出米、分米、厘米、毫米四位数,毫米位是估读的。如图 2-9 所示,读数为 1.308m,如果以毫米为单位读记为 1308mm。

需要注意的是:当望远镜瞄准另一方向时,符合气泡两侧如果分离,则必须重新转动微倾螺旋使水准管气泡符合后才能对水准尺进行读数。

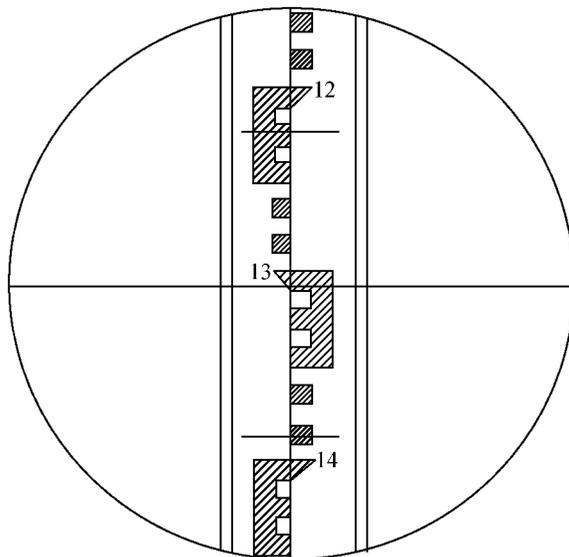


图 2-9

第三节 水准测量的方法

一、水准点和水准路线

(一) 水准点

水准点为高程控制点,是通过水准测量的方法测定其高程,常用 *BM* 表示水准点。水准点有永久性和临时性两种。永久性水准点一般用石料或钢筋混凝土制成,深埋在地面冻土线以下,顶面设有不锈钢或其他不易腐蚀材料制成的半球形标志。临时性的水准点可用地面上突出的坚硬岩石做记号,松软的地面也可打入木桩,在桩顶钉一个小铁钉来表示水准点,在坚硬的地面上也可以用油漆画出标记作为水准点,如图 2-10 所示为永久水准点。

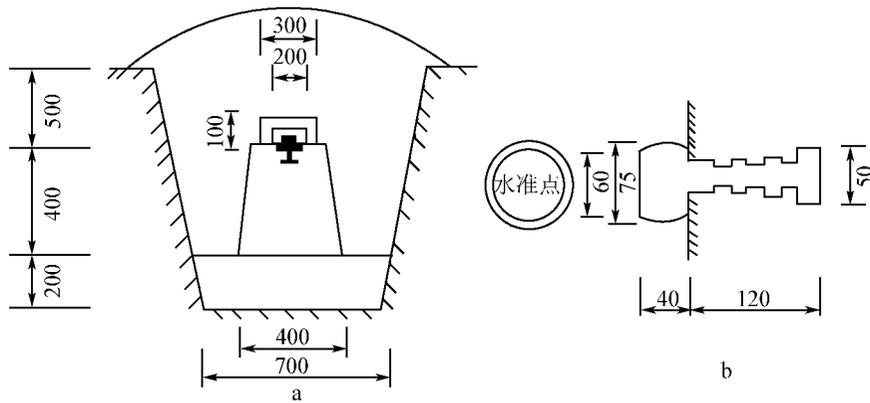


图 2-10

埋设水准点后,应绘出水准点与附近地物关系图,在图上还要写明水准点的编号和高程,称为点之记,便于日后寻找水准点位置时使用。

(二) 水准路线

水准路线是水准测量所经过的路线在普通工程测量中,根据已知水准点的分布情况,水准路线布设成下面三种形式(如图 2-11 所示)。

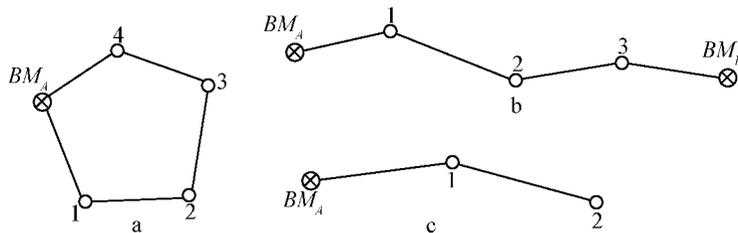


图 2-11

1. 闭合水准路线

如图 2-11a 所示,从一已知高程的水准点 BM_A 开始,沿各待测高程点 1、2、3、4 进行水准测量,最后回到原水准点 BM_A 上的环形路线,称为闭合水准路线。闭合水准路线常用于环形区域。

2. 附合水准路线

如图 2-11b 所示,从已知水准点 BM_A 出发,沿各待测高程点 1、2、3 进行水准测量,最后附合到另一个水准点 BM_B 上结束所构成的路线,称为附合水准路线。附合水准路线常用于带状区域。

3. 支线水准路线

如图 2-11c 所示,从已知水准点 BM_A 出发,沿待测高程点 1、2 进行水准测量,其路线既不闭合回原来的水准点 BM_A 上,也不附合到另外的水准点上,而是形成一条支线,

称为支线水准路线，简称支水准路线。支水准路线应进行往、返测量，往测高差总和理论上应与返测高差总和大小相等，符号相反。

二、普通水准测量的方法

水准测量一般是从已知水准点开始，经过待定点测量，形成一定的水准路线，求出待定点的高程。当已知点与待定点两点间相距不远，高差不大，且无视线遮挡时，只需安置一次水准仪就可测得两点间的高差。当两水准点间相距较远或高差较大或有障碍物遮挡视线时，仅安置一次仪器不可能测得两点间的高差，此时，可以把原水准路线分成若干段，依次连续安置水准仪测定各段高差，最后取各段高差的代数和，即得到起、终点间的高差（如图2-12所示）。

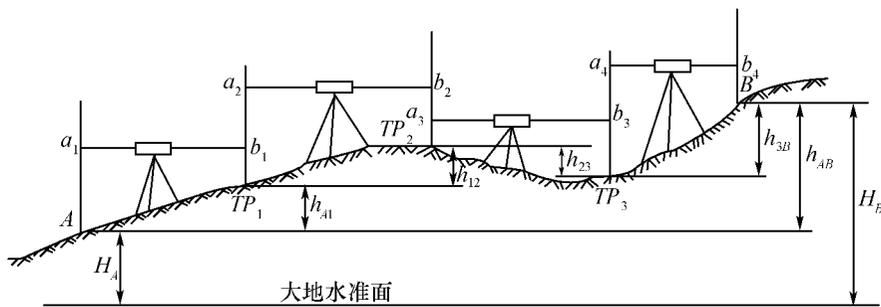


图 2-12

从图 2-12 可知，水准点 A 的高程 H_A 为已知，欲求待定点 B 的高程 H_B ，在 A、B 之间设立了三个过渡点 TP_1 、 TP_2 、 TP_3 ，这三个点的高程是不要求测定的，它们的作用是传递高程，这样的点叫转点。 TP_1 、 TP_2 、 TP_3 三个转点把线路分成了四段，进行了四段水准测量。依次测定这四段高差 h_{A1} 、 h_{12} 、 h_{23} 、 h_{3B} ，它们的代数和即为 A、B 两点间的高差。也等于后视读数之和减去前视读数之和。

$$h_{A1} = a_1 - b_1$$

$$h_{12} = a_2 - b_2$$

$$h_{23} = a_3 - b_3$$

$$h_{3B} = a_4 - b_4$$

将上述各式相加得公式：

$$h_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b \quad (2.5)$$

则，

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + \sum a - \sum b \quad (2.6)$$

式(2.6)可用于检核高差计算的正确性。

表 2-1 为普通水准测量计算及计算检核表。

表 2-1 普通水准测量手簿

测站	测点	后视读数 (m)	前视读数 (m)	高差(m)		高程(m)	备注
				+	-		
1	A	1.976	1.258	0.718		35.375	
	1						
2	1	1.234	1.837		0.603		
	2						
3	2	1.383	0.846	0.537			
	3						
4	3	2.157	1.547	0.610		36.637	
	B						
计算检核		6.750	5.488	1.865	0.603	36.637-35.375	
		1.262		1.262		=1.262	

三、水准测量的检核

(一) 计算检核

计算检核可以检查出每站高差计算中的错误,及时发现并纠正错误,保证计算结果的正确性,根据式(2.5)和式(2.6),计算检核可按下式进行:

$$\sum a - \sum b = \sum h = H_{终} - H_{始} \quad (2.7)$$

即后视读数之和减去前视读数之和的差应等于各测站高差的代数和,还应等于计算得到的终点高程减去已知的起点高程。上述等式成立时,表示计算正确,否则说明计算中有错误。计算检核只能检核计算的对错,不能检核观测数据是否正确。为了保证观测数据的正确性,通常采用测站检核。

(二) 测站检核

测站检核一般采用变动仪器高法和双面尺法。

1. 变动仪器高法

在一个测站上测得高差后,将水准仪升高或降低(变动 10cm 以上)重新安置仪器,再测一次高差,两次测得高差之差不超过 5mm 时,取其平均值作为该站高差,超过此限差须重新观测。

2. 双面尺法

在一个测站上,不改变仪器高度,先用双面水准尺的黑面分划测一个高差,再用红面分划测一个高差,两个高差之差不超过 5mm(四等水准),同时,每一根尺子红、黑两面读数的差与常数(4.687m 或 4.787m)之差不超过 3mm(四等水准)时,可取其平均值作为观测结果。如不符合要求,则须重测。

(三) 成果检核

上述检核只能检查单个测站的观测精度和计算是否正确,还必须进一步对水准测量成果进行检核,即将测量结果与理论值比较,来判断观测精度是否符合要求。实际测量得到的该段高差与该段高差的理论值之差即为测量误差,称为高差闭合差,用 f_h 表示。

$$f_h = \sum h_{测} - \sum h_{理} \quad (2.8)$$

如果高差闭合差在允许限差之内,观测结果正确,精度合乎要求,否则应当重测。水准测量的高差闭合差的允许值根据水准测量的等级不同而异。表 2-2 为工程测量的限差规定表。

表 2-2 工程测量的限差规定表

等级	允许闭合差 (mm)	一般应用范围举例
三等	$f_{h允} = \pm 12\sqrt{L}$ $f_{h允} = \pm 4\sqrt{n}$	有特殊要求的较大型工程、城市地面沉降观测等
四等	$f_{h允} = \pm 20\sqrt{L}$ $f_{h允} = \pm 6\sqrt{n}$	综合规划路线、普通建筑工程、河道工程等
等外(图根)	$f_{h允} = \pm 40\sqrt{L}$ $f_{h允} = \pm 12\sqrt{n}$	水利工程、山区线路工程、排水沟疏浚工程、小型农田等

注:(1)表中 L 为水准路线单程千米数, n 为单程测站数;

(2)允许闭合差 $f_{h允}$,在平地按水准路线的千米数 L 计算,在山地按测站数 n 计算。

(1) 闭合水准路线的高差闭合差:

对于闭合水准路线, $\sum h_{理} = 0$, 因此,

$$f_h = \sum h_{测} \quad (2.9)$$

(2) 附和水准路线的高差闭合差:

对于附和水准路线, $\sum h_{理} = H_{终} - H_{始}$, 因此,

$$f_h = \sum h_{测} - (H_{终} - H_{始}) = \sum h_{测} + H_{始} - H_{终} \quad (2.10)$$

(3) 支线水准路线的高差闭合差:

支线水准路线中往返测量值理论之和应等于零, 因此,

$$f_h = \sum h_{测} = \sum h_{往} + \sum h_{返} \quad (2.11)$$

第四节 水准测量成果的计算

一、内业成果计算的基本方法

水准测量外业观测数据经检核无误后,才能进行内业成果的计算。内业成果的计算步骤如下:

1. 计算实测高差闭合差 f_h 和高差闭合差的允许值 $f_{h允}$

当 $|f_h| \leq |f_{h允}|$ 时,进行后续计算;

如果 $|f_h| > |f_{h允}|$, 则说明外业成果不符合要求,必须重测,不能进行内业成果的计算。

2. 对高差闭合差进行调整和分配(反号均分原则)

高差闭合差调整和分配的原则是:将高差闭合差按测站数或距离成正比反符号分配到各观测高差中。

设每一测段高差改正数为 v_i ,

$$\text{则 } v_i = -\frac{f_h}{n}n_i \quad (n \text{ 为测站总数, } n_i \text{ 为本段测站数}) \quad (2.12)$$

$$\text{或: } v_i = -\frac{f_h}{L}L_i \quad (L \text{ 为距离总和, } L_i \text{ 为本段距离}) \quad (2.13)$$

$$\text{检核式 } \sum v = -f_h \quad (2.14)$$

3. 计算改正后每测段的高差值 h'

$$h'_i = h_i + v_i \quad (2.15)$$

$$\text{检核式, } \sum h' = \sum h_{\text{理}} \quad (2.16)$$

4. 计算待定点高程 $H_{\text{待}i}$

$$\left. \begin{aligned} H_{\text{待}1} &= H_{\text{起}} + h'_1 \\ H_{\text{待}2} &= H_{\text{待}1} + h'_2 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ H_{\text{待}n} &= H_{\text{待}n-1} + h'_n \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

$$\text{检核式 } H_{\text{终}} = H_{\text{待}n} + h'_{n+1} = H_{\text{终已}} \quad (2.18)$$

即由待定点推算得到的终点高程与已知的终点高程应该相等。

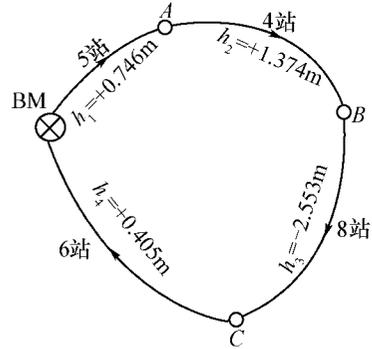


图 2-13

二、闭合水准路线的成果计算算例

某一闭合水准路线的观测成果如图 2-13 所示, 试按普通水准测量的精度要求, 计算待定点 A、B、C 的高程 ($H_{\text{BM}} = 52.358\text{m}$), 计算表如表 2-3 所示。

表 2-3 闭合水准路线的成果计算表

点名	测站数	实测高差 (m)	高差改正数 (m)	改正后高差 (m)	高程 (m)	备注
BM					52.358	
A	5	+0.746	+0.006	+0.752	53.110	
B	4	+1.374	+0.005	+1.379	54.489	
C	8	-2.553	+0.010	-2.543	51.946	
BM	6	+0.405	+0.007	+0.412	52.358	
\sum	23	-0.028	+0.028	0		
辅助计算	$f_h = \sum h = -0.028\text{m} = -28\text{mm}$ $f_{h容} = \pm 12\sqrt{n} = \pm 12\sqrt{23} = \pm 57.5\text{mm}$					

三、附和水准路线的成果计算算例

某一附和水准路线观测成果如图 2-14 所示,试按普通水准测量的精度要求计算待定点 1、2、3 点的高程($H_{BM1} = 35.000\text{m}$, $H_{BM2} = 37.464\text{m}$),计算表如表 2-4 所示。

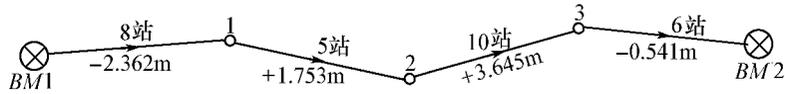


图 2-14

表 2-4 附和水准路线的成果计算表

点名	站数	实测高差 (m)	高差改正数 (m)	改正后高差 (m)	高程 (m)	备注
BM_1	8	-2.362	-0.009	-2.371	35.000	
1					32.629	
	5	+1.753	-0.005	+1.748		
2					34.377	
	10	+3.645	-0.011	+3.634		
3					38.011	
	6	-0.541	-0.006	-0.547		
BM_2					37.464	
Σ	29	+2.495	-0.031	+2.464		
辅助计算	$f_h = \sum h - (H_{BM2} - H_{BM1}) = 2.495 - (37.464 - 35.000) = 0.031\text{m} = 31\text{mm}$ $f_{h允} = \pm 12\sqrt{n} = \pm 12\sqrt{29} = \pm 64.6\text{mm}$					

第五节 三、四等水准测量

一、技术要求

三、四等水准测量是工程测量和大比例尺测图的基本控制,精度高,要求严格。其水准测量的路线布设应从附近国家高一级的水准点引测高程。三、四等水准测量的操作方法、观测程序都有一定的技术要求。表 2-5 是三、四等水准测量的主要技术指标。

表 2-5 三、四等水准测量的主要技术指标

等级	视距(m)	高差闭合差限差 (mm)		视线高度	前后视距差 (m)	前后视距积累差 (m)	黑、红面 读数差 (mm)	黑、红面所 测高差之差 (mm)
		平地	山区					
三等	≤ 75	$\pm 12\sqrt{L}$	$\pm 4\sqrt{n}$	三 丝 能 读数	≤ 2.0	≤ 5.0	≤ 2.0	≤ 3.0
四等	≤ 100	$\pm 20\sqrt{L}$	$\pm 6\sqrt{n}$	三 丝 能 读数	≤ 3.0	≤ 10.0	≤ 3.0	≤ 5.0

二、三、四等水准测量的施测方法

三、四等水准测量的观测应在通视良好、成像清晰稳定的情况下进行。下面介绍双面尺法的观测程序。

(一) 水准测量每一站的观测顺序

三等水准测量一般采用“后—前—前—后”的观测顺序,即为:

后视黑面尺读上、下、中丝;

前视黑面尺读上、下、中丝;

前视红面尺读中丝;

后视红面尺读中丝。

这样的顺序主要是为了减小仪器下沉误差的影响。

四等水准测量每一站的观测顺序为:

后视黑面尺读上、下、中丝(1)、(2)、(3);

后视红面尺读中丝(4);

前视黑面尺读上、下、中丝(5)、(6)、(7);

前视红面尺读中丝(8)。

以上(1)、(2)、…、(8)表示观测与记录的顺序。这样的观测顺序简称为“后—后—前—前”。

四等水准测量每站观测顺序也可为“后—前—前—后”,方法同三等水准测量的观测顺序。

(二) 测站计算与校核

首先将观测数据(1)、(2)、…、(8)按表 2-6 的形式记录。

1. 视距计算

后视距离(9)=[(1)-(2)]×100;

前视距离(10)=[(5)-(6)]×100。

前、后视距差值(11)=(9)-(10),三等不超过 2m,四等不超过 3m。

前、后视距累积差(12)=前站(12)+本站(11),三等不得超过 5m,四等不超过 10m。

2. 同一水准尺红、黑面读数的检核

同一水准尺红、黑面中丝读数之差的检核:同一水准尺黑面中丝读数加上该尺常数 K (4.687m 或 4.787m),应等于红面中丝读数。

即:(13)=(3)+ $K_{后}$ -(4)

(14)=(7)+ $K_{前}$ -(8)

三等不得超过 2mm,四等不得超过 3mm。

3. 计算黑、红面的高差之差(15)、(16)

(15)=(3)-(7)

(16)=(4)-(8)

(17)=(15)-[(16)±0.1]=(13)-(14) (检核用)

三等(17)不得超过 3mm,四等(17)不得超过 5mm。式中 0.1 为两根水准尺红面的零点差,以米为单位。

4. 计算平均高差

(18)= $\frac{1}{2}\{(15)+[(16)±0.1]\}$

三、每页计算和检核

(一) 高差部分

红、黑面后视中丝总和减红、黑面前视中丝总和应等于红、黑面高差总和,还应等于平均高差总和的 2 倍。

测站数为偶数时,

$$\sum[(3) + (4)] - \sum[(7) + (8)] = \sum[(15) + (16)] = 2 \sum(18)$$

测站数为奇数时,

$$\sum[(3) + (4)] - \sum[(7) + (8)] = \sum[(15) + (16)] = 2 \sum(18) \pm 0.1$$

(二) 视距部分

后视距总和与前视距总和之差应等于末站视距累积差。即:

$$\sum(9) - \sum(10) = \text{末站}(12)$$

校核无误后,算出总视距:

$$\text{水准路线的总视距} = \sum(9) + \sum(10)$$

四、成果计算

在完成水准路线观测后,计算高差闭合差,经检核合格后,调整闭合差并计算各点高程。方法同本章第四节。表 2-6 是四等水准测量的记录、计算与检核表。

表 2-6 四等水准测量记录表

测站编号	后尺	下丝	前尺	下丝	方向及尺号	标尺读数		K+黑减红 (mm)	高差中数 (m)	备注
		上丝		上丝		黑面	红面			
	后视距		前视距							
	视距差 $d(m)$		累计差 $\sum d(m)$							
	(1)		(5)		后 K_1	(3)	(4)	(13)	(18)	$K_1=4\ 687$ $K_2=4\ 787$
	(2)		(6)		前 K_2	(7)	(8)	(14)		
	(9)		(10)		后—前	(15)	(16)	(17)		
	(11)		(12)							
1	2121		2196		后 K_1	1934	6621	0	-0.0745	
	1747		1821		前 K_2	2008	6796	-1		
	37.4		37.5		后—前	-0074	-0175	+1		
	-0.1		-0.1							
2	1914		2055		后 K_2	1726	6513	0	-0.142	
	1539		2055		前 K_1	1869	6554	+2		
	37.5		37.7		后—前	-0143	-0041	-2		
	-0.2		-0.3							
3	1974		2142		后 K_1	1836	6520	+3	-0.1735	
	1702		1875		前 K_2	2007	6796	-2		
	27.2		26.7		后—前	-0171	-0276	+5		
	+0.5		+0.2							

续表

测站 编号	后尺	下丝	前尺	下丝	方向及 尺号	标尺读数		K+黑减红 (mm)	高差中数 (m)	备 注
		上丝		上丝		黑面	红面			
	后视距		前视距			视距差 $d(m)$	累计差 $\sum d(m)$			
4	1589		2106		后 K_2	1358	6144	+1	-0.5155	
	1126		1640		前 K_1	1872	6561	-2		
	46.3		46.6		后-前	-0514	-0417	+3		
	-0.3		-0.1							

$$\begin{aligned} \sum(9) &= 148.4 & \sum(3) + \sum(4) &= 32.652 & \sum(15) + \sum(16) &= -1.811 \\ \rightarrow \sum(10) &= 148.5 & -\sum(7) + \sum(8) &= 34.463 \\ &= -0.1 & &= -1.811 \\ &= 4 \text{ 站}(12) & & & \sum(18) &= -0.9055 \\ \text{总视距 } \sum(9) + \sum(10) &= 296.9 & & & 2\sum(18) &= -1.811 \end{aligned}$$

第六节 微倾式水准仪的检验与校正

一、水准仪的几何轴线及其应满足的关系

微倾式水准仪的主要几何轴线有：视准轴、水准管轴、仪器竖轴和圆水准轴（如图 2-15 所示）。根据水准测量的原理，水准仪必须提供一条水平视线。为保证水准仪能提供一条水平视线，各轴线间应满足的几何条件是：

- (1) 圆水准器轴应平行于仪器竖轴 ($L_0L_0 // VV$)。
- (2) 十字丝横丝应垂直于仪器竖轴 (横丝 $\perp VV$)。
- (3) 水准管轴应平行于视准轴 ($LL // CC$)。

这些条件仪器在出厂时经检验都满足了，但由于长期的使用和运输过程中的震动，使仪器各部分的螺丝松动，各轴线之间的几何关系发生了变化。所以水准测量作业前，应对水准仪进行检验，如有问题，应该及时校正。

二、水准仪的检验和校正

(一) 圆水准器轴平行于仪器竖轴的检验与校正

检验：安置仪器后，调节脚螺旋使圆水准器气泡居中（如图 2-16a 所示）。然后将望远镜绕竖轴旋转 180° （如图 2-16b 所示）。此时若气泡仍然居中，则表示此项条件满足要求；若

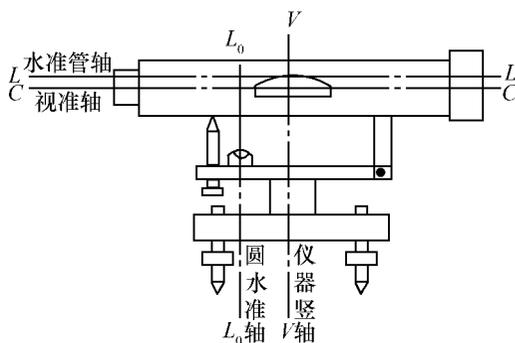


图 2-15

气泡不再居中,说明此项条件不满足,则应进行校正。

校正:校正时,用脚螺旋使气泡向零点方向移动偏离量的一半,这时竖轴处于铅直位置(如图 2-16c 所示)。然后用校正针调整圆水准器下面的三个校正螺丝,使气泡居中。这时,仪器的竖轴就竖直了。拨动三个校正螺丝前,应一松一紧,校正完毕后注意把螺丝紧固。校正必须反复数次,直到仪器转动到任何方向气泡都居中为止(如图 2-16d 所示)。

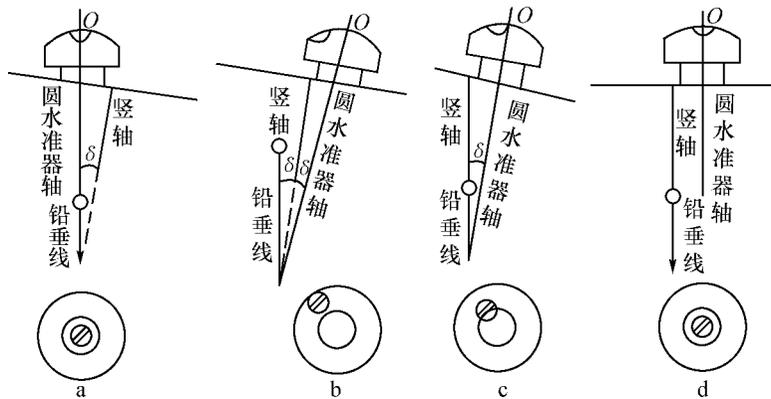


图 2-16

(二) 十字丝横丝垂直于仪器竖轴的检验与校正

检验:水准仪整平后,用十字丝横丝的一端瞄准与仪器等高的一固定点,如图 2-17a 中的 P 点。固定制动螺旋,然后用微动螺旋缓缓地转动望远镜(如图 2-17b 所示)。若该点始终在十字丝横丝上移动,说明此条件满足;若该点偏离横丝,表示条件不满足,需要校正,如图 2-17c、d 所示。

校正:旋下靠目镜处的十字丝环外罩,用螺丝刀松开十字丝环的四个固定螺丝(如图 2-18 所示),按横丝倾斜的反方向转动十字丝环,直到满足要求为止,最后旋紧十字丝环固定螺丝。

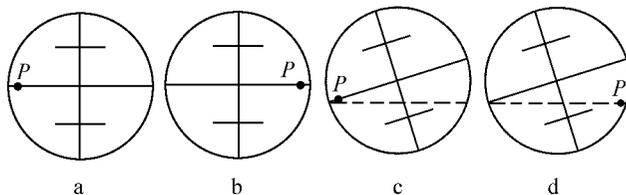


图 2-17

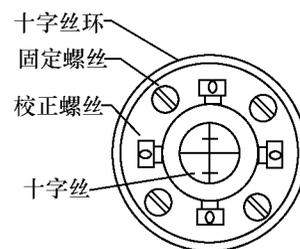


图 2-18

(三) 水准管轴平行于视准轴的检验与校正

检验:在较平坦的地面上选定相距 80~100m 的 A 、 B 两点。

(1) 如图 2-19 所示,将水准仪安置在 A 、 B 两点中点,使两端距离相等,用变化仪器高法测出 A 、 B 两点的两次高差,两次测得的高差小于 5mm 时,取平均值 h_{AB} 作为最后结果。

由于仪器距两尺的距离相等,从图 2-19 中可见,无论水准管轴是否平行于视准轴,在 C 点处测出的高差 h_{AB} 都是正确高差。

$$h_{AB} = (a_1 - x) - (b_1 - x) = a - b \quad (2.19)$$

设水准轴不平行视准轴所夹角度为 i ,可见即使有 i 角误差存在,测得的高差仍为正确的。这就说明在水准测量中将仪器放在两尺中点处可以消除 i 角误差的影响。

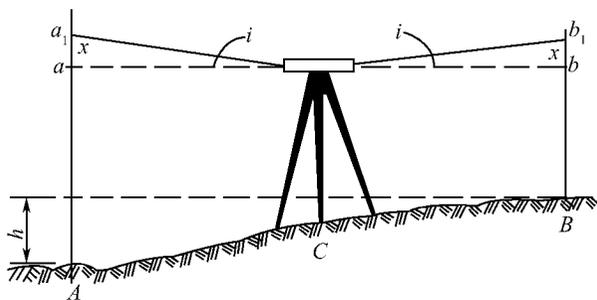


图 2-19

(2) 将水准仪搬至距离 A 点(或 B 点)约 $2\sim 3\text{m}$ 处(如图 2-20 所示)。

精平后读取中丝读数 a_2 和 b_2 。因为仪器离 A 点很近, i 角误差引起的读数偏差可忽略不计,因此根据 a_2 和正确高差 h_{AB} ,算出 B 点尺上视线水平时的正确读数 b_2' 。

$$b_2' = a_2 - h_{AB} \quad (2.20)$$

如果 $b_2' = b_2$,说明两轴平行;否则,有 i 角误差存在。

$$i = \frac{b_2 - b_2'}{D_{AB}} \rho \quad (2.21)$$

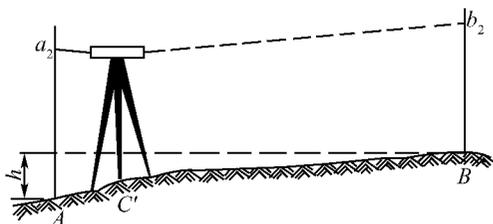


图 2-20

当 $i > 0$ 时,视线上倾,当 $i < 0$ 时,视线下倾。

规范中规定 DS_3 型水准仪的 i 角大于 $20''$ 时需要进行校正。

校正:转动微倾螺旋,使十字丝的横丝对准 B 点尺上读数 b_2' 处,此时视准轴处于水平位置,而水准管气泡不再居中,用校正针先拨松水准管左、右端校正螺丝,再拨动上、下两个校正螺丝,使偏离的气泡重新居中,最后要将校正螺丝旋紧。此项校正需反复进行,直至达到要求为止。

第七节 水准测量的误差分析

水准测量误差主要有三个方面,即仪器误差、观测误差和外界条件的影响。研究误差主要是为了找出消除和减少误差的方法,以提高测量精度。

一、仪器误差

(一) 仪器误差

水准仪经校正后,仍存在有视准轴不平行水准管轴的残余误差,此项误差与仪器至立尺点距离成正比。在测量中,使前、后视距离相等,在高差计算中就可消除该项误差的影响。

(二) 水准尺误差

该项误差包括水准尺分划不准确和零点误差等。不同精度等级的水准测量对水准尺有不同的要求,精密水准仪测量要用经过检定的水准尺,一般不用塔尺。尺子零点误差可采取设置偶数测站的方法来消除。

二、观测误差

(一) 水准气泡居中误差

水准测量时通过水准管气泡居中来实现视线水平的条件。由于水准管内液体与管壁的粘滞作用和观测者眼睛分辨能力的限制,致使气泡没有严格居中引起的误差。水准管气泡居中误差一般为 $\pm 0.15\tau$ (τ 为水准管的分划值)采用符合水准器时,气泡居中精度可提高1倍。故由气泡居中误差引起的读数误差为:

$$m_{\tau} = \frac{0.15\tau D}{2\rho} \quad (D \text{ 为视线长度}) \quad (2.22)$$

(二) 读数误差

是观测者在水准尺上估读毫米数的误差,与人眼分辨能力、望远镜放大率以及视线长度有关。通常按下式计算:

$$m_v = \frac{60'' D}{v \rho} \quad (2.23)$$

式中, v 为望远镜放大率; $60''$ 为人眼分辨的最小角度。

为保证读数精度,各等级水准测量对仪器望远镜的放大率和最大视线长度都有相应规定。

(三) 水准尺倾斜的误差

水准尺倾斜会使读数增大,其误差大小与尺倾斜的角度和在尺上的读数大小有关。当尺子倾斜 2° 时,会造成大约1mm的读数误差。

三、外界条件影响

(一) 地球曲率和大气折光的影响

由于光线的折射作用,使视线不成一条直线。靠近地面的温度较高,空气密度较稀,因此视线离地面越近,折射就越大,并使尺子上的读数改变,所以在规范上规定视线必须高出地面一定的高度。水平视线在水准尺上的读数理论上应为在相应水准面上的读数,两者之差就是地球曲率的影响,在一般比较稳定的情况下,大气折光的影响为地球曲率影响的 $1/7$,且符号相反。地球曲率和大气折光的共同影响为:

$$f = \left(1 - \frac{1}{7}\right) \frac{D^2}{2R} = 0.43 \frac{D^2}{R} \quad (2.24)$$

式中, D 为视线长度, R 为地球半径。

当前、后视距相等时,这两项误差可以消除。

(二) 尺子和仪器下沉的影响

这项误差主要是由于地面松软,加上仪器、尺子和尺垫的重量,使仪器和尺子产生下沉,造成测量的结果和实际不符。因此,仪器必须安置在土质坚固的地面上,将脚架踩实,以提高观测精度。

由于误差是不可避免的,因此无法完全消除误差的影响,但可以采取一定的措施减小误差的影响,提高测量结果的精度。同时应避免测量人员疏忽大意造成的错误,水准测量时测量人员应认真执行水准测量规范,注意以下事项:

- (1) 放置仪器时,尽量使前、后视距相等。
- (2) 读数时符合水准气泡必须居中。
- (3) 前、后视线长度一般不超过 100m,视线离地面高度一般应大于 0.3m,使三丝都能读数。
- (4) 读数时,水准尺要竖直。
- (5) 未完成本站观测,立尺员不能将后视点上的尺垫碰动或拔起,在下一站观测完成前应保持不动。
- (6) 用塔尺进行水准测量时,应注意接头处连接是否正确,避免自动下滑未被发现。
- (7) 记录员应大声回报观测者报出的数据,避免听错、记错,或错记前、后视读数位置。
- (8) 避免误把十字丝的上、下视距丝当做十字丝横丝在水准尺上的读数。
- (9) 在光线强烈的情况下观测,必须撑伞遮阳。

第八节 精密水准仪和电子水准仪简介

一、精密水准仪

DS₀₅ 和 DS₁ 级水准仪属于精密水准仪,主要用于国家一、二等水准测量。精密水准仪的构造与 DS₃ 型微倾式水准仪基本相同,但精密水准仪的望远镜的放大倍率更高,一般不小于 40 倍。水准管的分划值更小,水准管的分划值均不大于 10"/2mm。

精密水准仪上装有平行玻璃板测微器,测微器的最小格值一般为 0.05mm,具有很高的读数精度。精密水准测量所用的尺子为精密水准尺,精密水准尺一般在木质尺身的中间槽内,镶有一根因瓦合金尺带,尺带上有刻画,刻画值注记在木尺上,尺的刻画间隔为 0.5cm,左面一排为奇数值,右面一排为偶数值。读数时,先用微倾螺旋使符合水准器的气泡精确符合,再转动测微轮使十字丝的楔形丝精确地夹准标尺上和它最近的一根刻画线,再从测微尺的读数窗内读取小数部分。各种精密水准仪的读数不尽相同,具体使用可根据仪器使用说明书了解读数方法。

二、自动安平水准仪和激光扫平仪

(一) 自动安平水准仪

自动安平水准仪没有水准管和微倾螺旋,而是在望远镜的镜筒内安装了一个“自动补偿器”。用自动补偿器代替水准管,观测时,只需将仪器圆水准气泡整平,便可进行中丝读数。由于省略了“精平”过程,从而简化了操作,提高了观测速度。

使用自动安平水准仪前应检查补偿器是否失灵,检查时,可先瞄准一根水准尺,整平仪

器后读数,然后微微转动脚螺旋,若此时读数不变,说明补偿器工作正常。否则,说明补偿器有故障,不能使用,需要维修。

(二) 激光扫平仪

激光扫平仪是一种新型的自动安平平面的定位仪器。这种仪器根据安置在仪器内的激光器发射橙红色激光束进行扫描,从而形成一个可见的激光水平面,用专用的测尺可测定任意点的高程,特别适用于施工测量中各垫层或层面的抄平工作。

三、电子水准仪

电子水准仪采用电子光学系统自动记录数据来代替人工读数,使工作效率和测量精度大幅提高。电子水准仪在自动量测高程的同时,还可以进行视距测量。因此,电子水准仪可用于水准测量、地形测量和施工测量中。与电子水准仪配套使用的水准尺为条纹编码尺,由玻璃纤维或钢制成。

电子水准仪的操作简单,在粗略整平仪器并瞄准目标后,按下测量键后 3~4 秒即可得到中丝读数和视距。即使标尺倾斜、调焦不很清晰也能观测,仅观测速度略受影响。观测中尺子被局部遮挡,仍可进行观测。

电子水准仪还可进行自动连续测量,自动记录的数据,也可直接输入计算机进行处理。

习 题

1. 绘图说明水准测量的基本原理。
2. 什么叫视准轴?什么叫水准管轴?
3. 什么叫水准管分划值?它的大小和整平仪器的精度有什么关系?
4. 什么叫视差?产生视差的原因是什么?如何消除视差?

5. 水准仪的圆水准器和管水准器的作用有何不同?水准测量时,读完后视读数后转动望远镜瞄准前视尺时,圆水准气泡和符合气泡都有少许偏移(不居中),这时应如何调节仪器才能读前视读数?

6. 图 2-21 为普通附合水准路线观测成果,试按测站数调整闭合差,并计算各待定点高程(已知 $H_{BM1} = 35.48\text{m}$, $H_{BM2} = 40.40\text{m}$)。

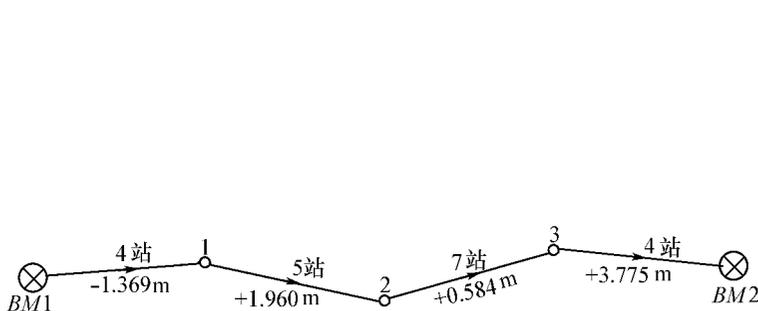


图 2-21

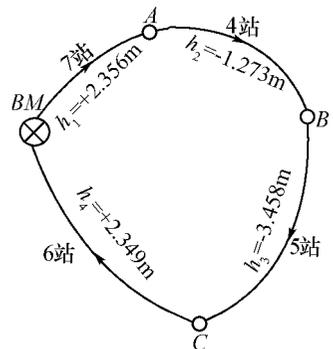


图 2-22

7. 图 2-22 为普通闭合水准路线观测成果, 试按测站数调整闭合差, 并计算各待定点高程(已知 $H_{BM}=56.78\text{m}$)。

8. 计算完成表 2-7 中四等水准测量外业测量成果($K_1=4.687, K_2=4.787$)。

表 2-7 四等水准测量观测记录表

测站 编号	后尺	下丝	前尺	下丝	方向及尺号	标尺读数		K+黑减红 (mm)	高差中数 (m)	备注
	后视距	上丝	前视距	上丝		黑面	红面			
		视距差 d		累计差 $\sum d$						
1	1568		1409		后 K_2	1298	6084			
	1023		0856		前 K_1	1135	5820			
					后-前					
2	2108		1947		后 K_1	1895	6584			
	1687		1524		前 K_2	1736	6524			
					后-前					
3	1785		1411		后 K_2	1520	6309			
	1264		0896		前 K_1	1152	5840			
					后-前					
4	1958		1562		后 K_1	1540	6230			
	1124		0723		前 K_2	1143	5928			
					后-前					
5	1852		1689		后 K_2	1586	6374			
	1321		1153		前 K_1	1421	6108			
					后-前					

$$\begin{aligned} \sum(9) &= & \sum(3) + \sum(4) &= & \sum(15) + \sum(16) &= \\ -) \sum(10) &= & -) \sum(7) + \sum(8) &= & &= \\ \hline \sum(18) &= & & & & \\ \text{总视距 } \sum(9) + \sum(10) &= & 2\sum(18) &= & & \end{aligned}$$

9. 水准仪有哪些轴线? 它们之间应满足什么条件? 其中什么是主要条件?

10. 水准测量的误差有哪些? 怎样减小或消除?

第三章 角度测量

确定地面点位一般要进行角度测量,角度测量是测量的基本工作之一。角度测量包括水平角测量和竖直角测量。本章主要介绍角度测量的基本原理、角度测量的仪器和测角方法。

第一节 角度测量原理

一、水平角及其测量原理

水平角是指空间两条直线在水平面上投影所形成的水平夹角。水平角一般用 β 表示,数值范围在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间。

如图 3-1 所示, A 、 B 、 C 为地面上高度不同的三点,将三点沿铅垂线方向投影到水平面上,得到相应的 a 、 b 、 c 点,水平线 ab 、 ac 的夹角 $\angle bac$ 即为 B 、 C 两点对 A 点所形成的水平角 β 。可以看出, β 也就是过直线 AB 和 AC 所做的两个铅垂面之间的两面角。

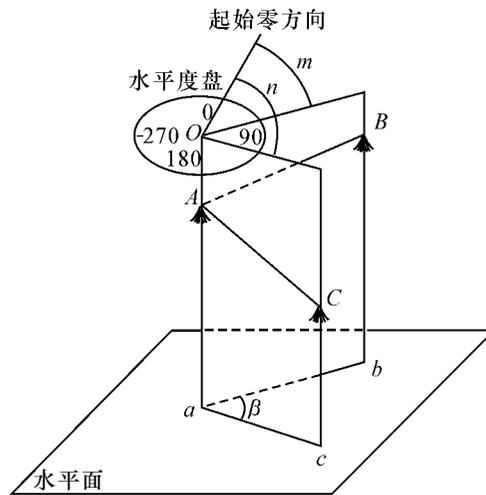


图 3-1 水平角测量原理

为了测量水平角大小,可以假设在 A 点的地面上安置一个水平圆盘,圆盘上刻有刻度,称之为水平度盘。水平度盘的中心 O 可以安放在通过 A 点的铅垂线的任一位置。仪器上

再安置瞄准远处目标的望远镜,望远镜即能在水平方向旋转,也能在竖直面内旋转。这样,通过望远镜瞄准地面上目标 B ,在水平度盘上读出读数 b ,再瞄准地面上目标 C ,读出水平度盘的读数 c 。

则,水平角 $\beta=c-b$ (3.1)

二、竖直角及其测量原理

在同一竖直面内,照准方向线(视线)与水平视线的夹角称为竖直角,用 α 表示。竖直角的范围在 $0^\circ\sim\pm 90^\circ$ 之间,当视线方向位于水平线上方时,竖直角为正值,称为仰角;当视线方向位于水平线下方时,竖直角为负值,称为俯角。

观测竖直角时,可在 O 点上放置竖直度盘,视线方向与水平线在竖直度盘上的读数之差,即为所测竖直角值。图 3-2 为竖直角的测量原理。

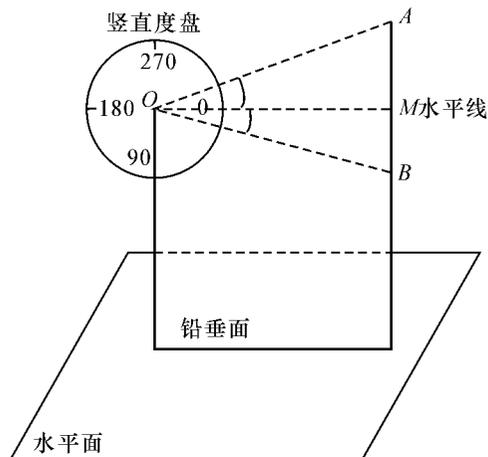


图 3-2 竖直角测量原理

经纬仪就是根据上述角度测量的原理和要求而制造的角度测量仪器,它既可用于测量水平角,也可用于测量垂直角。同时,还可以进行距离测量。

第二节 光学经纬仪及其使用

经纬仪是角度测量的主要仪器,经纬仪按测角原理可以分为光学经纬仪和电子经纬仪。我国生产的经纬仪有 DJ01、DJ1、DJ2、DJ6 等类型,“D”、“J”分别为“大地测量”和“经纬仪”汉语拼音的第一个字母,01、1、2、6 表示该仪器一测回方向观测值中误差不超过的秒数。一测回方向观测值中误差为 2 秒及 2 秒以内的经纬仪属于精密经纬仪,一测回方向观测值中误差为 6 秒及 6 秒以上的经纬仪属于普通经纬仪。

在工程测量和地形测量中经常使用 DJ6 光学经纬仪,由于生产厂家的不同,DJ6 型经纬仪部件、结构及读数方法不完全一样。

一、DJ6 光学经纬仪的基本构造

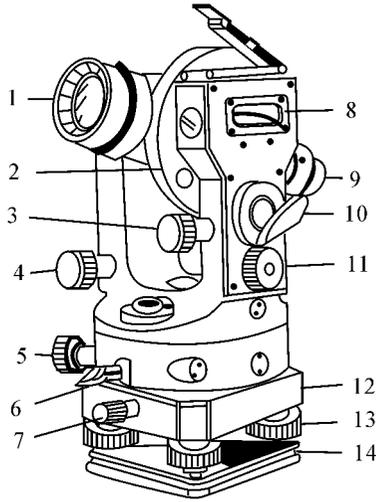


图 3-3 DJ6 光学经纬仪外形示意图
1—物镜;2—竖直度盘;3—竖盘指标水准管微动螺旋;4—望远镜微动螺旋;5—水平微动螺旋;6—水平制动螺旋;7—中心锁紧螺旋;8—竖盘指标水准管;9—目镜;10—反光镜;11—测微轮;12—基座;13—脚螺旋;14—连接板

DJ6 光学经纬仪的外形如图 3-3 所示,它主要由照准部、水平度盘和基座三部分组成。

(一) 照准部

照准部位于仪器基座上方,能够绕竖轴转动。照准部由望远镜、竖直度盘、水准器、光学读数设备、水平制动螺旋与水平微动螺旋、望远镜制动螺旋与望远镜微动螺旋等部件构成。

望远镜用于瞄准目标,由物镜、目镜、十字丝分划板和调焦透镜组成。

竖直度盘(简称竖盘)固定在横轴的一端,用于测量竖直角。竖直角测量时通过调整竖盘指标水准管微动螺旋使竖盘指标水准管气泡居中。目前,有许多经纬仪已不采用竖盘指标水准管,而用竖盘自动归零装置代替其功能。

照准部水准管用于精确整平仪器,圆水准器用于粗略整平仪器。

望远镜在水平方向的转动由水平制动螺旋和水平微动螺旋控制。望远镜与竖盘固连在一起,安置在仪器的支架上,支架上装有望远镜的制动螺旋和微动螺旋,以控制望远镜在竖直方向的转动。

(二) 水平度盘

水平度盘是由光学玻璃制成的精密刻度盘,其边缘按顺时针方向刻有分划,分划从 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$,用以测量水平角。

水平度盘的转动可由度盘变换手轮来控制,照准部旋转时水平度盘并不随之转动。如要改变水平度盘的读数,可以转动变换手轮。还有少数仪器采用复测装置,当复测扳手扳下时,照准部与度盘结合在一起,照准部转动,度盘随之转动,度盘读数不变;当复测扳手扳上时,两者相互脱离,照准部转动时就不再带动度盘,度盘读数就会改变。

(三) 基座

基座位于仪器的下部,由轴座、脚螺旋和底板等部件组成。基座用于支撑仪器上部结构,通过中心螺旋与三角架连接。基座上装有三个脚螺旋,用于整平仪器。

二、DJ6 光学经纬仪的读数方法

DJ6 光学经纬仪的型号不同,读数方法也不相同。常见的 DJ6 光学经纬仪的读数有分微尺测微器和单平行玻璃板测微器两种。

(一) 分微尺测微读数方法

分微尺读数窗如图 3-4 所示。上窗是水平度盘的读数,标有“水平”或“H”,下窗是竖直度盘的读数,标有“竖直”或“V”。分微尺将一度弧长均匀地分成 60 格,每格为 $1'$ 。每 10

格标有注记:0,1,2,⋯,6。读数时,估读到 0.1′即 6″。

读数时首先读取分微尺内的度分划作为度数,再读取分微尺 0 分划线至度盘度分划线所在的分微尺上的分数,最后估读秒数。以上读数之和即为水平度盘读数,如图 3-4 的水平度盘(注有 H 的读数窗)的读数是 $245^{\circ}54.2′$ (即 $245^{\circ}54′12″$),竖直度盘(注有 V 的读数窗)的读数应为 $87^{\circ}06.4′$ (即 $87^{\circ}06′24″$)。

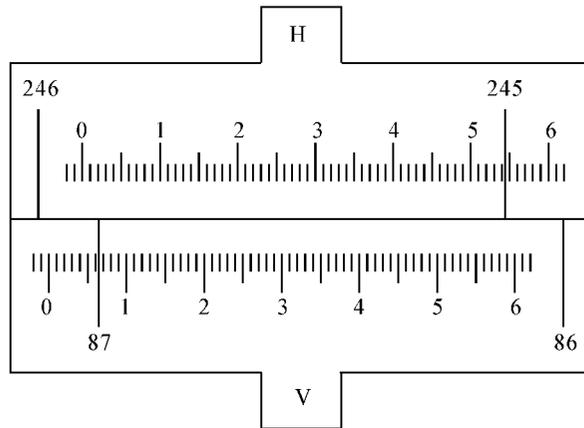


图 3-4

目前,工程施工部门使用的 DJ6 级光学经纬仪,绝大部分配置的是分微尺测微器。

(二) 单平板玻璃测微装置

这种仪器的水平度盘刻划刻有 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 共 720 格,每格 $30′$,测微器刻划为 $0′\sim 30′$ 共 90 格,每格 $20″$,可以估读到 $1/4$ 格(即 $5″$)。在图 3-5 中,最上的小框为测微器,中间为竖直度盘,最下面为水平度盘。读数时,转动测微手轮,使度盘分划线精确地平分双指标线,按双指标线所夹的度盘分划线读取取度数和 $30′$ 的整分数,不足 $30′$ 的读数从测微器中读出。图 3-5a 的读数为竖直度盘的读数: $87^{\circ}30′ + 26′30″ = 87^{\circ}56′30″$,图 3-5b 的读数为水平度盘的读数: $33^{\circ}00′ + 18′10″ = 33^{\circ}18′10″$ 。

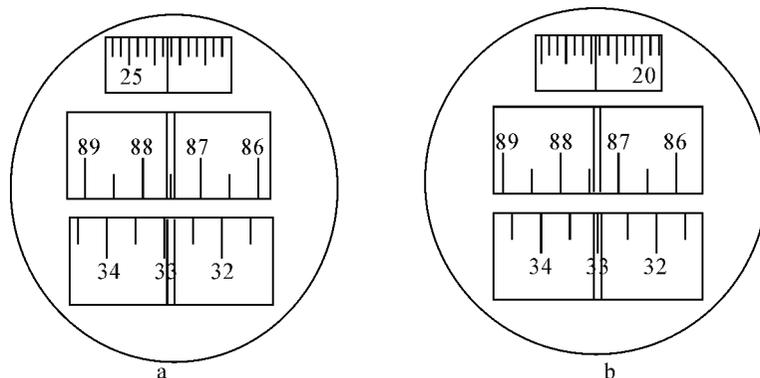


图 3-5

三、光学经纬仪的使用

经纬仪的使用包括仪器安置、瞄准和读数三项。

(一) 仪器安置

在用经纬仪进行测角之前,必须把仪器安置在测站上。经纬仪的安置包括对中和整平两项工作。

1. 对中

对中的目的是使仪器的中心(竖轴)与测站点(角顶)位于同一铅垂线上。对中的方法有两种:垂球对中、光学对中。

(1) 垂球对中。

首先根据观测者身高调整好三角架腿的长度,把三角架张开,架在测站点上,使高度适宜,架头大致水平。将仪器取出放在三角架上,旋紧连接螺旋,挂上垂球,使垂球尖接近地面点位。如果垂球中心离测站点较远,可平行移动三角架使垂球大致对准点位;如果还有偏差,可以把连接螺旋稍微松开,在架头上移动仪器精确对准测站点,旋紧连接螺旋即可。对中误差一般小于 3mm。

(2) 光学对中器对中。

使用光学对中器对中,应与整平仪器结合进行。光学对中的方法步骤为:

① 将仪器安置在测站点上,三个脚螺旋调至中间位置,使架头大致水平,仪器中心大致处于测站点的铅垂线上。

② 调节光学对中器目镜,使视场中的分划清晰,再推拉整个对中器镜筒进行调焦,使地面标志点的影像清晰。

③ 旋转脚螺旋使光学对中器对准测站点的标志。

④ 保证三角架的着地点位不动,通过伸缩三角架腿使圆气泡居中。

⑤ 转动脚螺旋使水准管精确居中,精平仪器。

⑥ 再检查仪器是否精确对中,如果测站点偏离光学对中器中心,可稍微松开三角架连接螺旋,在架头上平移仪器对中。

⑦ 重新检查仪器,直到完全对中和整平为止。

2. 整平

整平的目的是使仪器的水平度盘水平、竖轴处于铅直位置。整平的方法为:

(1) 转动仪器照准部,使照准部水准管轴平行于任意两个脚螺旋的连线(如图 3-6a 所示),用双手同时向内或向外等量转动这两个脚螺旋使气泡居中,气泡移动的方向与左手大拇指移动的方向一致。

(2) 将照准部转动 90° (如图 3-6b 所示),使照准部水准管轴垂直于原来两个脚螺旋的连线位置,调整第三只脚螺旋使水准管气泡居中。

整平一般需要反复进行几次,直至照准部转到任何位置水准管气泡都居中为止。

(二) 瞄准

瞄准就是用望远镜十字丝交点精确对准测量目标。其操作步骤为:

(1) 松开仪器水平制动螺旋和望远镜制动螺旋,用望远镜上方的瞄准器对准目标,然后拧紧水平制动螺旋和望远镜制动螺旋。

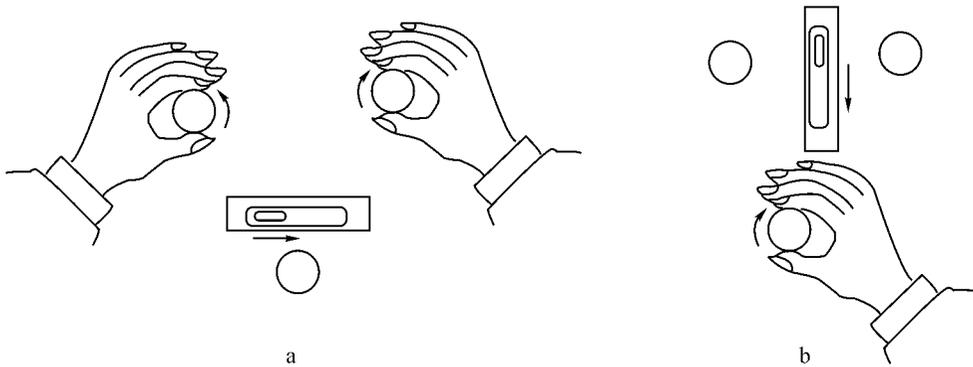


图 3-6

(2) 转动物镜调焦螺旋,使目标成像清晰,转动目镜调焦螺旋,使十字丝成像清晰,注意消除视差。

(3) 转动水平微动螺旋和望远镜微动螺旋,使十字丝精确对准目标点。

观测水平角时,用纵丝瞄准。用双纵丝瞄准时,使目标影像夹在双纵丝内且与双纵丝对称;用单纵丝瞄准时,用单纵丝平分目标或与目标影像重合。观测竖直角时,用横丝瞄准目标,应使用十字丝中丝与目标顶部相切。

(三) 读数

打开反光镜,并调整其位置,使进光明亮均匀,然后进行读数显微镜调焦,使读数窗分划读数清晰。

对于分微尺读数装置的仪器,可以直接读数。对于单平板玻璃测微器的仪器,则必须旋转测微手轮,使度盘上的某分划线位于双指标线中间后才能读数。

竖直角读数前,首先要看仪器是采用指标自动补偿器,还是采用指标水准器。如果采用指标水准器,读数前则必须转动竖盘指标水准器微动螺旋使竖盘指标水准器气泡居中。

第三节 水平角观测

水平角的观测方法,一般根据观测目标的多少来决定,常采用的观测方法有:测回法、全圆测回法。

一、测回法

测回法适用于观测只有两个方向的单个角度,是水平角观测的基本方法。

采用测回法观测,先进行盘左观测,再进行盘右观测。最后结果取盘左、盘右观测结果的平均值。如图 3-7 所示,具体观测步骤如下:

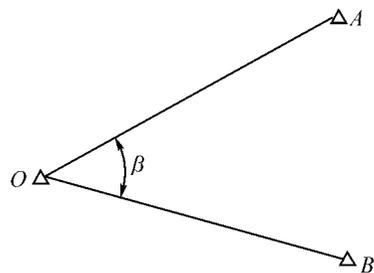


图 3-7 测回法观测水平角

(1) 将仪器安置在测站点 O 点, 对中、整平。

(2) 盘左位置(从望远镜目镜向物镜方向看, 垂直度盘位于望远镜左边)照准观测目标 A , 将水平度盘读数设置为 $0^\circ \sim 1^\circ$ 之间。读取水平度盘读数 a_1 , 记入观测手簿中。

(3) 顺时针转动照准部, 照准目标 B , 读取水平度盘读数 b_1 , 记入观测手簿。

以上过程称为上半测回(也称盘左半测回或正镜)所得上半测回水平角 β_1 为:

$$\beta_1 = b_1 - a_1 \quad (3.2)$$

(4) 倒转望远镜使经纬仪变为盘右(从望远镜目镜向物镜方向看, 垂直度盘位于望远镜右边)位置, 仍照准目标 B , 读取水平度盘读数 b_2 , 记入观测手簿。

(5) 逆时针转动照准部, 照准目标 A , 读取水平度盘读数 a_2 , 记入观测手簿。

以上过程称为下半测回(也称盘右半测回或倒镜)所得下半测回水平角 β_2 为:

$$\beta_2 = b_2 - a_2 \quad (3.3)$$

上、下半测回合称为一测回。当上、下半测回角度差在精度允许的范围时, 取上、下半测回的平均值作为一测回的角值 β :

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \quad (3.4)$$

采用盘左、盘右两个位置观测水平角, 可以抵消某些仪器构造误差对测角的影响, 同时可以检核观测中是否有错误。由于水平度盘注记是顺时针方向增加的, 因此在计算角值时, 无论是盘左还是盘右, 均应用右侧目标的读数减去左侧目标的读数, 如果不够减, 则应加上 360° 再减。为了提高测量精度, 往往需对某角度观测多个测回, 当观测几个测回时, 为了减少度盘分划不均匀误差的影响, 各测回应根据测回数 n , 按 $180^\circ/n$ 变换水平度盘位置, 即每测回度盘起始读数的递增值为 $180^\circ/n$ 左右。对于 DJ6 经纬仪半测回角度差应小于 $40''$, 各测回角值之差应小于 $24''$, 如果超限, 应该找出原因并重测, 表 3-1 为测回法观测记录表。

表 3-1 测回法观测记录表

测站	测回	垂直度盘位置	目标	度盘读数		半测回角值		一测回角值		各测回平均角值	备注	
				°	'	''	°	'	''			°
O	1	左	A	0	00	06	85	35	42	85	35	41
			B	85	35	48						
		右	A	180	00	12	85	35	36			
			B	265	35	48						
O	2	左	A	90	01	06	85	35	48	85	35	42
			B	175	36	54						
		右	A	270	01	06	85	35	36			
			B	355	36	42						

二、全圆测回法

当一个测站上需要观测两个以上方向时, 通常采用全圆测回法观测水平角。全圆测回法也称为全圆方向法, 它是将某一个目标作为起始方向(又称零方向), 依次观测出其余各个

目标相对于起始方向的方向值,然后根据方向值计算水平角值。

如图 3-8 所示,欲在测站 O 上观测 A 、 B 、 C 、 D 四个方向,测出它们的方向值,然后计算它们之间的水平角值,其观测步骤如下:

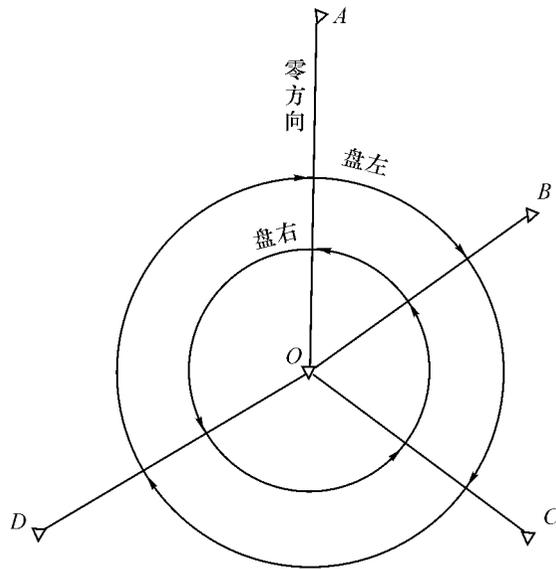


图 3-8 全圆测回法观测水平角

(一) 观测步骤

- (1) 将仪器安置于测站点 O 上,对中、整平。
- (2) 选与 O 点相对较远的目标点 A 作为零方向。
- (3) 用盘左位置,照准目标点 A ,配置度盘的起始读数。读取该读数,记入手簿中。
- (4) 顺时针方向转动照准部,依次照准目标 B 、 C 、 D ,读取相应水平度盘读数,记入手簿中。
- (5) 为了检查观测过程中水平度盘有无变动,需顺时针方向瞄回零方向 A ,读取水平度盘读数,记入手簿。这一步骤称为“归零”,两次零方向读数之差称为半测回归零差。使用 DJ6 经纬仪观测,半测回归零差不应大于 $18''$ 。如果半测回归零差超限,应立即查明原因重测。

步骤(3)~(5)为上半测回,可见上半测回的观测次序为 $A-B-C-D-A$ 。

- (6) 倒转望远镜成盘右位置,逆时针转动照准部,照准零方向 A ,读取读数,记入手簿中。
- (7) 逆时针方向转动照准部,依次照准目标 D 、 C 、 B ,读取相应水平度盘读数,记入观测手簿中。
- (8) 逆时针方向瞄回零目标点 A ,读取水平度盘读数记入手簿,并计算归零误差是否超限,其限差规定同上半测回。步骤(6)~(8)为下半测回,可见下半测回的观测次序为 $A-D-C-B-A$ 。

上、下半测回合起来称为一测回,表 3-2 为全圆测回法观测记录表。

表 3-2 全圆测回法观测记录表

测站	测回数	目标	水平度盘读数		2C "	平均读数 。 / ' "	归零方向值 。 / ' "	各测回平均 归零方向值 。 / ' "	水平角值 。 / ' "
			盘左 。 / ' "	盘右 。 / ' "					
O	1	A	0 00 06	180 00 18	-12	(0 00 16) 0 00 12	0 00 00	0 00 00	81 53 52
		B	81 54 06	261 54 00	+06	81 54 03	81 53 47	81 53 52	71 38 40
		C	153 32 48	333 32 48	0	153 32 48	153 32 32	153 32 32	130 33 28
		D	284 06 12	104 06 06	+06	284 06 09	284 05 53	284 06 00	75 54 00
		A	0 00 24	180 00 18	+06	0 00 21			
	1	A	90 00 12	270 00 24	-12	(90 00 21) 90 00 18	0 00 00		
		B	171 54 18	351 54 18	0	171 54 18	81 53 57		
		C	243 32 48	63 33 00	-12	243 32 54	153 32 33		
		D	14 06 24	194 06 30	-6	14 06 27	284 06 06		
		A	90 00 18	270 00 30	-12	90 00 24			

(二) 全圆测回法的计算及限差规定

1. 2C 的计算及限差规定

2C 是两倍视准轴误差,它在数值上等于一测回同一方向的盘左读数 L 与盘右读数 $R \pm 180^\circ$ 之差,即:

$$2C = L - (R \pm 180^\circ) \quad (3.5)$$

如果观测目标大致在水平方向,则 2C 值应该为一常数。但在实际观测中,由于观测误差的产生不可避免,各方向的 2C 值不可能相等,它们之间的差值,称为 2C 变动范围。规范规定,DJ2 经纬仪的 2C 变动范围不应超过 $13''$;对于 DJ6 经纬仪,2C 变动范围的大小仅供观测者自检,不作限差规定。

2. 计算各方向读数的平均值

取每一方向盘左读数与盘右读数 $\pm 180^\circ$ 的平均值,作为该方向的平均读数。

$$\text{平均读数} = \frac{1}{2} [L + (R \pm 180^\circ)] \quad (3.6)$$

由于归零起始方向有两个平均读数,应再取其平均值,作为起始方向的平均读数。

3. 各测回同一方向归零方向值的计算

将零方向的平均读数自减化为 $0^\circ 00' 00''$,其他各目标的平均读数都减去零方向的平均读数,得到各方向的归零方向值,即:

$$\text{归零方向值} = \text{平均读数} - \text{零方向平均读数} \quad (3.7)$$

如果进行多个测回观测,同一方向各测回观测得到的归零方向值理论上应该相等,它们之间的差值称为“同一方向各测回归零值之差”,规范规定,DJ6 经纬仪同一方向各测回归零值之差不应大于 $24''$,DJ2 级经纬仪不应大于 $9''$ 。

4. 各测回平均归零方向值的计算

将各测回同一方向的归零方向值相加并除以测回数,即得该方向各测回平均归零方向值。

5. 水平角计算

将组成该角的两方向的方向值相减即可求得该水平角。

DJ6 和 DJ2 经纬仪的限差要求见表 3-3。

表 3-3 全圆测回法观测水平角限差

仪器	半测回归零差	一测回 2C 互差	同一方向各测回互差
DJ2	8"	13"	9"
DJ6	18"		24"

第四节 竖直角观测

一、竖直度盘的构造

竖直度盘也称竖盘,它的主要部件包括竖直度盘、竖盘指标水准管和竖盘指标水准管微动螺旋。在经纬仪望远镜旋转轴的一端安装一个刻有度数的圆度盘,称之为竖直度盘。竖直度盘与望远镜固连在一起,其中心与望远镜旋转轴中心重合。当望远镜上下转动时,望远镜带动竖直度盘一起转动,而用来读取竖直度盘读数的指标并不随望远镜转动,因此可以读取不同的角度。将望远镜视线水平时的竖直度盘读数设置为一固定值,用望远镜照准目标点,读出目标点对应的竖直度盘读数,根据该读数与望远镜视线水平时的竖直度盘读数就可以计算出竖直角。

竖直度盘指标与竖直度盘指标水准管连在一个微动架上,转动竖直度盘指标水准管微动螺旋,可以改变竖直度盘分划线影像与指标线之间的相对位置。在正常情况下,当竖直度盘指标水准管气泡居中时,竖直度盘指标就处于正确位置。因此,在观测竖直角时,每次读取竖直度盘读数之前,都应先调节竖直度盘指标水准管的微动螺旋,使竖直度盘指标水准管气泡居中。

另外,还有一些型号的经纬仪,其竖直度盘指标装有自动补偿装置,能自动归零,因而可直接读数。

二、竖直角的计算公式

竖直角为同一竖直面内照准方向线与水平视线的夹角。经纬仪视线水平时,竖盘的读数称为始读数,始读数一般为 0° 、 90° 、 180° 或 270° 。观测竖直角与观测水平角一样,也是两个方向读数之差。其中一个方向(视线水平方向)的读数是一个定值。

竖直度盘注记有顺时针和逆时针两种不同形式,因此竖直角的计算公式也不同。

(一) 竖盘顺时针注记形式

图 3-9 为顺时针注记度盘。图 3-9a 为盘左位置视线水平时的读数,此时为 90° 。当望远镜逐渐抬高(仰角),竖盘读数 L 在逐渐减小,如图 3-9b 所示。因此上半测回竖直角为:

$$\alpha_L = 90^\circ - L \quad (3.8)$$

图 3-9c 为盘右位置视线水平时的读数,此时为 270° 。当望远镜逐渐抬高(仰角),竖

盘读数 R 在逐渐增大,如图 3-9d 所示。因此下半测回竖直角为:

$$\alpha_R = R - 270^\circ \quad (3.9)$$

式中, L 、 R 分别为盘左、盘右瞄准目标的竖盘读数。

一测回竖直角值为盘左和盘右所测定的竖直角的平均值,即:

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{左}} + \alpha_{\text{右}}}{2} \quad (3.10)$$

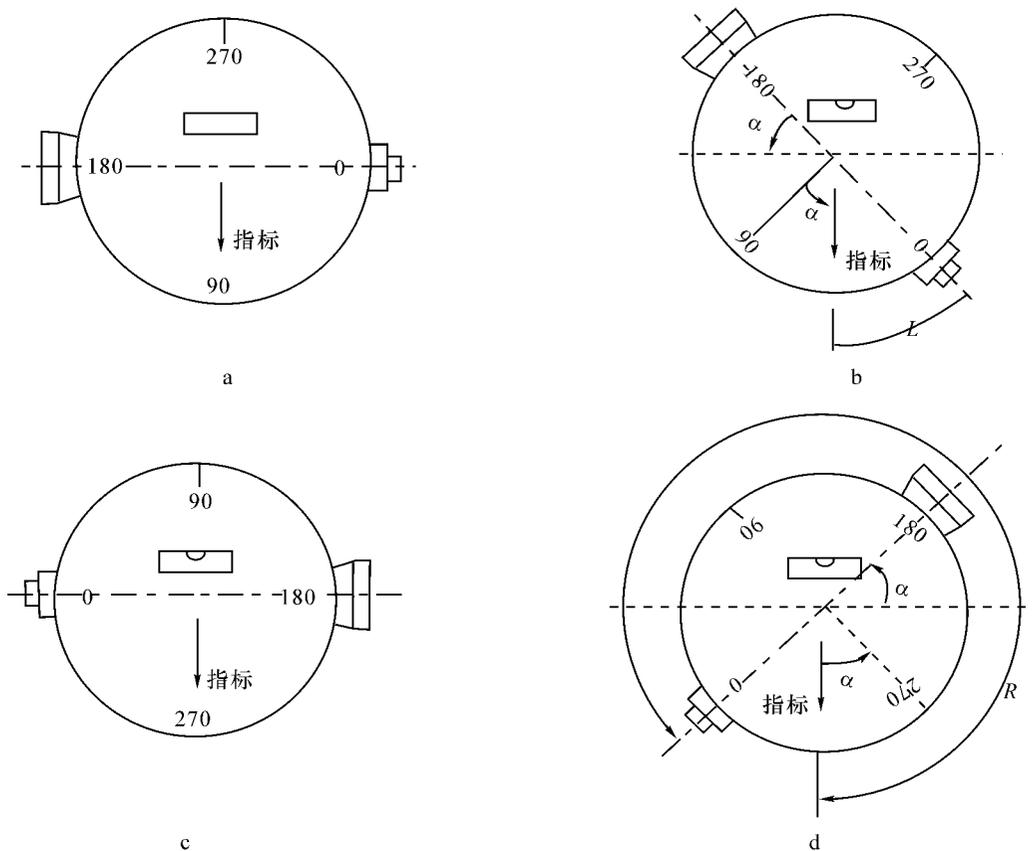


图 3-9 竖直角盘顺时针注记形式

(二) 竖盘逆时针注记形式

若竖直角盘按逆时针方向注记,用类似的方法推得竖直角的计算公式为:

$$\alpha_L = L - 90^\circ \quad (3.11)$$

$$\alpha_R = 270^\circ - R \quad (3.12)$$

从以上两式可以归纳出竖直角计算的一般公式。根据竖直角盘读数计算竖直角时,首先应看清望远镜向上抬高时竖直角盘读数是增大还是减小,然后规定:

望远镜抬高时竖直角盘读数增大,则,

$$\text{竖直角} = \text{瞄准目标时竖直角盘读数} - \text{视线水平时竖直角盘读数} \quad (3.13)$$

望远镜抬高时竖直角读数减小,则,

$$\text{竖直角} = \text{视线水平时竖直角读数} - \text{瞄准目标时竖直角读数} \quad (3.14)$$

以上规定,适合任何竖直角盘注记形式和盘左、盘右观测。

三、竖盘指标差

上面的竖直角计算公式是一种理想的情况,即当视线水平,竖盘指标水准管气泡居中或自动补偿器归零时,竖盘指标处于正确位置。但实际上这个条件往往未能满足,即存在一定的指标差。竖盘指标不是恰好指在始读数上,而是与始读数相差一个 x 角的位置,当竖直角盘指标水准管气泡居中或自动补偿器归零时,指标线偏离正确位置的角度值就称为竖直角盘指标差。由于指标差的存在,使观测所得的竖直角读数比正确读数增大或减小了一个 x 值。

如图 3-10 所示,由于指标差存在,当竖盘指标水准管气泡居中或自动补偿器归零、视线瞄准某一目标时,竖盘盘左和盘右的读数都比正确读数大了一个 x 值,则正确的竖直角应为:

$$\text{盘左: } \alpha = \alpha_L + x = 90^\circ - (L - x) \quad (3.15)$$

$$\text{盘右: } \alpha = \alpha_R - x = (R - x) - 270^\circ \quad (3.16)$$

将式(3.15)和式(3.16)相加得:

$$2\alpha = (\alpha_L + \alpha_R) = R - L - 180^\circ \quad \text{即:}$$

$$\alpha = \frac{1}{2}(R - L - 180^\circ) \quad (3.17)$$

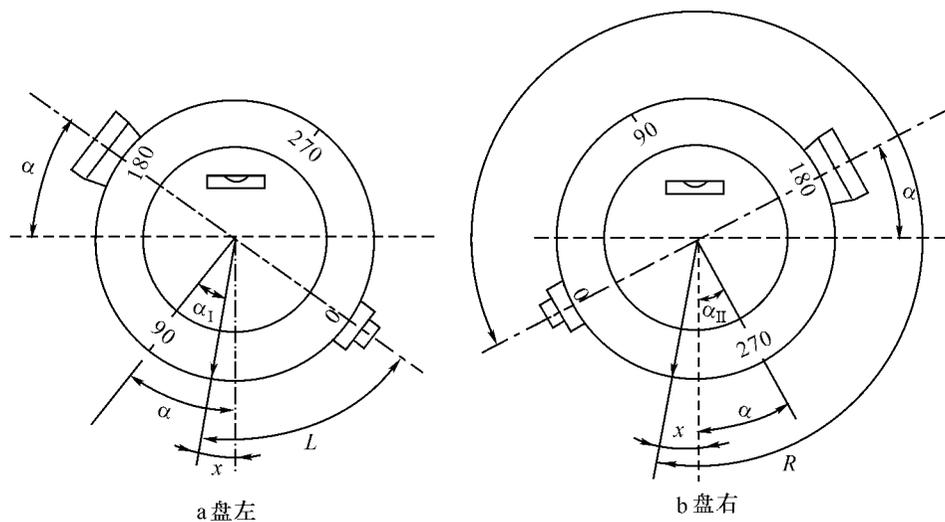


图 3-10 含有竖盘指标差的竖盘

由此可见,利用盘左、盘右观测竖直角并取平均值,可以消除竖盘指标差的影响。将式(3.15)和式(3.16)两式相减得:

$$x = \frac{1}{2}(L + R - 360^\circ) \quad (3.18)$$

式(3.18)即为竖盘指标差的计算公式,对于逆时针注记形式的竖盘同样适用。

竖盘指标差属于仪器误差。一般情况下,竖盘指标差的变化很小。如果观测中计算出的指标差变化较大,说明观测误差较大。规范规定 DJ6 级经纬仪竖盘指标差的变化范围不应超过 $\pm 25''$ 。

四、竖直角观测

将仪器安置在测站点上,按下列步骤进行观测:

(1) 盘左精确瞄准目标,使十字丝的横丝与目标某部位相切。如果仪器竖盘指标为自动归零装置,则直接读取读数 L ;如果是采用竖盘指标水准管,应先调整竖盘指标水准管微动螺旋使气泡居中再读数。记入记录手簿。

(2) 盘右精确瞄准原目标。按步骤(1)同样的方法读取盘右读数 R ,记入手簿,一测回观测结束。

(3) 根据竖盘注记形式,确定竖直角计算公式,计算竖直角,表 3-4 为竖直角观测记录表。

表 3-4 竖直角观测记录表

测站	目标	盘位	竖盘读数			半测回角值			一测回角值			备注
			°	'	''	°	'	''	°	'	''	
O	M	左	91	12	42	+1	12	42	+1	12	36	竖盘逆时针注记
		右	268	47	30	+1	12	30				
	N	左	88	35	18	-1	24	42	-1	24	39	
		右	271	24	36	-1	24	36				

第五节 经纬仪的检验与校正

一、经纬仪轴线应满足的条件

如图 3-11 所示,经纬仪的主要轴线有望远镜视准轴 CC 、仪器旋转轴竖轴 VV 、望远镜旋转轴横轴 HH 及水准管轴 LL 。

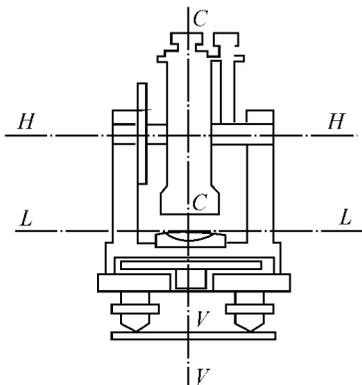


图 3-11 经纬仪轴线应满足的条件

根据角度测量原理,这些轴线之间应满足以下条件:

- (1) 照准部水准管轴应垂直于竖轴($LL \perp VV$)。
- (2) 望远镜的视准轴应垂直于横轴($CC \perp HH$)。
- (3) 横轴应垂直于竖轴($HH \perp VV$)。

另外,经纬仪还应满足十字丝纵丝垂直于横轴、竖盘不存在指标差、光学对中器的视准轴与竖轴重合等条件。

二、经纬仪的检验与校正

(一) 照准部水准管轴垂直竖轴的检验与校正

校正目的:使照准部水准管轴垂直于仪器竖轴。

检验方法:根据照准部水准管将仪器大致整平。转动照准部使水准管轴平行于任意两脚螺旋的连线,转动该两脚螺旋使气泡居中。然后将照准部旋转 180° ,如果此时气泡仍居中,则说明此项条件满足要求,否则应进行校正。

检验如图 3-12 所示,如果照准部水准管轴与仪器的竖轴不垂直,则当气泡居中时,水准管轴水平,竖轴不在垂直位置,偏离铅垂线方向一个 α 角。仪器绕竖轴旋转 180° ,竖轴仍位于原来的位置,而水准管两端却交换了位置,此时水准管轴与水平线的夹角为 2α ,气泡不再居中,其偏移量代表了水准管轴的倾斜角 2α 。

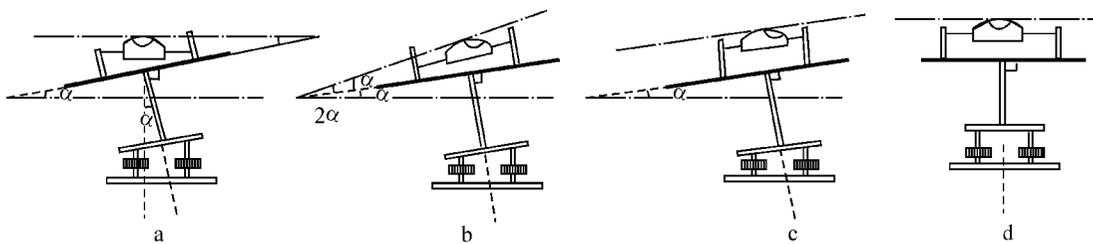


图 3-12 照准部水准管的检校

校正:根据上述检验原理,校正时,用校正针拨动水准管校正螺丝,使气泡向中央退回偏离量的一半,这时水准管轴即垂直竖轴。最后用脚螺旋使气泡向中央退回偏离量的另一半,这时竖轴处于铅直位置。此项检校必须反复进行,直到水准管位于任何位置,气泡偏离零点均不超过半格为止。

如果仪器上装有圆水准器,则应使圆水准轴平行于竖轴。检校时可用校正好的照准部水准管将仪器整平,如果此时圆水准器气泡也居中,说明条件满足,否则应校正圆水准器下面的三个校正螺丝使气泡居中。

(二) 十字丝竖丝垂直横轴的检验与校正

校正目的:使十字丝竖丝在仪器整平后处于铅垂位置。

检验方法:整平仪器后,用十字丝交点精确瞄准一清晰目标点,旋紧水平制动螺旋和望远镜制动螺旋,再用望远镜微动螺旋使望远镜上下移动,若目标点始终在竖丝上移动,表明十字丝竖丝垂直横轴,否则应进行校正。

校正:旋下目镜处的护盖,微微松开十字丝环的四个压环螺丝,转动十字丝环,直至望远镜上下移动时,目标点始终沿竖丝移动,再将压环螺丝拧紧。

(三) 视准轴垂直于横轴的检验与校正

检校目的:使望远镜的视准轴垂直于横轴。

检验方法:

(1) 如图 3-13 所示,在一平坦的地面上,选相距 60 米左右的 A、B 两点,在 A、B 两点的中点安置经纬仪,在 A 点竖一标志,在 B 点横放一刻有毫米分划的直尺,使其与 A、B 方向

垂直,标志和直尺的安放高度大致与仪器相等。

(2) 以盘左位置瞄准 A 点标志,固定照准部,倒转望远镜对准 B 点处直尺,在直尺上读得读数为 B_1 。

(3) 以盘右位置瞄准 A 点标志,固定照准部,倒转望远镜对准 B 点处直尺,在直尺上读得读数为 B_2 。

如果 $B_1 = B_2$,则说明视准轴垂直于横轴,否则就需进行校正。

校正方法:

由 B_2 向 B_1 方向量出 B_1B_2 长度的 $1/4$ 得 B_3 点,此时 OB_3 便垂直于横轴。打开望远镜目镜护盖,用校正针先稍松上、下的十字丝校正螺丝,再拨动左、右两个校正螺丝,一松一紧,左右移动十字丝分划板,使十字丝交点对准 B_3 。此项检验与校正也要反复进行。

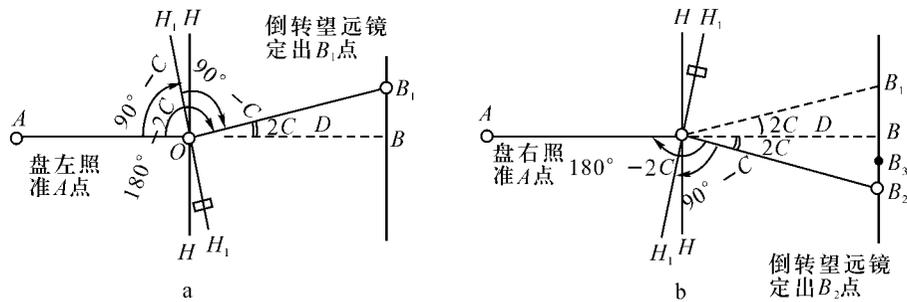


图 3-13 视准轴的检验与校正

(四) 横轴垂直于竖轴的检验与校正

检校目的:使横轴垂直于仪器竖轴

检验方法:

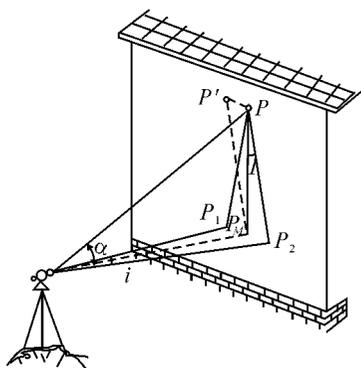


图 3-14 横轴的检验与校正

(1) 在距离一垂直墙面大约 20m 安置好经纬仪,如图 3-14 所示,以盘左位置照准墙面上高处一目标点 P ,固定照准部。将望远镜俯至水平位置,根据十字丝交点在墙壁上定出 P_1 点。

(2) 以盘右位置瞄准 P 点,固定照准部,将望远镜俯至水平位置,在墙壁上定出 P_2 点。

如果 P_1 点与 P_2 点重合,说明条件满足;否则,说明条件不满足,横轴不垂直于竖轴,需进行校正。

校正:取 P_1 、 P_2 两点的中点 P_m ,以盘左(或盘右)位置精确照准 P_m 点,抬高望远镜,此时十字丝交点必然不再与原来的 P 点重合。打开仪器支架盖,松开横轴偏心套三颗固定螺丝,拨动偏心轴,使十字丝中心移动到 P 点,如十字丝中心与 P 点重合,说明检校正确。这项校正一般由专业维修人员进行。

(五) 竖盘指标差的检验与校正

检验:仪器整平后,以盘左、盘右先后瞄准同一明显目标,在竖盘指标水准管气泡居中的

情况下读取竖盘盘左及盘右的读数 L 和 R 。然后按式(3.18)计算竖盘指标差。

校正:计算盘右的正确读数值 $R_{正} = R - x$,保持望远镜在盘右位置瞄准原目标不变,旋转竖盘指标水准管微动螺旋使竖盘读数为 $R_{正}$,这时竖盘指标水准管气泡不再居中,用校正针拨动竖盘指标水准管的校正螺丝使气泡居中。此项检校需反复进行,直至指标差 x 不超过限差值为止。DJ6 级仪器限差为 $12''$ 。

第六节 角度测量的误差分析

角度测量的误差主要包括仪器误差、观测误差和外界条件的影响三个方面。

一、仪器误差

仪器误差是指仪器不能满足设计的理论要求而引起的误差。主要包括仪器校正后的残余误差及仪器加工不完善引起的误差。

(一) 视准轴误差

视准轴误差是由于视准轴不垂直横轴引起的水平方向读数误差。由于盘左、盘右观测时该误差的符号相反,因此,可采用盘左、盘右观测取平均值的方法加以消除。

(二) 横轴误差

横轴误差是由于横轴与竖轴不垂直,当仪器整平后竖轴即处于铅直位置,而横轴不水平,则引起水平方向读数存在误差。由于盘左、盘右观测同一目标时的水平方向读数误差大小相等、方向相反,所以,也可以采取盘左、盘右观测取平均值的方法加以消除。

(三) 竖轴误差

竖轴误差是由于水准管轴不垂直竖轴,或水准管轴不水平而引起的误差。由于竖轴在垂直方向上偏离了一个角度,从而引起横轴倾斜及水平度盘倾斜、视准轴旋转面倾斜,产生测角误差。这种误差,不能用正、倒镜取平均值的方法消除,因此,测量前应严格检校仪器,观测时仔细整平。

(四) 度盘偏心差

如图 3-15 所示,经纬仪的照准部旋转中心 O_1 与水平度盘分划中心 O 理论上应该完全重合。但由于仪器误差的影响,实际上它们不会完全重合,存在照准部偏心误差。

若 O_1 和 O 重合,瞄准 A 、 B 目标时正确读数为 a_L 、 b_L 、 a_R 、 b_R 。若不重合,其读数为 a'_L 、 b'_L 、 a'_R 、 b'_R ,与正确读数差为 x_a 、 x_b 。由图 3-15 可见,在正、倒镜时,指标线在水平度盘上的读数具有对称性,因此,度盘偏心差也可用盘左、盘右观测取平均值的方法加以消除。

(五) 度盘刻划不均匀误差

由于仪器度盘刻划不均匀引起的方向读数误差,可通过配置度盘各测回起始读数的方法,使读数均匀地分布在度盘各个区间而予以减小。

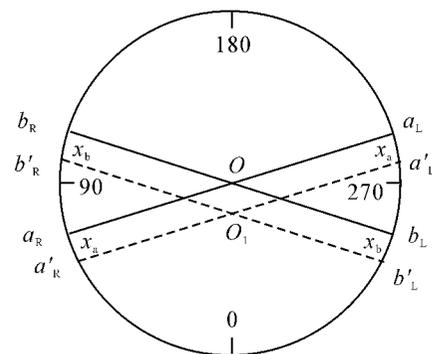


图 3-15 度盘偏心差

(六) 竖盘指标差

由于竖盘指标水准管(或竖盘自动补偿装置)工作状态不正确,导致竖盘指标没有处在正确位置,产生竖盘读数误差。通过校正仪器,理论上可使竖盘指标处于正确位置,但校正后会存在残余误差。可采用盘左、盘右观测取平均值的方法对竖盘指标差加以消除。

二、观测误差

(一) 对中误差

对中误差是指仪器中心没有置于测站点的铅垂线上所产生的测角误差。如图 3-16 所示, O 为测站点, A 、 B 为目标点, O' 为仪器中心在地面上的投影, OO' 为偏心距,以 e 表示,则对中引起的测角误差 δ 的计算公式如下:

$$\begin{aligned}\beta &= \beta' + (\delta_1 + \delta_2) \\ \delta_1 &\approx \frac{e}{D_1} \rho \sin \theta \\ \delta_2 &\approx \frac{e}{D_2} \rho \sin(\beta' - \theta) \\ \delta &= \delta_1 + \delta_2 = e \left[\frac{\sin \theta}{D_1} + \frac{\sin(\beta' - \theta)}{D_2} \right] \rho\end{aligned}\quad (3.19)$$

分析式(3.19)可知,对中引起的水平角观测误差 δ 与偏心距 e 成正比,与边长 D 成反比。当 $\beta' = 180^\circ$ 、 $\theta = 90^\circ$ 时, δ 值最大;当 $e = 3\text{mm}$ 、 $D_1 = D_2 = 60\text{m}$ 时,计算可得对中误差为 $20.6''$ 。对中误差不能通过观测方法消除,所以要认真进行对中。短边测量时更要严格对中。

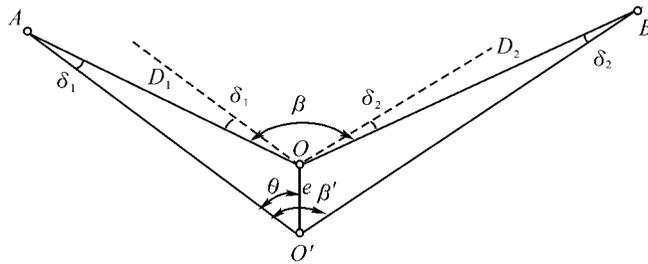


图 3-16 仪器对中误差

(二) 目标偏心误差

目标偏心误差是指由于目标的标杆中心偏离目标的实际点位引起的误差(如图 3-17 所示)。

O 为测站点, A 为目标点, A 、 B 为标杆,杆长 l ,标杆倾角 α ,则目标偏心引起的测角误差为:

$$\delta = \frac{e}{D} \rho = \frac{l \sin \alpha}{D} \rho \quad (3.20)$$

如果 $l = 1.5\text{m}$ 、 $\alpha = 30'$ 、 $D = 100\text{m}$,计算得 δ

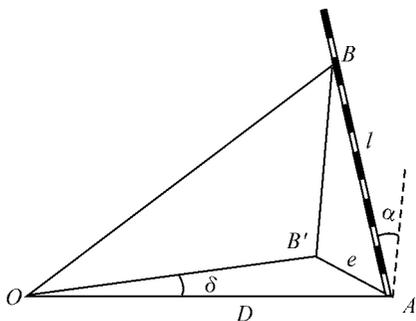


图 3-17 目标偏心误差

$=27''$ 。可见,目标偏心差对水平方向的影响与 e 成正比,与边长成反比。因此观测时应尽量瞄准花杆底部,花杆要尽量竖直,在边长较短时,更应特别注意花杆垂直。

(三) 瞄准误差

测角时由人眼通过望远镜瞄准目标产生的误差称为瞄准误差。影响瞄准误差的因素很多,如望远镜放大率、人眼分辨率、十字丝的粗细、标志形状和大小、目标影像亮度等,通常以人眼最小分辨视角($60''$)和望远镜放大率 ν 来估算仪器的瞄准误差。

$$m = \pm \frac{60''}{\nu} \quad (3.21)$$

对于 DJ6 级经纬仪, $\nu=28$, $m_0 = \pm 2.2''$

(四) 读数误差

读数误差主要取决于读数设备,对于采用分微尺读数系统的 DJ6 级光学经纬仪,读数误差为分微尺最小分划的 $1/10$,即 $6''$ 。

三、外界条件影响

角度观测是在一定的外界条件下进行的,外界环境对测角的影响是不可避免的。如阳光照射会使气泡偏离;刮风、土质松软会影响仪器的稳定;空气透明度会影响瞄准精度等。因此观测时应采取一定的措施减小这些因素的影响,例如选择有利的观测条件和时间、打伞遮阳等,使其影响降低到最小程度。

第七节 电子经纬仪简介

随着微电子技术及计算机技术的发展和综合运用,新一代具有数字显示、自动记录、自动传输数据功能的电子经纬仪的应用已越来越广泛。这种仪器的出现标志着测角工作已走向自动化时代。目前,电子经纬仪正逐步取代光学经纬仪。

电子经纬仪的测角系统主要有编码度盘测角系统、光栅度盘测角系统和动态测角系统三种。大部分电子经纬仪是采用光栅度盘测角系统或动态测角系统。本节仅简单介绍光栅度盘的测角原理。

一、光栅度盘测角原理

在光学玻璃盘上均匀地刻划出许多等间隔的径向细线,即构成光栅度盘。如图 3-18 所示。相邻两条刻度线间的距离称为栅距,所对应的圆心角即为栅距分划值。栅距分划值越小,测角精度越高。一般在 80mm 直径的度盘上刻线密度达到 50 线/mm(12 500 条细线),栅距分划值为 $1'44''$ 。为了提高测角精度,在光栅测角系统采用了莫尔条纹技术,借以将栅距放大,再进行细分和计数。莫尔条纹如图 3-19 所示,产生莫尔条纹的方法是用与光栅度盘具有相同密度和栅距的一段指示光栅,与光栅度盘以微小的夹角重叠,出现放大的明暗交替的条纹,这些条纹就是莫尔条纹。通过莫尔条纹,即可使栅距 d 放大至纹距 D 。

$$D = \frac{d}{\theta} \rho \quad (3.22)$$

在光栅度盘上下对应位置安装光源和光电接收机,光栅的刻线不透光,缝隙透光,即可

把光信号转换为电信号。当照明器和接收管随经纬仪照准部相对于光栅度盘转动时,由计数器计出转动所累计的栅距数,就可得到转动的角度值。

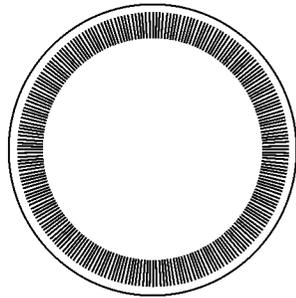


图 3-18 光栅度盘

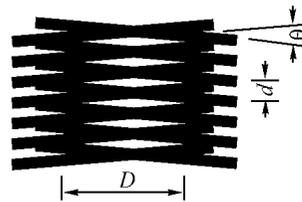


图 3-19 莫尔干涉条纹

二、电子经纬仪的读数装置

由于生产厂家的不同,电子经纬仪的型号,读数装置及使用方法不尽相同。表 3-5 是拓普康 DT100 系列电子经纬仪的读数装置。

表 3-5 显示符号及键盘功能说明表

显示	内容	显示	内容
V	竖直角	G	角度显示单位 GON
HR	右水平角	R/L	水平角测量方式(左、右角)
HL	左水平角	HOLD	保持水平角读数
Ht	复测法测角	0 SET	水平角设置为零
8AVG	复测次数/平均角值	POWER	电源开关
TILT	倾斜改正改正模式	FUNC	按键上方注记功能选择
F	功能键选择方式	REP	重复角度测量
%	百分比坡度		

习 题

1. 什么叫水平角?在同一竖直面内瞄准不同高度的点在水平度盘上的读数是否相同?
2. 什么叫竖直角?在同一竖直面内瞄准不同高度的点在竖直度盘上的读数是否相同?
3. 对中的目的是什么?整平的目的是什么?
4. 经纬仪有几条几何轴线?它们之间应满足什么关系?
5. 计算表 3-6 中测回法水平角外业观测数据。

表 3-6 测回法观测记录表

测站	测回	垂直度盘位置	目标	度盘读数	半测回角值	一测回角值	各测回平均角值	备注
				° / ' "	° / ' "	° / ' "	° / ' "	
O	1	左	A	0 00 06				
			B	152 36 24				
		右	A	180 00 12				
			B	332 36 48				
	左	A	90 01 06					
		B	242 37 30					
2	右	A	270 01 00					
		B	62 37 36					

6. 计算表 3-7 中全圆测回法水平角外业观测记录。

表 3-7 全圆测回法观测记录表

测站	测回数	目标	水平度盘读数		2C	平均读数	归零方向值	各测回平均归零方向值	角值
			盘左 ° / ' "	盘右 ° / ' "					
O	1	A	0 01 00	180 01 12					
		B	62 15 24	242 15 48					
		C	107 38 42	287 39 06					
		D	185 29 06	5 29 12					
		A	0 01 06	180 01 18					
	2	A	90 01 36	270 01 42					
		B	152 15 54	332 16 06					
		C	197 39 24	17 39 30					
		D	275 29 42	95 29 48					
		A	90 01 36	270 01 48					

7. 有一台经纬仪,望远镜视线水平时,垂直度盘盘左的读数为 90° ,当望远镜上倾观测时,垂直度盘的读数增大,根据表 3-8 记录,计算竖直角和竖盘指标差。

表 3-8 竖直角和竖盘指标差的计算

测站	目标	盘位	竖盘读数	半测回角值	指标差	一测回角值	备注
			° / ' "	° / ' "		° / ' "	
O	M	左	93 17 24				
		右	266 42 42				
	N	左	84 25 00				
		右	275 35 12				

第四章 距离测量

确定地面点的位置,除了测量水平角和高程外,还要测量两点间的水平距离。水平距离是指地面上两点的连线在水平面上的投影长度。通常所讲的距离若不加说明即为水平距离。本章主要介绍距离测量的方法。

距离测量常用的方法有:钢尺量距、视距法测距、电磁波测距仪测距。

第一节 钢尺量距

钢尺直接量距,按测量精度要求不同,测量方法也不同。

一、量距工具

直线丈量的工具通常有钢尺和皮尺。钢尺的伸缩性较小,强度较高,故丈量精度较高,但钢尺容易生锈,且易折断;皮尺容易拉长,量距较为粗略,因此量距精度不高。

1. 钢尺

钢尺,又称钢卷尺。由薄钢带制成,宽约 10~15mm,厚约 0.4mm,尺长有 20m、30m、50m 等几种,卷放在金属架上或圆形盒内。如图 4-1 所示,钢尺的基本分划为毫米,在每米及每分米处刻有数字注记。由于尺的零点位置不同,钢尺可分为端点尺和刻线尺。端点尺是以尺环外缘作为尺子的零点,而刻线尺是以尺的前端刻线作为起点。

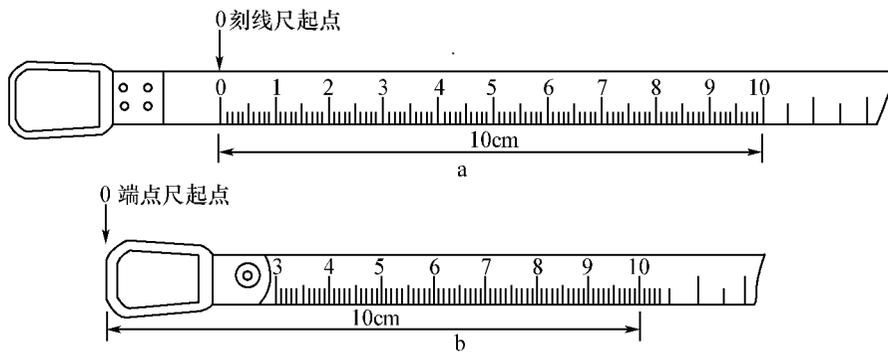


图 4-1 钢尺

2. 皮尺

皮尺是用麻线织成的带状尺子,又称布卷尺。皮尺上注有厘米分划。由于皮尺容易拉长,因此只能用于精度要求较低的地形测量和一般丈量工作。

3. 量距的辅助工具

量距的辅助工具有垂球、测钎、标杆等。垂球用于对点；测钎用于标定所量距离每尺段的起终点和计算整尺段数；标杆又称花杆，用于显示点位和标定直线方向。

二、一般量距

(一) 直线定线

需要丈量的距离一般都比整尺要长，或地面起伏较大，为了便于丈量，量距前需要在两点的连线上标出若干个点，这项工作称为直线定线。直线定线一般用目估或仪器进行。对于一般精度量距，用目估法即可，对于精密量距，可用经纬仪定线。

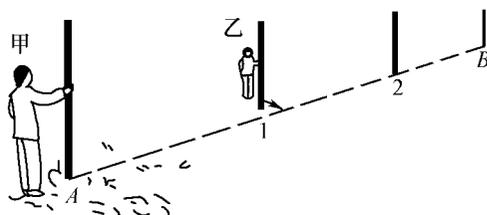


图 4-2

目估法直线定线如图 4-2 所示，A、B 为待测距离的两个端点，先在 A、B 两点竖立标杆，甲站在 A 点标杆后约 1m 处，乙持标杆目估站在 AB 线上。

甲指挥乙左右移动标杆，直到甲从 A 点沿标杆看到 A、1、2、B 四支标杆在同一直线上为止，同法可以定出直线上的其他点。

用经纬仪定线的方法是：将经纬仪安置于直线起点，对中、整平后，瞄准直线的端点，制动照准部制动螺旋。望远镜上下转动瞄准标杆，观测者指挥持标杆者移动标杆至视线方向上即可。

(二) 量距方法

一般量距的精度精确到厘米，丈量的基本要求是：一直、二平、三准确。

1. 平坦地面距离丈量

当地面平坦时可沿地面直接丈量水平距离，丈量距离一般需要三人，前、后尺各一人，记录一人。如图 4-3 所示，后尺手站在 A 点，手持钢尺的零端，前尺手持钢尺的末端，沿丈量方向前进，走到一整尺段处，按定线时标出的直线方向，将尺拉平。前尺手将尺拉紧，均匀增加拉力，当达到标准拉力后（对于 30m 钢尺，一般为 100N；对于 50m 钢尺，一般为 150N）喊“预备”，后尺手将尺零端对准起点且喊“好”，这时前尺手把测钎对准末端整尺段处的刻线垂直插入地面，即得 A—1 的水平距离。同法依次丈量其他各尺段，后尺手依次收集已测过尺段零端测钎。最后不足一整尺段时，由前、后尺手同时读数，即得余长 m 。由于后尺手手中的测钎数等于量过的整尺段数 n ，所以 AB 的水平距离总长 D 为：

$$D = nl + m \quad (4.1)$$

式中， n 为整尺段数， l 为钢尺长度， m 为不足一整尺的余长。

为了防止丈量中发生错误及提高量距精度，距离要往返丈量。上述为往测，返测时，需要重新定线，最后取往返测距离的平均值作为丈量结果。往返测丈量的距离之差与最后结果之比，并将分子化为 1 的分数形式，称为相对误差，即：

$$K = \frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{\frac{D}{\Delta D}} = \frac{1}{M} \quad (4.2)$$

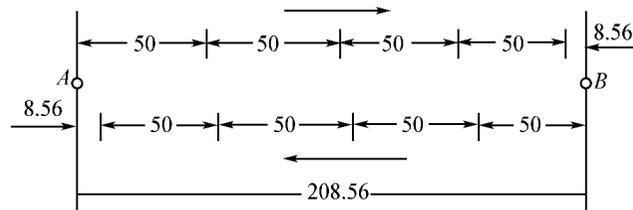


图 4-3

式中, ΔD 为往返丈量距离之差, D 为往返丈量的平均值。

例 4.1 某距离 AB , 往测时为 173.63m, 返测时为 173.67m, 距离平均值为 173.65m, 故其相对误差为:

$$\frac{|D_{\text{往}} - D_{\text{返}}|}{D_{\text{平均}}} = \frac{|173.63 - 173.67|}{173.65} \approx \frac{1}{4\ 300}$$

在平坦地区, 钢尺量距的相对误差一般应不大于 $\frac{1}{3\ 000}$; 在量距困难地区, 其相对误差也不应大于 $\frac{1}{1\ 000}$ 。当量距的相对误差没有超出上述规定时, 可取往返测距离的平均值作为最后结果, 否则, 应重测。

2. 倾斜地面距离丈量

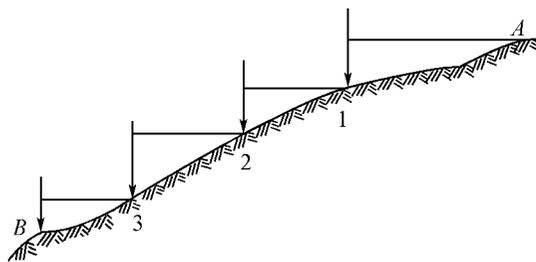


图 4-4

(1) 平量法。沿倾斜地面丈量距离, 当地势起伏不大时, 可将钢尺拉平丈量。如图 4-4 所示, 丈量由 A 向 B 进行。后尺手持钢尺零端, 并将零刻线对准起点 A , 前尺手进行直线定线后, 将尺拉在 AB 方向上并使尺子抬高水平, 然后用垂球尖端将尺段的末端投于地面上, 再插以测钎。若地面倾斜较大, 将钢尺抬高有困难时, 可将一尺段分成几段来平量, 如图 4-4 中 1、2、3 段。由于从坡下向坡上丈量困难较大, 故一般采用两次

独立丈量, 将钢尺的一端抬高或两端同时抬高使尺子水平。

(2) 斜量法。当倾斜地面的坡度均匀时, 如图 4-5 所示, 可以沿着斜坡丈量出 AB 的斜距 L , 测出地面的倾斜角 α 或 AB 两点间的高差 h , 然后计算 AB 的水平距离 D 。显然,

$$D = L \cos \alpha \quad (4.3)$$

或:
$$D = \sqrt{L^2 - h^2} \quad (4.4)$$

三、精密量距

当量距精度要求在 $\frac{1}{10\ 000}$ 以上时, 要用钢尺精密量距。

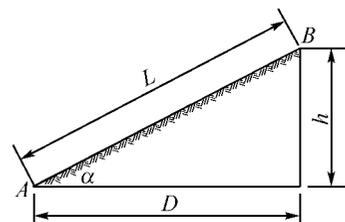


图 4-5

精密量距前,要对钢尺进行检定。

(一) 钢尺检定

精密量距前,要对钢尺进行检定,由于钢尺的材料性质、制造误差等原因,使用时钢尺的实际长度与名义长度(钢尺尺面上标注的长度)不一样,通常在使用前对钢尺进行检定,用钢尺的尺长方程式来表示尺长。

尺长方程式为:

$$l_t = l_0 + \Delta l + \alpha(t - t_0)l_0 \quad (4.5)$$

式中, l_t 为钢尺在温度 $t^\circ\text{C}$ 时的实际长度;

l_0 为钢尺名义长度;

Δl 为尺长改正数;

α 为钢尺的膨胀系数,一般为 $1.25 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$;

t 为钢尺量距时的温度;

t_0 为钢尺检定时温度(一般为 20°C)。

每根钢尺都应由尺长方程式才能得出实际长度,但尺长方程式中的 Δl 会发生变化,故尺子使用一段时期后必须重新检定,得出新的尺长方程式。

检定钢尺常用比长法,即将欲检定的钢尺与有尺长方程式的标准钢尺进行比较,认为它们的膨胀系数是相同的,求出尺长改正数,进一步求出欲检定的钢尺的尺长方程式。

设丈量距离的基线长度为 D ,丈量结果为 D' ,则尺长改正数为:

$$\Delta l = \frac{D - D'}{D'} l_0 \quad (4.6)$$

(二) 丈量方法

钢尺检定后,得出在检定时拉力与温度的条件下的尺长方程式,丈量前,先用经纬仪定线。

如果地势平坦或坡度均匀,则可测定直线两端点高差作为倾斜改正的依据;若沿线坡度变化,地面起伏,定线时应注意坡度变化处,两标志间的距离要略短于钢尺长度。丈量时根据弹簧秤对钢尺施加标准拉力,并同时用温度计测定温度。每段要丈量三次,每次丈量应略微变动尺子位置,三次读得长度之差的允许值根据不同要求而定,一般不超过 $2 \sim 5\text{mm}$ 。如在限差范围内,取三次平均值作为最后结果。

1. 尺长改正

由于钢尺的实际长度与名义长度不符,故所量距离必须施加尺长改正。根据尺长方程式,算得钢尺在检定温度 t_0 时尺长改正数 Δl ,尺长改正数 Δl 除以名义长度 l 可得每米尺长改正数,再乘以所量得长度 D' ,即得该段距离尺长改正。

尺长改正数:
$$\Delta D_l = \frac{\Delta l}{l} D' \quad (4.7)$$

2. 温度改正

由于量距时的平均温度 t 与标准温度 t_0 不相等,需要进行温度改正。

温度改正数:
$$\Delta D_t = \alpha(t - t_0) D' \quad (4.8)$$

3. 倾斜改正

设两点间高差为 h ,为了将斜距 D' 改算成水平距离 D ,需要加倾斜改正(高差改正)。

倾斜改正数：
$$\Delta D_h = -\frac{h^2}{2D'} \quad (4.9)$$

4. 距离计算

将测得的结果 D' 加上上述三项改正, 即得所量距离长度, 即:

$$D = D' + \Delta D_t + \Delta D_i + \Delta D_h \quad (4.10)$$

上述计算往返丈量分别进行, 当量距相对误差在限差范围之内, 取往返丈量平均值作为距离丈量的最后结果。

四、钢尺量距的误差来源及注意事项

(一) 钢尺量距的主要误差来源

1. 定线误差

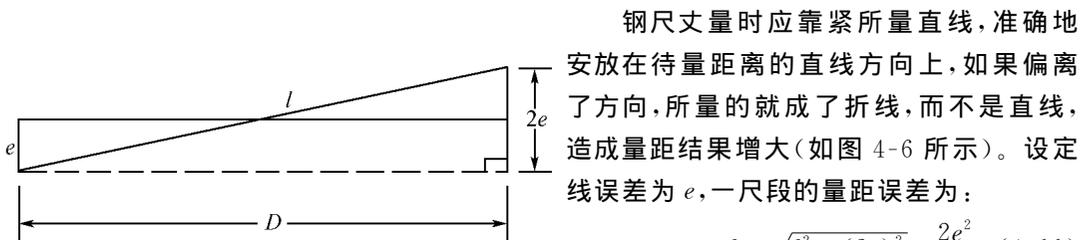


图 4-6

钢尺丈量时应靠紧所量直线, 准确地安放在待量距离的直线方向上, 如果偏离了方向, 所量的就成了折线, 而不是直线, 造成量距结果增大(如图 4-6 所示)。设定线误差为 e , 一尺段的量距误差为:

$$\Delta e = l - \sqrt{l^2 - (2e)^2} \approx \frac{2e^2}{l} \quad (4.11)$$

当 $l = 30\text{m}$, $e \leq 0.21\text{m}$ 时, $\Delta e \leq 3\text{mm}$;

在精密量距中, $l = 30\text{m}$, $e \leq 0.12\text{m}$ 时, $\Delta e \leq 1\text{mm}$ 。只要仔细用目估定线, 即可达到精度要求。

2. 温度误差

钢尺的长度受温度变化会热胀冷缩。气温每变化 8.5°C , 尺长将改变 $1/10\ 000$, 因此在一般量距中, 温度在此范围内变化可以不加温度改正。在精密量距中, 温度测量误差不应超出 $\pm 2.5^\circ\text{C}$, 而在阳光暴晒下, 钢尺与环境温度可差 5°C , 所以量距宜在阴天进行, 最好用半导体温度计测量钢尺的自身温度。

3. 拉力误差

钢尺具有弹性, 受拉会伸长。拉力的大小会影响钢尺的长度, 所以钢尺丈量时应与检定时拉力相同。

4. 尺长误差

钢尺名义长度与实际长度之差产生的尺长误差对量距的影响是随着距离的增加而增加的。在一般量距中, 钢尺的尺长误差不大于 $\pm 3\text{mm}$, 即可不考虑尺长改正。在精密量距中, 应加入尺长改正数, 并要求钢尺尺长检定误差不大于 $\pm 1\text{mm}$ 。

5. 垂曲误差

钢尺悬空丈量时由于中间部分下垂而产生垂曲误差。消除垂曲误差主要是丈量时保持与悬空检定时同等拉力, 拉力与规定的有差异时测量数据就会产生影响。

6. 钢尺倾斜误差

钢尺量距时应使钢尺水平, 否则对量距会产生影响, 使距离测量值偏大。在一般量距中, 用目估持平钢尺时会产生 $50'$ 的倾斜, 30m 尺段相当于倾斜了 0.4m , 对量距大约产生

+3mm的误差,所以,在精密量距中,应使用水准仪测量尺段高差。

(二) 钢尺量距的注意事项

- (1) 丈量时应检查钢尺,看清钢尺的零点位置;
- (2) 量距时定线要准确,尺子要水平,拉力要均匀;
- (3) 读数时要细心、精确,不要看错、念错;
- (4) 使用钢尺时要加强对钢尺的保护,防止压、折,丈量完毕应将钢尺擦干净,并涂油防锈。

第二节 视距测量

视距测量是可以同时测定两点间的水平距离和高差的一种测量方法。视距测量操作简便,不受地形的限制,但测距精度较低,相对中误差一般为 $1/300$,测高差的精度也低于水准测量,主要用于地形测量中。

一、视线水平时视距测量公式

在经纬仪或水准仪的十字丝平面内,与横丝平行且等间距的上、下两根短丝称为视距丝,也叫上下丝(如图 4-7 所示)。在 A 点安置仪器,并使其视线水平,在 B 点竖立标尺,则视线与标尺垂直。上、下丝在尺子上的读数分别为 M 、 Q ,上、下丝读数之差即为尺间隔 n ,即 $QM=n$,物镜焦距为 f ,物镜中心到仪器中心的距离为 δ ,由相似三角形 $\triangle m'q'F$ 和 $\triangle MQF$ 得:

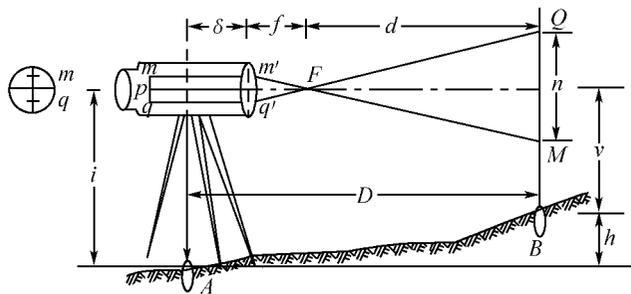


图 4-7

$$\frac{d}{f} = \frac{n}{p}$$

所以, $d = \frac{f}{p}n$

A、B 间的水平距离为:

$$D = d + f + \delta = \frac{f}{p}n + f + \delta$$

令 $k = \frac{f}{p}$, $C = f + \delta$, 则有:

$$D = Kn + C$$

式中, K 称为视距乘常数, C 称为视距加常数。

设计仪器时使 $K=100, C=0$, 因此, 当视准轴水平时, 计算水平距离的公式为:

$$D = Kn \quad (4.12)$$

设十字丝中丝的读数为 v , 通常称 v 为切尺, 仪器的高度为 i , 则测站点到立尺点的高差为:

$$h = i - v \quad (4.13)$$

如果已知测站点的高程 H_A , 则立尺点 B 的高程为:

$$H_B = H_A + h = H_A + i - v \quad (4.14)$$

二、视线倾斜时视距测量公式

当地面起伏较大时, 必须要经纬仪的视准轴倾斜一个竖直角 α 才能在标尺上进行视距读数(如图 4-8 所示)。QM 为尺子上、下丝的尺间隔, 设为 n 。

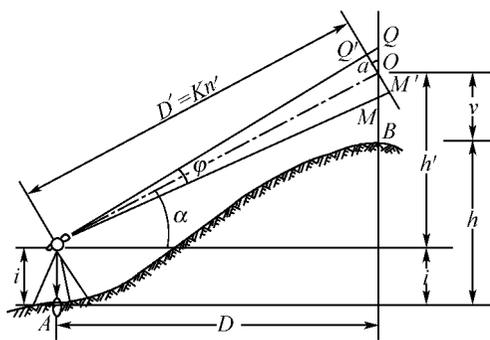


图 4-8

虚拟一个标尺 $M'Q'$ 与视线垂直。由于通过视距丝的两条光线的夹角 φ 很小(约 $34'$), 故 $\angle MM'O$ 和 $\angle QQ'O$ 可近似看成直角, 此时虚拟标尺的尺间隔 n' 为:

$$\begin{aligned} n' &= M'Q' = M'O + OQ' \\ &= MO \cos \alpha + OQ \cos \alpha \\ &= MQ \cos \alpha \\ &= n \cos \alpha \end{aligned}$$

顾及式(4.12), 则倾斜距离 D' 为:

$$D' = Kn' = Kn \cos \alpha$$

A, B 两点间的水平距离为:

$$D = D' \cos \alpha = Kn \cos^2 \alpha \quad (4.15)$$

A, B 两点间的高差为:

$$h = D \tan \alpha + i - v \quad (4.16)$$

如果已知测站点的高程 H_A , 则立尺点 B 的高程为:

$$H_B = H_A + h = H_A + D \tan \alpha + i - v \quad (4.17)$$

例 4.2 设测站点 A 的高程 $H_A = 50.25\text{m}$, 仪器高 $i = 1.43\text{m}$, 观测竖直角时以中丝切准尺面使 $v = 1.43\text{m}$, 此时下丝读数 $a = 1.684\text{m}$, 上丝读数 $b = 1.132\text{m}$, 竖直度盘左读数 $L = 88^\circ 05' 36''$ (竖盘为顺时针注记, 竖盘指标差为 0)。计算 A 到 B 点的平距 D 及 B 点的高程 H_B 。

解: $\alpha = 90^\circ - L = 90^\circ - 88^\circ 05' 36'' = 1^\circ 54' 24''$

$$D = 100(a - b) \cos^2 \alpha = 100(1.684 - 1.132) \cos^2 1^\circ 54' 24'' = 55.14\text{m}$$

$$h_{AB} = D \tan \alpha = 55.14 \times \tan 1^\circ 54' 24'' = 1.84\text{m}$$

$$H_B = H_A + h_{AB} = 50.25 + 1.84 = 52.09\text{m}$$

第三节 电磁波测距简介

一、概述

电磁波测距是用电磁波(光波、微波)作为载波的测距仪器来测量两点间距离的一种方法,电磁波测距仪也称光电测距仪。它具有测距精度高、速度快、不受地形影响等优点。

电磁波测距仪按其所采用的载波可分为微波测距仪、激光测距仪、红外测距仪;按测程可分为短程(测距在 3km 以内)、中程(测距在 3~15km)、远程(测距在 15km 以上);按光波在测段内传播的时间测定可分为脉冲法、相位法。

微波测距仪和激光测距仪多用于远程测距,红外测距仪用于中、短程测距。在工程测量中,大多采用相位法短程红外测距仪。

二、测距仪的基本结构

电磁波测距仪主要包括测距仪、反射棱镜两部分。测距仪上有望远镜、控制面板、液晶显示窗、可充电池等部件;反射棱镜有单棱镜和三棱镜两种,用来反射来自测距仪发射的红外光。

三、相位法测距原理

欲测量 A 、 B 两点间的水平距离(如图 4-9 所示),在 A 点安置测距仪, B 点安置反光镜。测距仪发出一束红外光由 A 点传到 B 点,再回到 A 点,则 A 、 B 两点间的水平距离为:

$$D = \frac{1}{2}ct \quad (4.18)$$

式中, c 为电磁波在大气中的传播速度(m/s), t 为电磁波在所测距离的往返传播时间(s)。

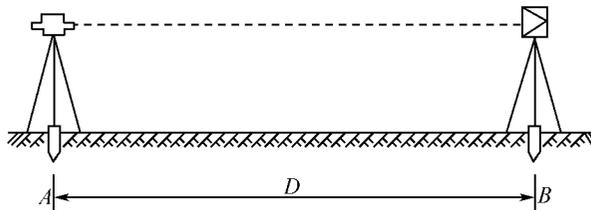


图 4-9

由式(4.18)可知,测距的精度取决于测定时间的精度,若要求测距精度达到 $\pm 1\text{cm}$,那么时间的精度就要达到 $(6.7 \times 10^{-11})\text{s}$,要达到这样高的记时精度是很难的。因此,为了提高测距精度,可采用间接的方法,即将距离与时间的关系转化为距离与相位的关系,从而求出所测距离。

如图 4-10 所示,测距仪在 A 点发射调制光,在 B 点安置反光镜,调制光的频率为 f ,周期为 T ,相位差 φ ,波长的个数为 $\varphi/2\pi$,整波的波长为 λ , N 为半波长的个数。调制光从发射到接收经过了往返路程,其行程在图 4-10 上表示为 $2D$,则:

$$2D = \lambda \frac{\varphi}{2\pi} = \lambda \frac{2\pi N + \Delta\varphi}{2\pi}$$

$$D = \frac{\lambda}{2} (N + \Delta N) \quad (4.19)$$

式(4.19)中, N 为整尺段数, ΔN 为不足一整尺段的余长。

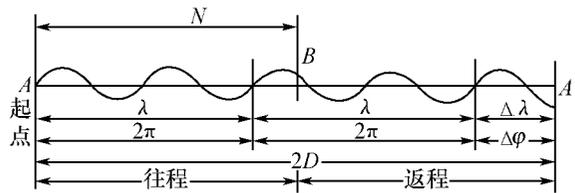


图 4-10

测距仪上的测量相位的装置,只能分辨 $0 \sim 2\pi$ 相位的变化,即只能测出 ΔN ,不能测出 N 值,为了精确测距,一般采用不同频率的调制光进行测量。目前短程测距仪采用两个调制波的频率:一个频率为 15KHz,测尺长度为 10m;一个频率为 150KHz,测尺长度为 1 000m。两者衔接起来,1 000m 以内的测距数字就可直接显示出来。

四、测距仪的使用

(1) 在待测距离的一端(测站点)安置经纬仪和测距仪,经纬仪对中、整平,打开测距仪的开关,检查仪器是否正常。

(2) 在待测距离的另一端安置反射棱镜,反射棱镜对中、整平后,使棱镜反射面朝向测距仪方向。

(3) 在测站点上用经纬仪望远镜瞄准目标棱镜中心,按下测距仪操作面板上的测量功能键进行测量距离,显示屏即可显示测量结果。

习 题

1. 什么叫直线定线?如何进行直线定线?
2. 影响量距精度的因素有哪些?如何提高量距的精度?
3. 在平坦地面,用钢尺一般量距方法丈量 A、B 两点间的水平距离,往测为 210.251m,返测为 210.243m,则水平距离 D_{AB} 的结果如何?其相对误差是多少?
4. 用竖盘为顺时针注记的光学经纬仪(竖盘指标差忽略不计)进行视距测量,测站点高程 $H_A = 56.87\text{m}$,仪器高 $i = 1.45\text{m}$,视距测量结果见表 4-1,计算完成表中各项。

表 4-1 视距测量记录

点号	上、下丝读数 (m)	切尺 (m)	竖盘读数 ° / '	竖直角 ° / '	水平距离 (m)	高差 (m)	高程 (m)
1	2.154 1.745	1.95	92 54				
2	1.987 1.256	1.60	90 24				
3	2.486 1.763	2.10	88 42				
4	0.985 0.489	0.70	85 30				

5. 试述红外光电测距仪采用相位测距的基本原理。

第五章 测绘新技术简介

第一节 全站仪

全站仪是全站型电子速测仪的简称,它是由光电测距仪、电子经纬仪和数据处理系统组成。

用全站仪可以任意测算出斜距、平距、高差、高程、水平角、方位角、竖直角,还可以测算出点的坐标或根据坐标进行自动测设等测量工作。

一、全站仪的结构原理

全站仪按结构一般分为分体式和整体式两种。分体式全站仪的测距部分和电子经纬仪不是一个整体,测量时,将光电测距仪安装在电子经纬仪上进行,作业结束后卸下来分开装箱。整体式全站仪则将测距仪与电子经纬仪结合在一起,形成一个整体,使用更为方便。按数据存储方式来分,全站仪可分为内存型与电脑型。内存型全站仪所有程序固化在存储器中,不能添加,也不能改写,因此无法对全站仪的功能进行扩充,只能使用全站仪本身提供的功能;而电脑型全站仪则内置 MicrosoftDOS 等操作系统,所有程序均运行于其上,可根据测量工作的需要以及测量技术的发展,操作者可进行软件的开发,并通过添加程序来扩充全站仪的功能。

全站仪的结构原理如图 5-1 所示。键盘是测量过程中的控制系统,测量人员通过按键调用所需要的测量工作过程和测量数据处理。图 5-1 中左半部分包含有测量的四大光电系统:测水平角、测竖直角、测距和水平补偿。以上各系统通过 I/O 接口接入总线与数字计算机系统连接。

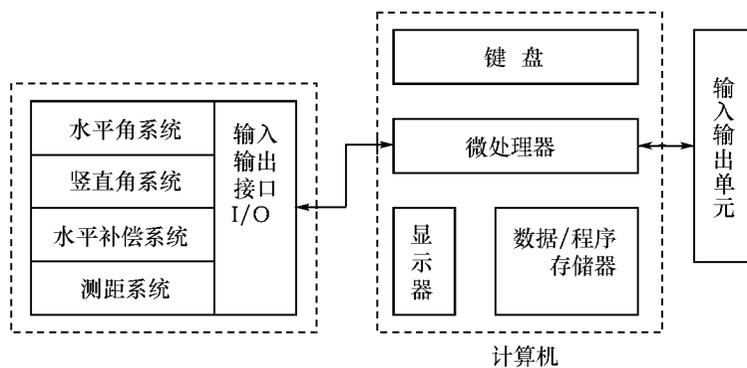


图 5-1 全站仪的结构原理

微处理器是全站仪的核心部件,仪器瞄准目标棱镜后,按操作键,在微处理器的指令控制下启动仪器进行测量工作,可自动完成水平角测量、竖直角测量、距离测量等测量工作。还可以将其运算处理成指定的平距、高差、方位角、点的坐标和高程等结果,并进行测量过程的检核、数据传输、数据处理、显示、存储等工作。输入、输出单元是与外部设备连接的装置(接口),它可以将测量数据传输给计算机。为便于测量人员设计软件系统,处理某种目的的测量工作,在全站仪的数字计算机中还提供有程序存储器。

目前,市场上全站仪的产品主要有:日本拓普康(Topcon)公司的 GTS 系列、索佳(Sokkia)公司的 SET 系列及 PowerSET 系列、宾得(Pentax)公司的 PTS 系列、尼康(Nikon)公司的 DTM 系列;瑞士徕卡(Leica)公司的 WildTC 系列;中国南方测绘公司的 NTS 系列等。

无论哪个品牌的全站仪,其主要外部构件均由望远镜、电池、显示器及键盘、水准器、制动和微动螺旋、基座、手柄等组成。

二、全站仪的主要性能指标

衡量一台全站仪的性能指标有:精度(测角及测距)、测程、测距时间、程序功能、补偿范围等。表 5-1 中列出了一些常见全站仪的主要性能指标供参考。

表 5-1 全站仪主要性能指标

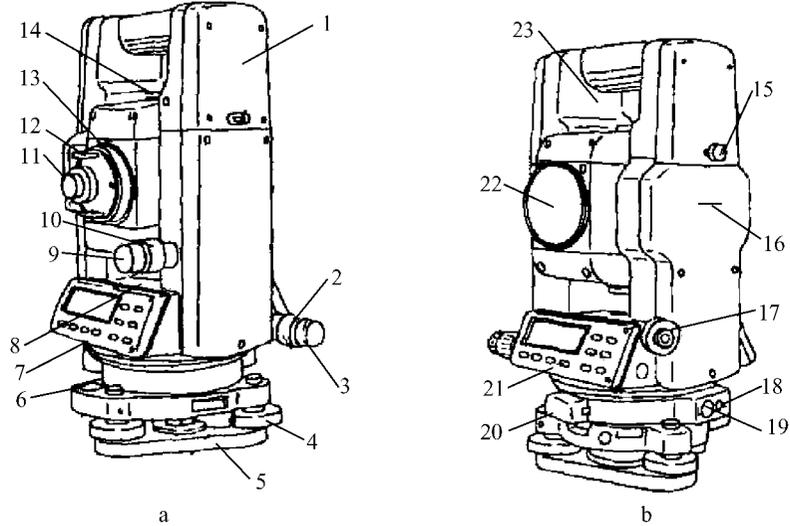
仪器指标项目	徕卡 TC1610	拓普康 GTS—311	索佳 PowerSET2000
分类	内存型	内存型	电脑型
放大倍率	30×	30×	30×
最短视距(m)	1.7	1.3	1.3
角度最小显示	1"	1"	0.5"
角度标准差	±1.5"	±2"	±2"
双轴自动补偿范围	±3'	±3'	±3'
最大测距 (km)	单棱镜	2.5	2.7
	三棱镜	3.5	3.6
测距精度	±(2mm+2×10 ⁻⁶ ×D)	±(3mm+2×10 ⁻⁶ ×D)	±(2mm+2×10 ⁻⁶ ×D)
测距时间(精测)(s)	4	3	2
水准器	水准管	30"/2mm	30"/2mm
	圆水准	8'/2mm	10'/2mm
分划值		10'/2mm	10'/2mm
使用温度(°C)	-20~+50	-20~+50	-20~+50
显示屏	4行16列	4行20列	8行20列

三、全站仪的操作与使用

不同厂家、不同型号的全站仪的操作使用是不相同的,但是,基本构造类似,且全站仪测量的基本原理及测量方法与光学测量仪器基本一致。所以,在学习全站仪的操作与使用时,主要是掌握全站仪基本的操作步骤。下面我们以太普康的普及型全站仪 GTS—311 系列为例说明全站仪的操作与使用。

(一) GTS—311 全站仪的构造及功能说明

1. 图 5-2 为 GTS—311 全站仪的构造



- 1—电池;2—水平制动螺旋;3—水平微动螺旋;4—脚螺旋;5—基座底板;6—圆水准器;
 7—操作键;8—水准管;9—望远镜微动螺旋;10—望远镜制动螺旋;11—望远镜目镜;
 12—望远镜把手;13—望远镜调焦螺旋;14—瞄准器;15—电池锁定螺钉;16—仪器中心标志;
 17—光学对中器望远镜;18—外部电池接口;19—串行信号接口;20—度盘变换螺旋护盖;
 21—显示屏;22—物镜;23—BT—24QW 型提把电池

图 5-2

2. GTS—311 全站仪的操作面板及操作键功能

(1)GTS—311 全站仪采用 4 行×20 列的液晶显示,操作面板如图 5-3 所示。

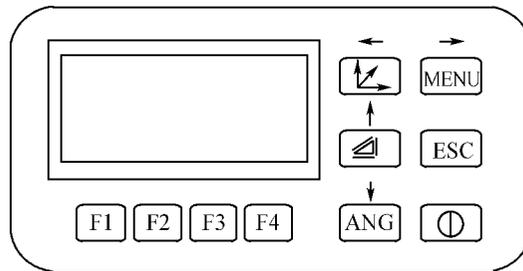


图 5-3

(2)GTS—311 全站仪操作键功能说明见表 5-2 所示。

表 5-2 GTS—311 全站仪操作功能键说明

操作键	名称	功能
	坐标测量键	进入坐标测量模式
	菜单键	在菜单模式和正常测量模式之间切换
	距离测量键	进入距离测量模式,可进行水平距离测量、倾斜距离测量
	退出键	返回上一层测量模式,用于中断正在进行的操作,返回到上一级模式中
	角度测量键	进入角度测量模式,可进行水平角测量、竖直角测量等
	电源开关键	电源接通或断开
	功能键	对应屏幕上相应位置设定功能,执行屏幕上相应位置显示的命令定义,输入数字及字母等

(3) F1~F4 键功能说明见表 5-3 所示。

表 5-3 F1~F4 键功能说明

功能页	功能键	屏幕显示	功能说明
角度测量模式			
1	F1	OSET	设置水平角为 $0^{\circ}00'00''$
	F2	HOLD	锁定水平角读数
	F3	HSET	设置当前水平角数值
	F4	P1 ↓	进入下一页功能选择
2	F1	TILT	设置倾斜改正开关,当设置为“ON”时显示改正值
	F2	REP	重复(多测回)角度测量模式
	F3	V%	竖直角角度/百分度(%)显示切换
	F4	P2 ↑	进入下一页功能选择
3	F1	H-BZ	水平角读数为 0° 、 90° 、 180° 、 270° 时,蜂蜜器开关
	F2	H/L	测量水平右角和左角的切换开关
	F3	CMPS	竖直角显示模式(高度角/天顶距)切换开关
	F4	P3 ↓	进入下一页功能选择
距离测量模式			
1	F1	MEAS	开始进行距离测量
	F2	MODE	设置测距模式(精测 Fine/粗测 Coarse/跟踪 Tracking)
	F3	S/A	设置接受反射信号的音响模式,修改 PSM 与 PPM 值
	F4	P1 ↓	进入下一页功能选择
2	F1	OFSET	进入偏心测量模式
	F2	S. O	进入距离放样模式
	F3	m/f/i	距离显示单位(m/ft/in)切换
	F4	P2 ↓	进入下一页功能选择

续表

功能页	功能键	屏幕显示	功能说明
坐标测量模式			
1	F1	MEAS	开始坐标测量
	F2	MODE	坐标测量模式(精测 Fine/粗测 Coarse/跟踪 Tracking)
	F3	S/A	设置接受反射信号的音响模式,修改 PSM 与 PPM 值
	F4	P1 ↓	进入下一页功能选择
2	F1	R, HT	设置反射棱镜高
	F2	INS, HT	设置仪器高
	F3	OCC	输入仪器点坐标
	F4	P2 ↓	进入下一页功能选择
3	F1	OFSET	偏心测量模式
	F2	m/f/i	距离显示单位(m/ft/in)切换
	F3	P3 ↓	进入下一页功能选择

(二) 观测前的准备工作

1. 电池充电

在进行测量作业前,首先应将充电电池充好电。拓普康 GTS—311 全站仪有两种供电方式:一种是通过 BT—24QW 型提把电池直接与全站仪连接供电,安装时应注意用电池锁定螺钉旋紧固定,另一种是通过外部 9V 的直流电源接口供电,可采用汽车点烟器口提供的电源。

2. 安置仪器

全站仪的安置与经纬仪一样也包括对中、整平两项工作,其方法与普通经纬仪相同。一般全站仪的对中仍然通过光学对中器进行,也有一些较先进的仪器具有激光对中装置,使对中更加快捷。

3. 打开电源,准备观测

(1) 按下电源开关,打开电源。屏幕上首先显示仪器型号,大约 3 秒钟后,显示垂直置零指令(V 0SET TURN)、当前的棱镜常数(PSM)及大气改正值(PPM),应注意二者是否正确。按 F4 键进行确认,屏幕显示内容如图 5-4 所示。

(2) 第一行“V 0SET TURN”表示此时需要竖直旋转望远镜。这是因为,为了设置垂直角 0°位置,垂直度盘上设置了一个电子零基准,此时旋转望远镜使传感器激活零基准,才能进行竖直角测量。同样,如果前一次观测时设置了水平角读数 0°位置,那么还需要旋转照准部以激活水平度盘 0°位置。旋转望远镜后,全站仪进入角度测量模式,此时屏幕显示如图 5-5 所示。

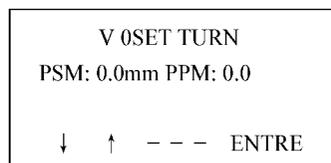


图 5-4

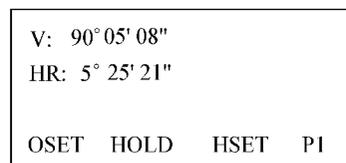


图 5-5

4. GTS—311 全站仪字母与数字输入方法

GTS—311 没有设置字母与数字键,需要输入时,使用 F1~F4 功能键对应屏幕输入。

如在坐标测量模式下,输入测站点的坐标。

(1) 在测站点坐标输入界面,屏幕显示如图 5-6a 所示,按下 F1 键(INPUT 功能),则进入数字输入界面,如图 5-6b 所示。

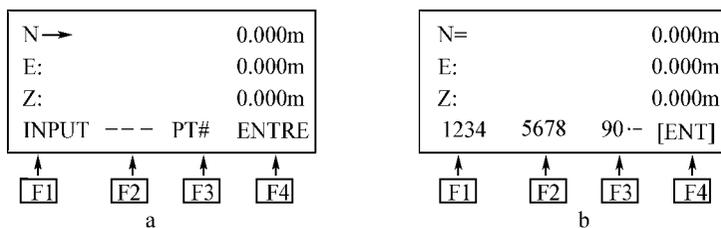


图 5-6

(2) 如图 5-6b 中 1,2,3,4 数字由 F1 键控制;5,6,7,8 由 F2 键控制;9,0,小数点,负号由 F3 键控制;F4 键为输入后确认键。例如,要输入数字 3,则按下 F1 键,屏幕显示如图 5-7a 所示,按下 F3 键,则可输入数字 3,屏幕又回到数字输入界面(如图 5-7b 所示)。

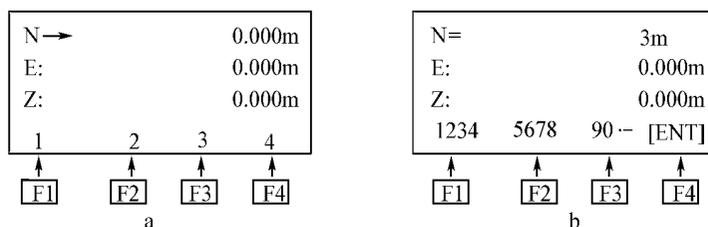


图 5-7

字母的输入法与数字输入类似。

(三) 全站仪的操作与使用

这里主要以 GTS—311 系列全站仪为例介绍测量水平角、距离测量和坐标测量的方法。

1. 角度测量

下面以水平角观测为例说明角度测量的方法。

(1) 全站仪进入测角模式,在测角模式下,仪器瞄准起始目标,显示器显示见图 5-8a;按下 F1(对应 0SET)键,屏幕提示是否将水平度盘读数设置为 $0^{\circ}00'00''$,屏幕显示见图 5-8b;按下 F3(对应 YES)键确认。即将水平度盘读数设置为 $0^{\circ}00'00''$,屏幕显示见图 5-8c。

(2) 瞄准终点方向,此时水平度盘读数 HR 即为观测角值,屏幕显示见图 5-8d。

2. 距离测量

(1) 在距离测量之前,首先通过菜单设置好大气改正数和棱镜常数。

拓普康 GTS—311 系列全站仪的标准观测条件为 15°C 与 1013hPa (一个气压或 760mmHg),若观测条件不同,则可用下式计算大气改正数

$$ka = \left(279.66 - \frac{106.033P}{273.15+t} \right) \times 10^{-6} \quad (5.1)$$

式中, ka 为大气改正数, P 为大气压 (mmHg), t 为外界温度。

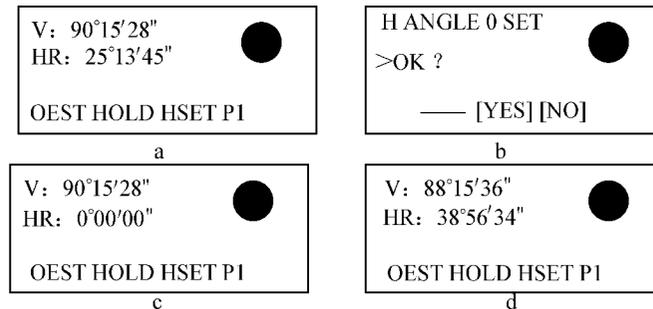


图 5-8

(2) 距离测量。

仪器照准目标点反射棱镜中心, 检查输入的大气改正数或棱镜常数是否正确。按下距离测量键, 全站仪自动进行距离测量, 显示器屏幕显示如图 5-9a 所示。大约 3 秒钟后, 测量完毕, 屏幕自动显示测量结果, 如图 5-9b 所示。

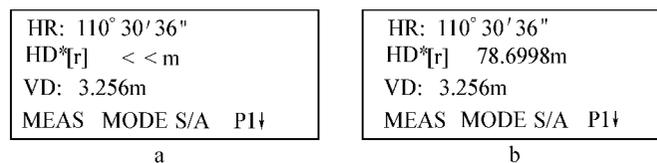


图 5-9

3. 坐标测量

使用全站仪可以直接测设点的三维坐标, 即 $N(x)$ 、 $E(y)$ 和 $Z(H)$ 坐标。坐标测量前仍然需要设置正确的大气改正数与棱镜常数, 方法同距离测量模式。

(1) 测量步骤。

①在已知控制点上安置仪器, 在目标上架设棱镜, 仪器首先照准后视点, 在角度测量模式下, 将水平度盘读数设置为后视方向的坐标方位角值。

②照准目标点, 按下坐标测量模式键进入坐标测量模式, 如图 5-10a 所示。此时全站仪自动开始坐标测量, 直接按 F4 键进入第二功能页, 如图 5-10b 所示, 在此页设置仪器高、棱镜高及测站点坐标等值。棱镜高界面见图 5-11a。

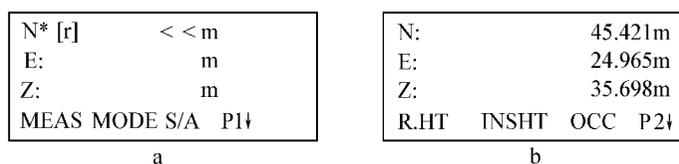


图 5-10

③全站仪自动测量目标点坐标,测量结果显示在屏幕上,如图 5-11b 所示。

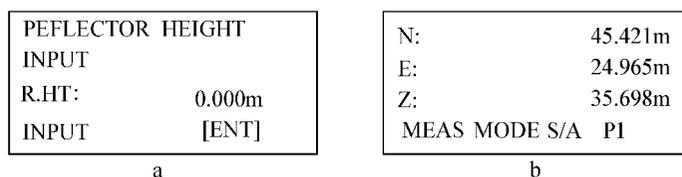


图 5-11

(2) 坐标测量相关说明。

①若未输入测站点坐标,系统则以(0,0,0)默认坐标值。

②关机后,仪器高与棱镜高会被删除,但测站点坐标仍可保留。

③仪器在一个测站点上进行连续测量时,可将棱镜高固定,每次观测,只需重复照准目标、按下测量键(MEAS)即可。

四、全站仪使用的注意事项与保养

全站仪是一种价格昂贵、结构复杂、制造精密的光电仪器。使用全站仪时,必须严格遵循一定的操作规程,正确熟练地使用。同时要加强全站仪的正常维护和保养。

使用注意事项与保养:

(1) 使用仪器前应认真阅读使用说明书,熟悉仪器的性能和操作方法。

(2) 新购置的仪器,在首次使用前应先将电池按规定的时间充好电。仪器较长时间不用时,应将电池卸下。电池充电时,应尽量在常温下充电,避免在过冷、过热和潮湿的环境下充电。

(3) 未安装滤光片时,不能将物镜直接对准阳光,否则高温会毁坏仪器内部元件。

(4) 当仪器环境温度发生变化时,需要将仪器露天放置一会才能使用,否则会造成仪器与棱镜测程的降低。

(5) 观测时,要避开高压线、发电机、电动机等干扰,视线方向上不能有玻璃镜等反光物体。

(6) 在阳光和阴雨天作业时,应打伞遮阳、避雨。在潮湿环境下使用完毕后,应用软布擦干仪器表面水珠后才可装箱。

(7) 仪器在搬站时,应将仪器装箱搬运,切忌连在脚架上直接搬运。

(8) 仪器在保养及运输过程中应注意防潮、防高温、防尘及防震。

(9) 使用仪器作业时,操作者不可离开仪器,以免发生意外。

第二节 GPS 全球定位系统

一、GPS 全球定位系统

GPS 全球定位系统是“授时、测距导航/全球定位系统”(Navigation by Satellite Timing

and Ranging/Global Positioning System)的简称,是以卫星为基础的无线电导航定位系统,能为各类用户提供精密的三维坐标、速度和时间。

GPS 全球定位系统包括三大部分:空间部分——GPS 卫星星座;地面控制部分——地面监控系统;用户设备部分——GPS 信号接收机(如图 5-12 所示)。

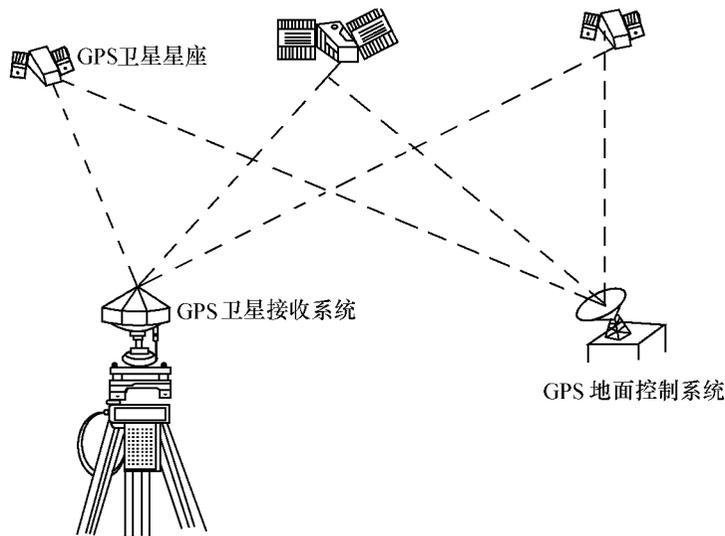


图 5-12 GPS 的组成

(一) GPS 卫星星座

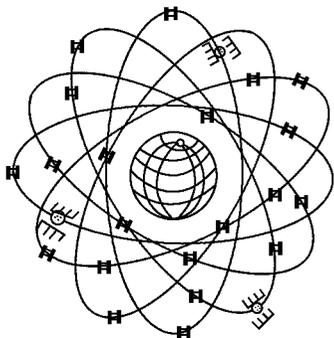


图 5-13

GPS 卫星星座由 21 颗工作卫星和 3 颗备用卫星(共 24 颗)组成,均匀分布在 6 个不同的近似于圆形的轨道平面内,轨道倾角为 55° ,轨道间的夹角为 60° ,轨道平均高度为 20 200km(如图 5-13 所示)。当地球相对恒星来自转一周时, GPS 卫星绕地球运行两周,即绕地球一周的时间为 12 恒星时,每颗卫星每天约有 5 个小时在地平线上,同时位于地平线以上的卫星数目随着时间和地点的不同而不同,最少可见到 4 颗,最多可见到 11 颗。在用 GPS 信号导航定位时,为了解算测站的三维坐标,必须同时观测 4 颗 GPS 卫星。

在 GPS 系统中, GPS 卫星的作用主要有:

(1) 用 L 波段的两个无线载波(波长分别约为 19cm 和 24cm)向广大用户连续不断地发送导航定位信号(如卫星轨道参数、系统时钟等信息)。借助导航电文可以知道该卫星当前的位置和卫星的工作情况。

(2) 当卫星飞越注入站上空时,接收由地面注入站用 S 波段(波长约 10cm)发送卫星的导航电文和其他有关信息,并通过 GPS 信号电路,适时地发送给广大用户。

(3) 接收地面主控站通过注入站发送到卫星的调度命令,适时地改正运行偏差或启用

备用时钟等。

(二) 地面监控系统

地面监控系统是对卫星上的各种设备是否正常工作以及卫星是否一直沿着预定轨道运行进行监测和控制。地面监控系统的另一重要作用是保持各颗卫星处于同一标准时间——GPS时间系统。

GPS工作卫星的地面监控系统包括一个主控站、三个注入站和五个监测站。主控站的任务是收集、处理本站和监测站收到的全部资料,编算出每颗卫星的星历和GPS时间系统,将预测的卫星星历、钟差、状态数据以及大气传播改正编制成导航电文传送到注入站,另外还负责纠正卫星的轨道偏离,必要时调度卫星,让备用卫星取代失效的工作卫星及监测整个地面监测系统的工作,检验注入给卫星的导航电文,监测卫星是否将导航电文发送给了用户。

三个注入站的任务是将主控站发来的导航电文注入到相应卫星的存储器。每天注入三次,每次注入14天的星历。此外,注入站能定时自动向主控站报告自己的工作状态。

五个监测站的主要任务是为主控站提供卫星的观测数据。

(三) GPS信号接收机

GPS信号接收机的任务是:能够捕获到按一定卫星高度截止角所选择的待测卫星信号,并跟踪这些卫星的运行,对所接收到的GPS信号进行变换、放大和处理,以便测量出GPS信号从卫星到接收机天线的传播时间,解译出GPS卫星所发送的导航电文,实时地计算出测站的三维位置,甚至三维速度和时间。

GPS卫星信号接收机按用途不同,一般分为导航型、测地型和授时型接收机等。

二、GPS全球定位系统的应用特点

GPS全球定位系统主要有以下特点:

(1) 定位精度高。应用实践已经证明,GPS相对定位精度在50km以内可达 10^{-6} ,100~500km可达 10^{-7} ,1000km以上可达 10^{-9} 。在300~1500km工程精密定位中,1小时以上观测的平面位置误差小于1mm,其边长较差最大为0.5mm,较差中误差为0.3mm。

(2) 观测时间短。20km以内相对静态定位,仅需15~20分钟;快速静态相对定位时,当每个流动站与基准站相距在15km以内时,流动站观测时间只需1~2分钟;动态相对定位测量时,流动站出发时观测1~2分钟,然后可随时定位,每站观测仅需几秒钟。

(3) 测站间无需通视。GPS测量不要求测站之间互相通视,只需测站上空开阔即可,因此可节省大量的造标费用和减少测量工作量。

(4) 可提供三维坐标。GPS测量可同时精确测定测站点的三维坐标。

(5) 操作简便。随着GPS信号接收机进一步改进,自动化程度越来越高,体积越来越小,重量越来越轻,可极大地减轻测量工作者的工作紧张程度和劳动强度。

(6) 全天候作业。GPS测量可在一天24小时内的任何时间进行,不受阴天黑夜、起雾刮风、下雨下雪等气候的影响。

(7) 功能多,应用广。GPS系统不仅可用于测量、导航,还可用于测速、测时。

三、GPS 卫星定位原理

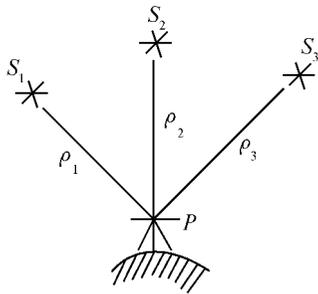


图 5-14

GPS 卫星定位的基本原理是:用户用 GPS 接收机在某一时刻同时接收三颗以上的 GPS 卫星信号,测量出测站点 P (接收机天线中心)至三颗以上 GPS 卫星的距离(如图 5-14 所示),并解算出该时刻 GPS 卫星的空间坐标,据以利用距离交会法解算出测站 P 的位置。

如图 5-14 所示,设在某时刻在测站点 P 用 GPS 接收机同时测得 P 点至三颗 GPS 卫星 S_1 、 S_2 、 S_3 的距离 ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 ,通过 GPS 电文解译出该时刻三颗 GPS 卫星的三维坐标分别为 (X^j, Y^j, Z^j) ($j=1, 2, 3$),用距离交会方法求解 P 点三维坐标 (X, Y, Z) 的观测方程为:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1^2 &= (X - X^1)^2 + (Y - Y^1)^2 + (Z - Z^1)^2 \\ \rho_2^2 &= (X - X^2)^2 + (Y - Y^2)^2 + (Z - Z^2)^2 \\ \rho_3^2 &= (X - X^3)^2 + (Y - Y^3)^2 + (Z - Z^3)^2 \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

根据测距原理,其定位原理与方法主要有伪距法定位、载波相位测量定位以及差分 GPS 定位等。对于待定点来说,根据其运动的状态可以将 GPS 定位分为静态定位和动态定位。静态定位指的是将 GPS 接收机安置于固定不动的待定点上,通过观测卫星以确定该点的三维坐标,又叫绝对定位。若将两台 GPS 接收机分别置于两个待定点上,通过观测卫星以确定两个待定点间的相对位置,称为相对定位,而动态定位中则至少有一台接收机处于运动状态,测定的是各观测时刻运动中的接收机的点位。

四、GPS 测量的实施

GPS 测量也分为外业和内业两大部分。其外业工作主要包括选点、建立测量标志、野外观测、成果质量检核等内容;而内业工作则主要包括测量的技术设计、测后数据处理及技术总结等内容。

(一) GPS 测量的技术设计

GPS 测量的技术设计是进行 GPS 定位的最基本工作,要依据国家有关规范(规程)及 GPS 网的用途、用户的要求,对测量工作的图形、精度及基准等进行具体设计,技术设计前,要尽可能收集测区各种比例尺地形图、各类控制点成果及测区有关地质、气象、交通、通信、行政区划等方面的资料,必要时需进行踏勘、调查。

(二) GPS 测量的选点与埋石

由于 GPS 测量不要求测站之间相互通视,而且网的图形结构也比较灵活,所以选点工作比常规控制测量的选点要简便,但是良好的点位对于保证观测工作的顺利进行和测量结果的可靠性亦有着重要意义。选点应按照有关规范(规程)所提出的工作原则进行。

GPS 网点一般应埋设具有中心标志的标石,以精确标志点位,点位标石和标志必须稳定、坚固,以利长久保存和利用。在基岩露头地区,也可直接在基岩上嵌入金属标志。点位标石埋设后,应明确点名、点号。

(三) GPS 外业观测

GPS 外业观测工作主要包括:天线安置、开机观测、观测记录等内容。

观测前,应将天线安置在测站上,对中、整平,并保证天线定向误差不超过 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,测定天线的高度及气象参数。在离开天线适当位置安放 GPS 接收机,接通接收机与电源、天线、控制器的连接电缆,并经过预热和静置,可启动接收机进行观测。接收机锁定卫星并开始记录数据后,观测员可使用专用功能键和选择菜单,查看有关信息,如接收卫星数量、各通道信噪比、相位测量残差、实时定位的结果及其变化、存储介质记录等情况。观测记录形式主要有两种:测量记录及测量手簿。测量记录由 GPS 接收机自动进行,均记录在存储介质(如硬盘、硬卡或记忆卡等)上;测量手簿是在接收机启动前及观测过程中,由观测者按规程规定的记录格式进行记录。

每当观测任务结束时,必须对观测数据的质量进行分析并作出评价,以确保观测成果和定位结果的预期精度。

(四) GPS 测量数据处理

GPS 接收机采集记录的是信号接收机天线至卫星的伪距、载波相位和卫星星历等数据。GPS 测量数据处理要从原始的观测值出发得到最终的测量定位成果,其数据处理过程大致包括 GPS 测量数据的基线向量解算、GPS 基线向量网平差、GPS 网平差或与地面网联合平差等几个阶段。

习 题

1. 简述全站仪的结构原理。
2. 衡量一台全站仪性能的主要指标有哪些?
3. 简述全站仪测量水平角的主要步骤。
4. 简述全站仪距离测量的主要步骤。
5. 简述全站仪坐标测量的主要步骤。
6. 简述全站仪使用时的注意事项。
7. GPS 全球定位系统由哪几部分构成?
8. GPS 全球定位系统的应用有哪些特点?

第六章 测量误差的基本知识

第一节 测量误差概述

一、测量误差的概念

在一定的外界条件下进行观测,观测值一定会含有误差。任何一个观测量,在客观上总存在着一个能代表其真正大小的数值,这个数值称为真值,一般用 X 表示。对未知量进行测量的过程,称为观测,测量所获得的数值称为观测值,用 L_i 表示。进行观测时,观测值与真值之间的差异,称为测量误差或观测误差,用 Δ_i 表示。

$$\Delta_i = L_i - X \quad (6.1)$$

二、测量误差的来源

引起测量误差的因素有很多,概括起来主要有以下三个方面:

(一) 测量仪器误差

由于测量仪器制造工艺上的局限性,仪器虽经过了校正,但残余误差仍然存在。测量结果中就不可避免地包含了这种误差。另外,不同类型的仪器有着不同的精度,使用不同精度的仪器引起误差的大小也不相同。

(二) 观测者的误差

由于观测者的感觉器官鉴别能力的局限性,在仪器的安置、照准、读数等方面都会产生误差。同时,观测者的责任心和技术水平也会直接影响观测成果的质量。

(三) 外界条件的影响

观测时所处的外界条件,如温度、湿度、风力、气压等因素的影响,必然使观测结果产生误差。

测量仪器、观测人员和外界条件这三方面的因素综合起来称为观测条件。观测条件与观测结果的精度有着密切的关系。在较好的观测条件下进行观测所得的观测结果的精度就会高一些;反之,观测结果的精度就会低一些。

三、测量误差的分类

根据测量误差对观测结果的影响性质不同,测量误差可分为系统误差和偶然误差两类。

(一) 系统误差

在相同的观测条件下对某量进行一系列观测,如果误差的大小、符号表现出一定的规律

性,这种误差称为系统误差。

系统误差是由仪器制造或校正不完善、观测人员操作习惯和测量时外界条件等原因引起的。如量距中用名义长度为 30m 而经检定后实际长度为 30.002m 的钢尺,每量一尺段就有 0.002m 的误差,量距越长误差积累就越大。又如某些观测者在照准目标时,总习惯于把望远镜十字丝对准于目标的某一侧,也会使观测结果带有系统误差。

系统误差对观测结果的影响具有累积性,对结果质量的影响也就特别显著。在实际测量工作时,必须采用适当的观测方法或加改正数来消除或减弱其影响。例如,在水准测量中采用前后视距相等来消除视准轴与水准管轴不平行的误差,在水平角观测中采用盘左、盘右观测来消除视准轴误差等。因此,可以采取一定的观测方法、观测手段设法减小以至于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观测,如果误差的大小和符号都具有不确定性,但总体又服从于一定的统计规律性,这种误差称为偶然误差,也叫随机误差。

产生偶然误差的原因很多,如观测者感官能力的因素,望远镜的放大倍数和分辨力等因素。常见的偶然误差有估读误差、照准误差等。

对偶然误差,通常采用增加观测次数来减少其误差,从而提高观测成果的质量。消除或减少了系统误差后,我们认为观测结果中偶然误差占据了主要地位,偶然误差影响了观测结果的精确性,所以在测量误差理论中研究对象主要是偶然误差。

四、研究测量误差的目的

研究测量误差的目的是:分析测量误差产生的原因和性质;正确地处理观测结果,求出最可靠值;评定测量结果的精度;通过研究误差发生的规律,为选择合理的测量方法提供理论依据。

五、偶然误差的特性

偶然误差从表面上看似乎没有规律性,即从单个或少数几个误差的大小和符号的出现上呈偶然性,但从整体上对偶然误差加以归纳统计,则显示出一种统计规律,而且观测次数越多,这种规律性表现得越明显。

下面我们通过实例来说明这种规律。

例如,在相同观测条件下独立地观测 358 个三角形的全部内角,由于观测值中带有误差,各三角形的内角之和就不等于它的真值 180° 。

现将 358 个真误差进行统计分析:取 $3''$ 为区间,将 358 个真误差按其大小和正负号排列,以表格的形式统计出其在各区间的分布情况(如表 6-1 所示)。

从表 6-1 中可以看出,该组误差的分布表现出如下规律:小误差比大误差出现的频率高;绝对值相等的正、负误差出现的个数和频率相近;误差都在一个小范围内,最大误差不超过 $24''$ 。

表 6-1 偶然误差的区间分布表

误差区间 $d\Delta$	正误差(+ Δ)		负误差(- Δ)		总 数	
	个数 k	频率 k/n	个数 k	频率 k/n	个数 k	频率 k/n
0"~3"	46	0.128	45	0.126	91	0.254
3"~6"	41	0.115	40	0.112	81	0.226
6"~9"	33	0.092	33	0.092	66	0.184
9"~12"	21	0.059	23	0.064	44	0.123
12"~15"	16	0.045	17	0.047	33	0.092
15"~18"	13	0.036	13	0.036	26	0.073
18"~21"	5	0.014	6	0.017	11	0.031
21"~24"	2	0.006	4	0.011	6	0.017
>24"	0	0	0	0	0	0
Σ	177	0.495	181	0.505	358	1.000

统计大量的实验结果,总结出偶然误差具有如下特性:

- (1) 有限性:在一定观测条件下,偶然误差的绝对值不超过一定的限度。
- (2) 显小性:绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会多。
- (3) 对称性:绝对值相等的正、负误差出现的机会大致相等。
- (4) 抵消性:当观测次数无限增多时,偶然误差的算术平均值趋近于零,即:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0 \quad (6.2)$$

式中, $[\Delta] = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n$

为了更直观地表示出误差的分布情况,还可以取误差 Δ 的大小为横坐标,取误差出现于各区间的频率(相对个数)除以区间的间隔值 $d\Delta$ 为纵坐标,建立坐标系并绘图,该图称为直方图,用直方图的形式来表示误差分布情况。图 6-1 形象地表示了该组误差的分布情况。当误差个数 $n \rightarrow \infty$ 时,如果把误差间隔 $d\Delta$ 无限缩小,则图 6-1 中的各长方形顶点折线就变成了一条光滑的曲线(如图 6-2 所示)。该曲线称为误差分布曲线,即正态分布曲线。图中曲线形状越陡峭,表示误差分布越密集,观测质量越高;曲线越平缓,表示误差分布越离散,观测质量越低。

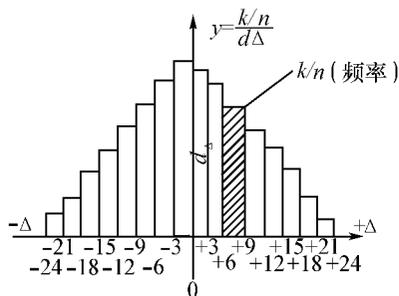


图 6-1

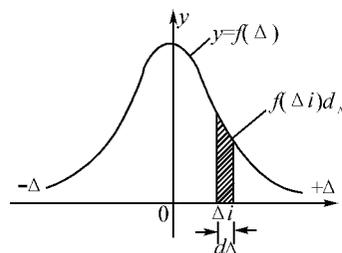


图 6-2

误差分布曲线的方程为:

$$f(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}} \quad (6.3)$$

式中, π 为圆周率, e 为自然对数的底, σ 为标准偏差。

从正态分布图中可以看出, 曲线中间高、两端低, 表明小误差出现的可能性大, 大误差出现的可能性小; 曲线对称, 表明绝对值相等的正、负误差出现的机会均等; 曲线以横轴为渐近线, 即最大误差不会超过一定限值。

第二节 衡量精度的指标

在测量工作中, 观测质量是有优劣的, 也就是精度有高有低。所谓精度, 就是指误差分布的密集或离散的程度。为了衡量观测精度的高低, 需要建立衡量精度的统一标准。

测量中常用的评定精度的指标有: 中误差、相对中误差和极限误差(允许误差)等。

一、中误差

在相同的观测条件下, 对某量进行了 n 次观测, 其观测值为 l_1, l_2, \dots, l_n , 相应的真误差为 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$, 则各个真误差平方和的平均值的平方根, 称为中误差, 通常用 m 表示, 即:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (6.4)$$

m 值越大, 精度越低; m 值越小, 则精度越高。

例 6.1 对某三角形内角之和观测了 5 次, 与 180° 相比较其误差分别为 $+5''$, $-2''$, $0''$, $-4''$, $TIF; E+2''$, 求观测值的中误差。

$$\text{解: } m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{(+5)^2 + (-2)^2 + 0^2 + (-4)^2 + (+2)^2}{5}} = \pm \sqrt{\frac{49}{5}} = \pm 3.1''$$

例 6.2 对某三角形内角之和分别由两组各作了 10 次等精度观测, 其真误差如下, 求其中误差, 并比较两组的精度。

第一组: $-5''$, $-3''$, $+2''$, $+4''$, $-1''$, $0''$, $-4''$, $+3''$, $+1''$, $-3''$;

第二组: $-1''$, $+1''$, $-8''$, $-2''$, $-1''$, $+1''$, $+7''$, $0''$, $+3''$, $-1''$ 。

$$\text{解: } m_1 = \pm \sqrt{\frac{25+9+4+16+1+0+16+9+1+9}{10}} = \pm 3.0''$$

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{1+1+64+4+1+1+49+0+9+1}{10}} = \pm 3.6''$$

因为 $m_1 < m_2$, 所以第一组的观测精度高于第二组的观测精度。

二、相对误差

当观测误差与观测值的大小有关时, 单靠中误差还不能完全反映观测精度的高低。例如, 用钢尺丈量了 100m 及 500m 两段距离, 观测值中误差均为 $\pm 0.02\text{m}$, 虽然两者的中误差相同, 但就单位长度的测量精度而言, 两者并不是相同的, 显然前者的相对精度比后者要低。因此, 在评定测距的精度时, 通常是采用相对中误差。

相对中误差是观测值中误差的绝对值与观测值之比,通常化成分子为 1 的分数式:

$$K = \frac{|\text{中误差}|}{\text{观测值}} = \frac{|m|}{L} = \frac{1}{\frac{L}{|m|}} \quad (6.5)$$

在上述两段测距中,相对中误差分别为:

$$K_1 = \frac{1}{5\,000}, \quad K_2 = \frac{1}{25\,000}$$

显然,500m 的长度相对误差小于 100m 长度的相对误差,500m 段观测的精度高些。

三、极限误差

极限误差是一定观测条件下规定的测量误差的限值,也称为允(容)许误差或限差。在测量工作中,如果观测误差绝对值小于允许误差,则认为该观测值合格;如果测量误差的绝对值大于允许误差,就认为观测值质量不合格。

根据数理统计资料可知:大于一倍中误差的偶然误差出现的可能性约为 32%,大于两倍中误差的偶然误差出现的可能性约为 5%,大于三倍中误差的偶然误差出现的可能性约为 0.3%。这个规律就是确定允许误差的依据。在实际测量工作中,测量的次数总是不会太多的,因此认为大于三倍中误差的偶然误差极少。

所以通常以三倍中误差作为偶然误差的极限值,即:

$$\Delta_{\text{限}} = 3m \quad (6.6)$$

当要求较高时,也常采用两倍中误差作为极限误差,即:

$$\Delta_{\text{限}} = 2m \quad (6.7)$$

第三节 误差传播定律

在实际测量中,有些未知量往往不是直接测量得到的,而是通过观测其他一些相关的量后间接计算出来的。这些量称为间接观测值。间接观测值是直接观测值的函数。因为直接观测值含有误差,所以其函数也一定存在误差。阐述观测值中误差与其函数中误差之间关系的定律称误差传播定律。

下面就具体推导误差传播定律的公式形式:

一、观测值线性函数的中误差

设有线性函数:

$$Z = k_1 x_1 \pm k_2 x_2 \pm \cdots \pm k_n x_n \quad (6.8)$$

式中, k_1, k_2, \cdots, k_n 为常数系数, x_1, x_2, \cdots, x_n 为独立观测值,其中误差分别为 $m_{x_1}, m_{x_2}, \cdots, m_{x_n}$ 。

设观测值 x_1, x_2, \cdots, x_n 的真误差为 $\Delta x_1, \Delta x_2, \cdots, \Delta x_n$,由这些真误差所引起的函数 Z 的真误差为 ΔZ ,则有:

$$Z + \Delta Z = k_1(x_1 + \Delta x_1) \pm k_2(x_2 + \Delta x_2) \pm \cdots \pm k_n(x_n + \Delta x_n) \quad (6.9)$$

将式(6.8)代入式(6.9),得:

$$\Delta Z = k_1 \Delta x_1 \pm k_2 \Delta x_2 \pm \cdots \pm k_n \Delta x_n \quad (6.10)$$

如果对观测值 x_1, x_2, \cdots, x_n 进行了 n 次等精度观测,则有:

$$\begin{aligned}\Delta Z_1 &= k_1 \Delta x_{11} \pm k_2 \Delta x_{21} \pm \cdots \pm k_n \Delta x_{n1} \\ \Delta Z_2 &= k_1 \Delta x_{12} \pm k_2 \Delta x_{22} \pm \cdots \pm k_n \Delta x_{n2} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ \Delta Z_n &= k_1 \Delta x_{1n} \pm k_2 \Delta x_{2n} \pm \cdots \pm k_n \Delta x_{nn}\end{aligned}$$

把以上各式两边平方,相加后再除以 n 得:

$$\frac{[\Delta Z^2]}{n} = k_1^2 \frac{[\Delta x_1^2]}{n} + k_2^2 \frac{[\Delta x_2^2]}{n} + \cdots + k_n^2 \frac{[\Delta x_n^2]}{n} \pm 2k_1 k_2 \frac{[\Delta x_1 \Delta x_2]}{n} \pm 2k_2 k_3 \frac{[\Delta x_2 \Delta x_3]}{n} \pm \cdots$$

根据偶然误差的第(4)个特性,上式可写成:

$$\frac{[\Delta Z^2]}{n} = k_1^2 \frac{[\Delta x_1^2]}{n} + k_2^2 \frac{[\Delta x_2^2]}{n} + \cdots + k_n^2 \frac{[\Delta x_n^2]}{n}$$

根据中误差的定义,则有:

$$\begin{aligned}m_z^2 &= k_1^2 m_{x_1}^2 + k_2^2 m_{x_2}^2 + \cdots + k_n^2 m_{x_n}^2 \\ m_z &= \pm \sqrt{k_1^2 m_{x_1}^2 + k_2^2 m_{x_2}^2 + \cdots + k_n^2 m_{x_n}^2}\end{aligned}\quad (6.11)$$

例 6.3 在水准测量中,若水准尺上每次读数中误差为 $\pm 2.0\text{mm}$,则每站高差中误差是多少?

解: $h = a - b$

$$m_h = \pm \sqrt{m_a^2 + m_b^2} = \pm \sqrt{2.0^2 + 2.0^2} = \pm 2.8(\text{mm})$$

例 6.4 在 1:1 000 地形图上,量得某段距离 $d = 32.2\text{cm}$,其测量中误差 $m_d = \pm 0.1\text{cm}$,求该段距离的实际长度和中误差。

解: $D = Md = 1\,000 \times 32.2 = 32\,200(\text{cm}) = 322(\text{m})$

$$m_D = Mm_d = \pm 1\,000 \times 0.1 = \pm 100(\text{cm}) = \pm 1.0(\text{m})$$

所以实际长度 $D = (322 \pm 1.0)\text{m}$

例 6.5 用经纬仪观测某角四个测回,其观测值为 $L_1 = 60^\circ 30' 36''$ 、 $L_2 = 60^\circ 30' 42''$ 、 $L_3 = 60^\circ 30' 24''$ 、 $L_4 = 60^\circ 30' 38''$,如果一测回测角的中误差为 $\pm 6''$,试求该角的中误差。

解:该角值的最后结果 β 就是四测回所测角值的算术平均值,即:

$$\beta = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}{4}$$

$$\text{则, } m_\beta = \pm \sqrt{\frac{4 \times 6^2}{4^2}} = \pm 3''$$

二、观测值非线性函数的中误差

设有函数:

$$Z = f(x_1, x_2, \cdots, x_n) \quad (6.12)$$

式中: x_1, x_2, \cdots, x_n 为独立观测值,其中误差分别为 $m_{x_1}, m_{x_2}, \cdots, m_{x_n}$ 。

现要求函数 Z 的中误差,推导如下:

对函数取全微分,得:

$$dZ = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} dx_2 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial x_n} dx_n \quad (6.13)$$

设观测值 x_1, x_2, \dots, x_n 的真误差为 $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$, 由这些真误差所引起的函数 Z 的真误差为 ΔZ 。由于真误差一般很小, 式(6.13)可用下式代替, 即:

$$\Delta Z = \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n \quad (6.14)$$

式中: $\frac{\partial f}{\partial x}$ 为函数对自变量 x 的偏导数, 当函数关系确定时, 它们均为常数。

设: $\frac{\partial f}{\partial x_1} = k_1, \frac{\partial f}{\partial x_2} = k_2, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} = k_n$

因此, 式(6.14)为线性函数的真误差关系式, 则由式(6.11)可得

$$m_z^2 = k_1^2 m_{x_1}^2 + k_2^2 m_{x_2}^2 + \dots + k_n^2 m_{x_n}^2$$

即:
$$m_z = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 m_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 m_{x_n}^2} \quad (6.15)$$

通过以上推导可以看出, 观测值线性函数中误差关系式是非线性函数中误差关系式的特殊形式。

例 6.6 有一长方形, 测得其长为 $32.41 \pm 0.02\text{m}$, 宽为 $24.36 \pm 0.01\text{m}$ 。求该长方形的面积及其中误差。

解: 设长为 a , 宽为 b , 面积为 S

则有: $S = ab = 32.41 \times 24.36 = 789.51(\text{m}^2)$

$$\begin{aligned} m_z &= \pm \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial a}\right)^2 m_a^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial b}\right)^2 m_b^2} \\ &= \pm \sqrt{b^2 m_a^2 + a^2 m_b^2} \\ &= \pm \sqrt{24.36^2 \times (\pm 0.02)^2 + 32.41^2 \times (\pm 0.01)^2} \\ &= \pm 0.59(\text{m}^2) \end{aligned}$$

所以, 该长方形的面积为 $S = (789.51 \pm 0.59)\text{m}^2$

例 6.7 $\Delta x = D \cos \alpha$, 测得 $D = 63.21 \pm 0.04\text{m}$, $\alpha = 20^\circ 30' 00'' \pm 12''$, 试求相应 Δx 的值及其中误差。

解: $\Delta x = D \cos \alpha$

$$\begin{aligned} m_{\Delta x} &= \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta x}{\partial D}\right)^2 m_D^2 + \left(\frac{\partial \Delta x}{\partial \alpha}\right)^2 \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2} \\ &= \pm \sqrt{\cos^2 \alpha m_D^2 + (-D \sin \alpha)^2 \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2} \\ &= \pm \sqrt{\cos^2 20^\circ 30' 00'' \times 0.04^2 + (-63.21 \sin 20^\circ 30' 00'')^2 \times \left(\frac{12}{206265}\right)^2} \\ &= \pm 0.0375(\text{m}) \end{aligned}$$

在计算中, $\frac{m_\alpha}{\rho}$ 是将角值化为弧度, $\rho = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57.3^\circ = 3438' = 206265''$ 。

三、应用误差传播定律求观测值函数的中误差的计算步骤为:

(1) 根据题意, 列出具体的函数关系式 $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。

(2) 如果函数是非线性的,则对各观测值求偏导数 $\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n}$ 。

(3) 写出函数中误差与观测值中误差的关系式:

$$m_z = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 m_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 m_{x_n}^2}$$

(4) 代入已知数据,计算相应函数值的中误差。

习 题

1. 测量误差的来源有哪几个方面?
2. 系统误差和偶然误差有什么区别?偶然误差有什么特性?
3. 什么叫中误差?什么叫相对中误差?什么叫极限误差?
4. 已知一测回测角中误差为 $\pm 9''$,欲使测角精度达到 $\pm 2''$,问至少需要几个测回?
5. 用钢尺进行距离丈量,共量了5个尺段,若每尺段丈量的中误差均为 $\pm 2\text{mm}$,问全长的中误差是多少?
6. 设有一 n 边形,每个内角的测角中误差均为 $\pm 12''$,求该 n 边形内角和闭合差的中误差。
7. 已知五边形各内角的测角中误差为 $\pm 18''$,允许误差为中误差的两倍,求该五边形内角和闭合差的允许误差。
8. 若水准测量中每公里观测高差的精度相同,则 K 公里观测高差的中误差是多少?若每测站观测高差的精度相同,则 n 个测站观测高差的中误差是多少?

第七章 定向测量

第一节 直线定向

在测量工作中常要确定地面上两点间的平面位置关系,要确定这种关系除了需要测量两点之间的水平距离以外,还必须确定该两点所连直线的方向。在测量上,直线的方向是根据某一标准方向(也称基本方向)来确定的,确定一条直线与标准方向间的关系称为直线定向。通常用直线与标准方向间的水平角来表示。

一、标准方向的种类

(一) 真子午线方向

通过地球表面上某点的真子午线的切线方向称为该点的真子午线方向,真子午线方向可通过天文观测、陀螺经纬仪测量来测定。

(二) 磁子午线方向

通过地球表面上某点的磁子午线的切线方向称为该点的磁子午线方向。磁针静止时所指的方向即为磁子午线方向,它是用罗盘来测定的。

(三) 坐标纵轴方向

我国采用高斯平面直角坐标系,其每一投影带中央子午线的投影为坐标纵轴方向,即 X 轴方向,坐标纵轴方向处处平行于中央子午线。

测量中常用这三个方向来作为直线定向的标准方向,即所谓的三北方向(如图 7-1 所示)。

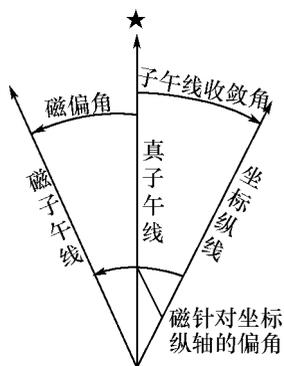


图 7-1

二、表示直线方向的方法

测量工作中,常用方位角来表示直线的方向。从标准方向的北端顺时针方向量至某直线的水平夹角,称为该直线的方位角,范围是 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 。

根据标准方向的不同,方位角又分为真方位角、磁方位角和坐标方位角三种。

1. 真方位角

从真子午线方向的北端起顺时针方向量到某直线的水平角,称为该直线的真方位角,用 $A_{真}$ 表示。

2. 磁方位角

从磁子午线方向的北端起顺时针方向量到某直线的水平角,称为该直线的磁方位角,用

$A_{\text{磁}}$ 表示。

3. 坐标方位角

从坐标纵轴方向的北端起顺时针方向量到某直线的水平角,称为该直线的坐标方位角,一般用 α 表示(以后在不加说明的情况下,方位角均指坐标方位角)。

三、几种方位角之间的关系

(一) 真方位角与磁方位角之间的关系

由于磁南北极与地球的南北极不重合,因此过地球上某点的真子午线与磁子午线不重合,同一点的磁子午线方向偏离真子午线方向某一个角度称为磁偏角,用 δ 表示,如图 7-2。真方位角与磁方位角之间存在下列关系。

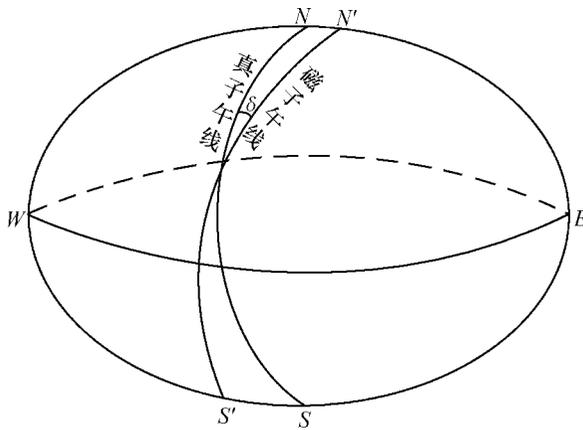


图 7-2

$$A_{\text{真}} = A_{\text{磁}} + \delta \quad (7.1)$$

式中,磁偏角 δ 值,东偏取正,西偏取负。我国的磁偏角的变化在 $-10^{\circ} \sim +6^{\circ}$ 之间。

(二) 真方位角与坐标方位角之间的关系

赤道上各点的真子午线相互平行,地面上其他各点的真子午线都收敛于地球两极,是不平行的。地面上各点的真子午线北方向与坐标纵线(中央子午线)北方向之间的夹角,称为子午线收敛角,用 γ 表示。真方位角与坐标方位角的关系式如下:

$$A_{\text{真}} = \alpha + \gamma \quad (7.2)$$

式中, γ 值亦有正有负,在中央子午线以东地区,各点的坐标纵线北方向偏在真子午线的东边, γ 为正值;在中央子午线以西地区,则 γ 为负值(如图 7-3 所示)。

(三) 坐标方位角与磁方位角之间的关系

已知某点的子午线收敛角 γ 和磁偏角 δ ,则坐标方位角与磁方位角之间的关系为:

$$\alpha = A_{\text{磁}} + \delta - \gamma \quad (7.3)$$

第二节 坐标方位角的推算

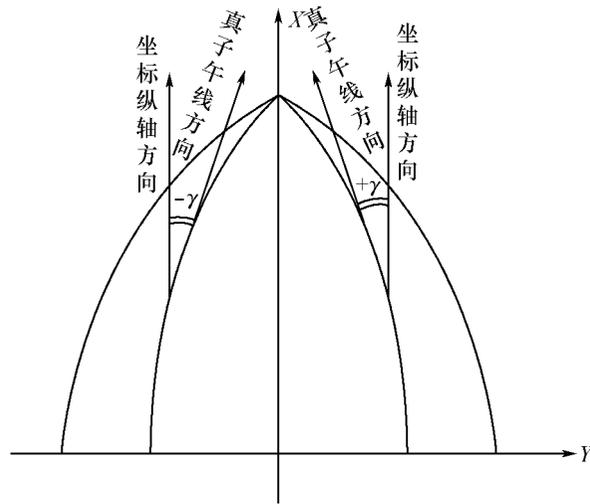


图 7-3

一、正、反坐标方位角

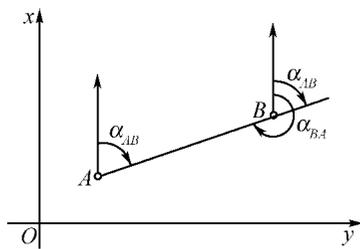


图 7-4

测量工作中的直线都是具有一定方向的,一条直线存在正、反两个方向(如图 7-4 所示)。就直线 AB 而言,点 A 是起点, B 点是终点。通过起点 A 的坐标纵轴北方向与直线 AB 所夹的坐标方位角 α_{AB} 称为直线 AB 的正坐标方位角;过终点 B 的坐标纵轴北方向与直线 BA 所夹的坐标方位角 α_{BA} ,称为直线 AB 的反坐标方位角(是直线 BA 的正坐标方位角)。正、反坐标方位角互差 180° ,即:

$$\alpha_{\text{正}} = \alpha_{\text{反}} \pm 180^\circ \quad (7.4)$$

二、坐标方位角的推算

测量工作中并不直接测定每条直线的坐标方位角,而是通过与已知点的连测,由各相邻边构成的角度经计算求得各边的坐标方位角。如图 7-5 所示,通过已知坐标方位角和观测的水平角来推算出各边的坐标方位角。在推算时水平角 β 有左角和右角之分,图中沿前进方向 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ 左侧的水平角称为左角,沿前进方向右侧的水平角称为右角。

(一) 相邻边间坐标方位角的推算

设 α_{AB} 为已知起始方位角,各转折角为左角。从图 7-5 中可以看出:每一边的正、反坐标方位角相差 180° ,则有:

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + \beta_{B\text{左}} - 180^\circ \quad (7.5)$$

同理有:

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + \beta_{C\text{左}} - 180^\circ \quad (7.6)$$

$$\alpha_{DE} = \alpha_{CD} + \beta_{D\text{左}} - 180^\circ \quad (7.7)$$

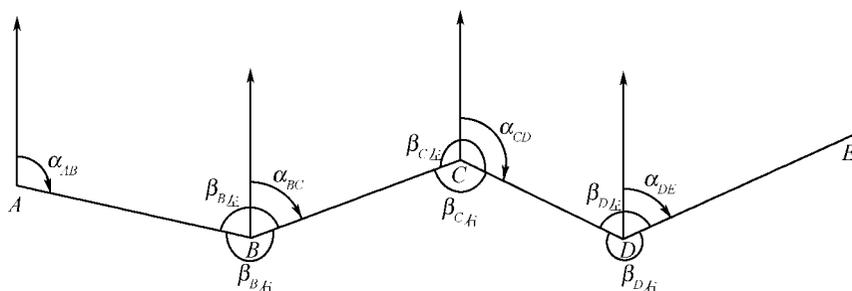


图 7-5

由此可知,按线路前进方向,由后一边的已知方位角和左角推算线路前一边的坐标方位角的计算公式为:

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + \beta_{左} - 180^{\circ} \quad (7.8)$$

根据左右角间的关系,将 $\beta_{左} = 360^{\circ} - \beta_{右}$ 代入式(7.8),则有:

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} - \beta_{右} + 180^{\circ} \quad (7.9)$$

综合式(7.8)和式(7.9)可得:

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} \pm \beta \pm 180^{\circ} \quad (7.10)$$

式中, β 前的“ \pm ”取法为:当 β 为左角时取“+”, β 为右角时取“-”; 180° 前的“ \pm ”取法为:当 $\alpha_{后} \pm \beta < 180^{\circ}$ 时取“+”,当 $\alpha_{后} \pm \beta > 180^{\circ}$ 时取“-”。

实际上,根据坐标方位角的范围 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$, 180° 前的“ \pm ”可以任意取“+”或“-”,如果计算的角值大于 360° ,则应该减去 360° ;如果计算的角值为负,则应该加上 360° 。

(二) 任意边坐标方位角的推算

由已知边的坐标方位角,推算某一边的坐标方位角,将式(7.5)、式(7.6)、式(7.7)等左、右两边依次相加,一直加到所求的终边(将所求的边看做是终边)。可得:

$$\alpha_{终} = \alpha_{始} \pm \sum \beta \pm n \times 180^{\circ} \quad (7.11)$$

式(7.11)即为坐标方位角计算公式的通式。式中, $\pm\beta$ 的“ \pm ”取法为: β 为左角时取“+”, β 为右角时取“-”; n 是转折角的个数,“ \pm ”可任取“+”或“-”,但要注意在最后的结果中根据方位角的范围进行加上或减去若干个 360° 的计算,使方位角在 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围内。

例 7.1 在图 7-5 中,已知 $\alpha_{AB} = 30^{\circ}$, $\beta_{B左} = 120^{\circ}$, $\beta_{C左} = 210^{\circ}$, $\beta_{D左} = 100^{\circ}$,根据式(7.11),得:

$$\alpha_{DE} = 30^{\circ} + 120^{\circ} + 210^{\circ} + 100^{\circ} + 3 \times 180^{\circ} = 1000^{\circ}, \text{化为: } 1000^{\circ} - 2 \times 360^{\circ} = 280^{\circ}$$

或 $\alpha_{DE} = 30^{\circ} + 120^{\circ} + 210^{\circ} + 100^{\circ} - 3 \times 180^{\circ} = -80^{\circ}$,化为: $-80^{\circ} + 360^{\circ} = 280^{\circ}$

所以, $\alpha_{DE} = 280^{\circ}$

第三节 坐标正、反算

一、坐标正算

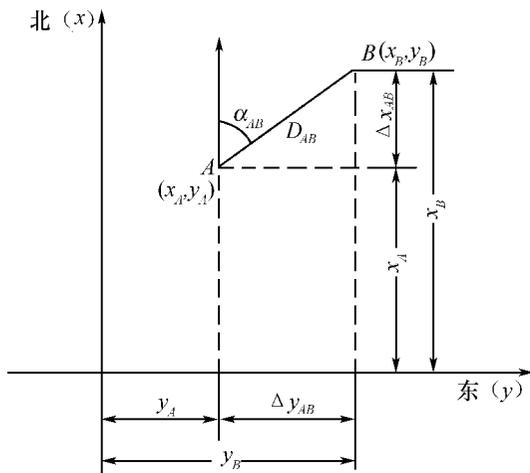


图 7-6

根据直线始点的坐标、直线的水平距离及其方位角计算直线终点的坐标,称为坐标正算。如图 7-6 所示,直线 AB 的始点 A 的坐标 (X_A, Y_A) 为已知,测得 AB 直线的水平距离 D_{AB} 和方位角 α_{AB} ,则终点 B 的坐标 (X_B, Y_B) 可按下列步骤计算。

由图 7-6 可以看出 A、B 两点间纵横坐标增量分别为:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{AB} &= D_{AB} \cos \alpha_{AB} \\ \Delta y_{AB} &= D_{AB} \sin \alpha_{AB} \end{aligned} \right\} \quad (7.12)$$

B 点的坐标计算式为:

$$\left. \begin{aligned} x_B &= x_A + \Delta x_{AB} = x_A + D_{AB} \cos \alpha_{AB} \\ y_B &= y_A + \Delta y_{AB} = y_A + D_{AB} \sin \alpha_{AB} \end{aligned} \right\} \quad (7.13)$$

二、坐标反算

根据直线始点和终点的坐标,计算两点间的水平距离和该直线的坐标方位角,称为坐标反算。

如图 7-6 所示, A、B 两点的水平距离及方位角可按下列公式计算:

$$D_{AB} = \sqrt{\Delta x_{AB}^2 + \Delta y_{AB}^2} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (7.14)$$

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}} = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \quad (7.15)$$

根据式(7.15)计算所得的角值,需要进行象限的判别。

(1) 当 $\Delta x_{AB} > 0, \Delta y_{AB} > 0$ 时, α_{AB} 位于第 I 象限内,范围在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间。计算的角值即为该方位角值。

(2) 当 $\Delta x_{AB} < 0, \Delta y_{AB} > 0$ 时, α_{AB} 位于第 II 象限内,范围在 $90^\circ \sim 180^\circ$ 之间。计算得到的负角值应加上 180° ,即得所求方位角值。

(3) 当 $\Delta x_{AB} < 0, \Delta y_{AB} < 0$ 时, α_{AB} 位于第 III 象限内,范围在 $180^\circ \sim 270^\circ$ 之间。计算得到的正角值应加上 180° ,即得所求方位角值。

(4) 当 $\Delta x_{AB} > 0, \Delta y_{AB} < 0$ 时, α_{AB} 位于第 IV 象限内,范围在 $270^\circ \sim 360^\circ$ 之间。计算得到的负角值应加上 360° ,即得所求方位角值。

如果先计算出坐标方位角值,也可用下式计算水平距离 D_{AB} 。

$$D_{AB} = \frac{\Delta y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{\Delta x_{AB}}{\cos \alpha_{AB}} \quad (7.16)$$

例 7.2 已知 A 点的坐标为 $(541.25, 685.37)$, AB 边的边长为 75.25m, AB 边的坐标方位角 α_{AB} 为 $50^\circ 30'$,试求 B 点坐标。

解: $x_B = 541.25 + 75.25 \cos 50^\circ 30' = 589.11$

$y_B = 685.37 + 75.25 \sin 50^\circ 30' = 743.43$

例 7.3 已知 A、B 两点的坐标为 $A(500.00, 850.87), B(325.14, 983.65)$,试计算 AB

的边长及 AB 边的坐标方位角。

$$\text{解: } D_{AB} = \sqrt{(325.14 - 500.00)^2 + (983.65 - 850.87)^2} = 219.56$$

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{983.65 - 850.87}{325.14 - 500.00} = \arctan(-0.76) = -37^{\circ}14'05''$$

由于 $\Delta x_{AB} < 0, \Delta y_{AB} > 0$, 所以 α_{AB} 应为第 II 象限的角, 根据方位角的判别方法:

$$\alpha_{AB} = -37^{\circ}14'05'' + 180^{\circ} = 142^{\circ}45'55''$$

第四节 罗盘仪及其使用

一、罗盘仪的构造

罗盘仪是用来测定直线磁方位角的仪器。罗盘仪的种类很多, 构造大同小异, 由磁针、度盘和望远镜三部分构成。图 7-7 所示是罗盘仪的一种。

磁针是由磁铁制成, 当罗盘仪水平放置时, 自由静止的磁针就指向南北极方向, 即过测站点的磁子午线方向。一般在磁针的南端缠绕有细铜丝, 这是因为我国位于地球的北半球, 磁针的北端受磁力的影响下倾, 缠绕铜丝可以保持磁针水平。罗盘仪的度盘按逆时针方向由 0° 至 360° (如图 7-8 所示), 每 10° 有注记, 最小分划为 1° 或 $30'$, 度盘 0° 和 180° 两根刻划线与罗盘仪望远镜的视准轴一致。罗盘仪内装有两个相互垂直的长水准器, 用于整平罗盘仪。

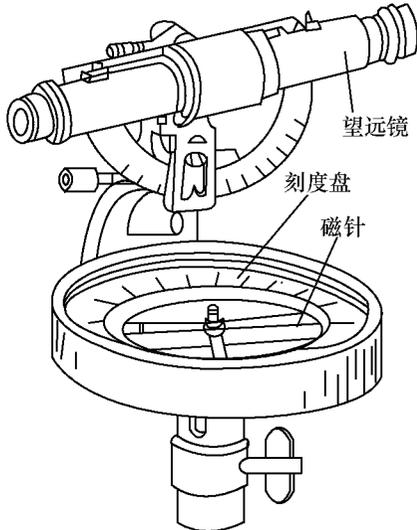


图 7-7

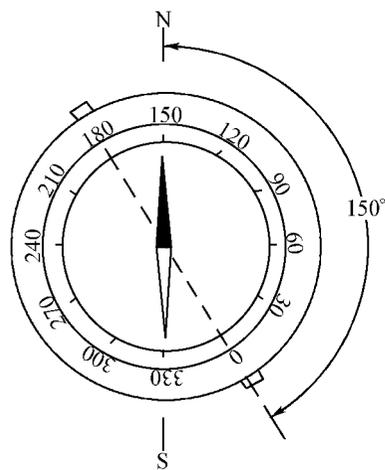


图 7-8

二、罗盘仪的使用

如图 7-9 所示,在直线的起点 A 安置罗盘仪,对中、整平后松开磁针固定螺丝,使磁针处于自由状态。用望远镜瞄准直线终点目标 B ,待磁针静止后读取磁针北端所指的读数(图 7-8 中读数为 150°),即为该直线的磁方位角。将罗盘仪安置在直线的另一端,按上述方法返测磁方位角进行检核,二者之差理论上应等于 180° ,若不超过限,取平均值作为最后结果。

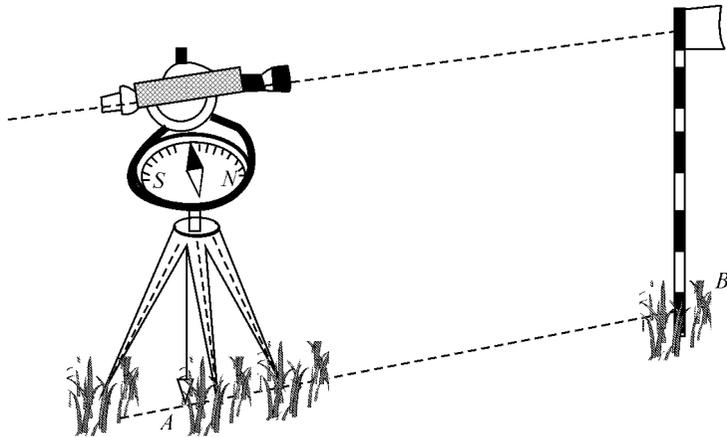


图 7-9

三、罗盘仪使用时的注意事项

- (1) 罗盘仪须置平,磁针能自由转动。
- (2) 罗盘仪使用时应避免铁器、高压线、磁场等物质。
- (3) 观测结束后,必须旋紧顶起螺丝,将磁针顶起,以免磁针磨损,并保护磁针的灵活性。

习 题

1. 什么叫直线定向?为什么要进行直线定向?
2. 测量上作为定向依据的标准方向有几种?
3. 什么叫方位角?方位角有几种?它们之间的关系是什么?
4. 已知直线 AB 的坐标方位角为 $60^\circ 30'$, AB 直线的反方位角是多少?
5. 已知 A 点的坐标为 $A(412.36, 851.36)$, AB 边的边长为 $D_{AB} = 75.25\text{m}$, AB 边的方位角为 $\alpha_{AB} = 120^\circ 20'$,试求 B 点的坐标。
6. 已知 A 点的坐标为 $A(500.25, 850.74)$, B 点的坐标为 $B(215.45, 1235.21)$,试求 AB 边的边长 D_{AB} 及 AB 边的方位角 α_{AB} 。
7. 怎样使用罗盘仪测定直线的磁方位角?

第八章 小区域控制测量

第一节 控制测量概述

无论是测绘地形图还是施工放样,为了保证测图、放样的精度和使工作方便、提高效率,必须遵循“从整体到局部,先控制后碎部”的工作原则,即在测区内先建立测量控制网,然后根据控制网进行测绘和放样。

在测区内选定的若干个起控制作用的点而构成的一定几何图形,称为控制网。控制网分为平面控制网和高程控制网两种。用比较精密的测量仪器、工具和比较严密的方法,精确地测定控制点点位的工作,称为控制测量。测定控制点平面位置的工作,称为平面控制测量;而测定控制点高程位置的工作,称为高程控制测量。

一、国家基本控制网

我国地大物博,幅员辽阔,根据国家经济建设的需要,国家测绘部门在全国范围内进行了国家控制测量,为确定地球的形状和大小、地球重力场及地震监测等基础研究提供必要的资料、为空间科学和军事应用提供精确的点位依据,也为各种工程建设中的测量工作提供基础资料。

(一) 平面控制网

建立国家平面控制网的常规方法有三角测量和精密导线测量。

三角测量是在地面上选择若干个控制点,把相邻互相通视的点连接起来组成一系列三角形(三角形的顶点称为三角点),观测三角形的三个内角,并精密测定一条或几条边(基线)的边长和方位角,应用三角公式解算出各三角形的边长,然后根据其中一点的已知坐标,计算出各三角点的坐标。三角形连接成网状的称为三角网(如图 8-1 所示)。连接成条状的称为三角锁,(如图 8-2 所示)

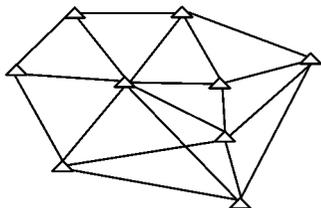


图 8-1 三角网

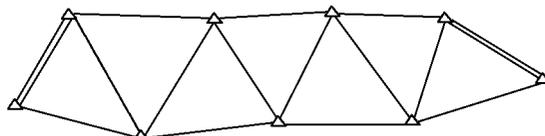


图 8-2 三角锁

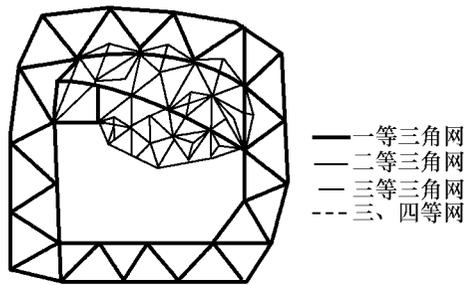


图 8-3

国家平面控制网按控制次序和施测精度分为一、二、三、四等,从高级到低级,逐级加密布置(如图 8-3 所示)。一等三角锁是国家平面控制网的骨干;二等三角网布设在一等三角锁环内,形成国家平面控制网的全面基础;三、四等三角网作为二等三角网的进一步加密。各等级三角网的主要技术指标如表 8-1 所示。

导线测量是在地面上选择一系列控制点,将其依次连成折线(称为导线),观测各转折角(导线角)和各折线边(导线边)的边长,并测定起始边的

方位角,然后根据已知点的坐标,计算各控制点(导线点)的坐标(如图 8-4 所示)。图 8-4a 为单一导线,图 8-4b 为导线网。

表 8-1 全国三角网技术指标

等级	平均边长(km)	测角中误差(")	三角形最大闭合差(")	起始边相对中误差
一	20~25	± 0.7	± 2.5	1/350 000
二	13 左右	± 1.0	± 3.5	1/250 000
三	8 左右	± 1.8	± 7.0	1/150 000
四	2~6	± 2.5	± 9.0	1/100 000

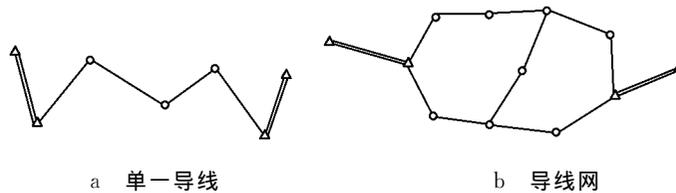


图 8-4

精密导线也分为一、二、三、四共四个等级。一等导线一般沿经纬线或主要交通路线布设,纵横交叉构成较大的导线环;二等导线布设于一等导线环内;三、四等导线则是在一、二等导线的基础上加密而得。各等导线的主要技术指标如表 8-2 所示。

表 8-2 精密导线技术指标

等级	导线边长(km)	测角中误差(")	导线节边数	边长测定相对中误差
一	10~30	± 0.7	< 7	1/250 000
二	10~30	± 1.0	< 7	1/200 000
三	7~20	± 1.8	< 20	1/150 000
四	4~15	± 2.5	< 20	1/100 000

(二) 高程控制网

国家高程控制网是用精密的水准测量方法建立的。按其精度不同,可分为一、二、三、四共四个等级(如图 8-5 所示)。一等水准网是国家高程控制网的骨干;二等水准网是布设于一等水准环内,是国家高程控制网的全面基础;三、四等水准网是国家高程控制网的进一步加密。各等水准测量的主要技术指标如表 8-3 所示。

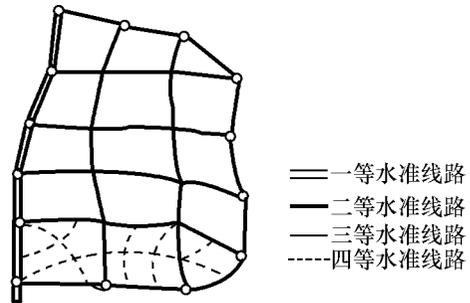


图 8-5

表 8-3 水准测量技术指标

等级	水准网环线周长(km)	附和线路长度(km)	每公里高差中数		线路闭合差 (mm)
			偶然中误差(mm)	全中误差(mm)	
一	1 000~2 000		±0.5	±1.0	±2√L
二	500~750		±1.0	±2.0	±4√L
三	200	150	±3.0	±6.0	±12√L
四	100	80	±5.0	±10.0	±20√L

注:表中 L 为水准线路长度,以 km 为单位。

二、图根控制网

对于小区域工程建设,由于国家基本控制点点位较稀少,不能满足测量的需要,还需应用不同的方法在高级控制点间进行控制点的加密。在面积为 15km^2 以内的小地区范围内,为大比例尺测图和工程建设而建立的控制网,称为小区域控制网。小区域控制网应尽量与国家控制网连测,以国家控制点的坐标和高程作为小区域控制网的起算数据与校核。若测区内或附近不便与国家控制点连测时,可根据需要建立独立控制网。

小区域控制网仍然分平面控制网和高程控制网两种,均可根据测区面积大小,按精度要求分级建立。在测区范围内建立统一的精度最高的控制网,称为首级控制网,直接为测图建立的控制网,称为图根控制网。这些组成控制网的点,称为图根控制点,简称图根点。如上述控制点还不能满足测图需要,可用解析法或图解法测设测图控制点,称为测站点。

测图控制点的密度应根据测图比例尺的大小和地形的复杂程度而定。一般来说,平坦开阔地区控制点的密度稍低,困难地区和山区控制点数可适当增加(如表 8-4 所示)。

表 8-4 控制点的密度

测图比例尺	1 : 500	1 : 1 000	1 : 2 000	1 : 5 000
每平方公里的控制点数	150	50	15	5
每幅图的控制点数	9	12	15	20

小区域平面控制测量的方法,一般有导线测量、小三角测量、测角交会法等;高程控制测量的方法,一般有水准测量、三角高程测量等。

随着 GPS 全球定位系统技术的广泛应用,目前在工程测量中也有采用 GPS 技术进行控制测量的。

第二节 导线测量

一、导线测量概述

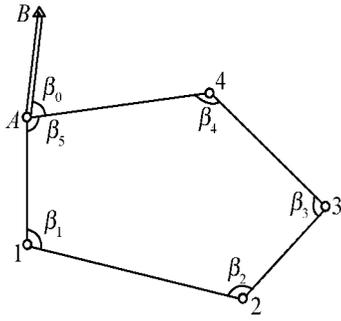


图 8-6 闭合导线

导线测量是平面控制测量的一种方法。其特点是布设灵活,要求通视方向少,边长直接测定,精度均匀,故常用于地物分布较复杂的城市地区或视线障碍较多的隐蔽地区和带状地区。根据测区的不同情况和要求,导线可以布设成以下三种形式:

(一) 闭合导线

如图 8-6 所示,导线从一已知高级控制点出发,经过若干未知点,仍回到原已知控制点,形成一个闭合多边形。这种布设形式,适合于方圆地区。由于它本身具有严密的几何条件,故常用做独立测区的首级平面控制。

(二) 附和导线

如图 8-7 所示,导线从一已知高级控制点出发,经过若干未知点,终止于另一已知高级控制点,组成一伸展的折线。这种布设形式,适合于具有高级控制点的带状地区。附和导线也具有检核观测成果的作用,常用于平面控制测量的加密。

(三) 支导线

如图 8-8 所示,导线从一已知高级控制点出发,既不回到原已知高级控制点,又不附和到另一已知高级控制点,而形成自由延伸的折线。由于支导线缺乏检核条件,因此,其未知点数一般不得超过两个,并且需要往返测量,它仅用于测站点的加密。

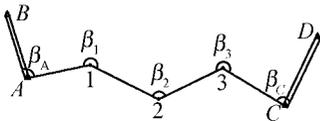


图 8-7 附和导线

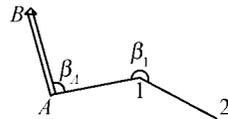


图 8-8 支导线

根据测区范围及精度要求,导线一般可分为一级导线、二级导线、三级导线和图根导线四个等级。各级导线测量的主要技术指标可参见表 8-5。

表 8-5

各级导线测量的主要技术指标

等级	导线长度(km)	平均边长(km)	测角中误差(")	测回数		角度闭合差(")	导线全长相对闭合差
				DJ ₆	DJ ₂		
一级	4	0.5	5	4	2	$10\sqrt{n}$	1/15000
二级	2.4	0.25	8	3	1	$16\sqrt{n}$	1/10000
三级	1.2	0.1	12	2	1	$24\sqrt{n}$	1/5000
图根	$\leq 1.0M$	1.5 测图最大视距	20	1		$60\sqrt{n}$	1/2000

注:表中 n 为测角个数; M 为测图比例尺的分母。

二、导线测量的外业工作

导线测量的外业工作包括：踏勘选点（埋设标志）、角度测量、边长测量及导线定向。

（一）踏勘选点

在踏勘选点之前，应收集有关测量资料，包括测区和附近原有的各种比例尺地形图、控制点的坐标及高程等。然后，在已有的地形图上进行导线点位的设计，拟定布设方案。最后，到现场踏勘，按照实际情况对图上设计做必要的修改与调整，合理地选定导线点的位置。若测区内没有地形图，或测区范围较小，也可以直接到测区进行实地踏勘，直接拟定导线的路线形式及点位。

选点时，应注意下列事项：

- （1）导线点应选在土质坚实、视野开阔处，便于安置仪器和地形图测绘；
- （2）相邻导线点间应互相通视，便于观测水平角和测量边长；
- （3）导线边长应大致相等，以减小观测水平角时望远镜因调焦而引起误差。导线平均边长应符合表 8-5 的规定；
- （4）导线点应有足够的密度，分布较均匀，便于控制整个测区。

导线点选定后，应建立点位标志。导线点的标志有临时性标志和永久性标志两种。临时性标志一般是在导线点上打一木桩，桩顶钉一小钉；也可在水泥地面上用红漆圈一圆，圆内点一小点。永久性标志则是埋设混凝土桩或石柱（如图 8-9 所示），桩顶嵌入带有“十”字标志的金属；也可将标志直接嵌入水泥地面或岩石上。为了便于管理和使用，导线点要统一编号，并绘点之记（如图 8-10 所示）。

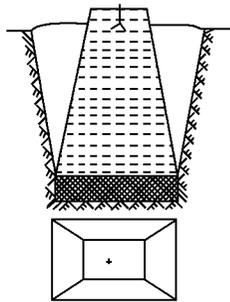


图 8-9 导线点位标志构造

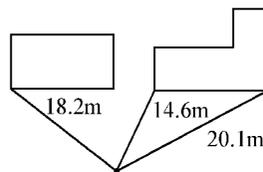


图 8-10 点之记

（二）水平角观测

导线的转折角用经纬仪按测回法观测。对于附和导线，一般观测其左角（即位于导线前进方向左侧的转折角）；对于闭合导线，常观测其内角；对于图根导线，一般用 DJ6 级经纬仪观测一个测回。盘左、盘右测得角度之差不得大于 $40''$ ，并取其平均值作为最后的角度值。

（三）边长测量

导线边长可以用钢尺丈量，也可以用光电测距仪测定。对于图根导线，如用钢尺往返丈量，其相对误差一般不得超过 $1/2\ 000$ ，在特殊困难地区也不得超过 $1/1\ 000$ 。

（四）导线定向

当导线与测区内已有控制点连接时，必须测出连接角（即导线边与已知边发生联系的

角),如图 8-6 中的 β_0 ,图 8-7 中的 β_A 、 β_C 。观测连接角时,一般应比转折角多测一个测回。如是独立导线,则可用罗盘仪测量导线起始边的磁方位角,并假定起始点的坐标作为起算数据。

三、导线测量的内业计算

导线内业计算之前,应全面检查导线测量外业记录,计算是否正确,成果是否符合要求,起算数据是否准确。同时绘制导线略图,并注明导线点点号和有关的边长、转折角、起始边方位角及已知点坐标。

由于导线角度测量和边长测量均不可避免地存在误差,使得某些量的推算值与已知值不符而产生闭合差,所以在导线内业计算中,应先计算有关闭合差,并合理地分配掉这些闭合差,最后计算出各导线点的坐标。

(一) 闭合导线的内业计算

闭合导线是由导线点组成的闭合多边形,因而,它必须满足两个几何条件:一是多边形内角和条件;另一个是坐标条件。闭合导线的计算方法步骤如下:

1. 角度闭合差的计算和调整

由平面几何原理可知, n 边形闭合导线内角和的理论值为:

$$\sum \beta_{理} = (n - 2) \times 180^\circ \quad (8.1)$$

由于角度观测值中不可避免地含有测量误差,实测的 n 个内角之和 $\sum \beta_{测}$ 不一定等于其理论值 $\sum \beta_{理}$,而产生角度闭合差 f_β ,即:

$$f_\beta = \sum \beta_{测} - \sum \beta_{理} = \sum \beta_{测} - (n - 2) \times 180^\circ \quad (8.2)$$

对于图根导线而言,角度闭合差的容许值一般为:

$$f_{\beta允} = \pm 60'' \sqrt{n} \quad (8.3)$$

当 $|f_\beta| > |f_{\beta允}|$ 时,则应分析、检查原始角度测量记录及计算,必要时应进行一定的重新观测。

当 $|f_\beta| \leq |f_{\beta允}|$ 时,可将角度闭合差反符号平均分配至各观测角中,每个观测角的改正数应为:

$$v_\beta = \frac{-f_\beta}{n} \quad (8.4)$$

如果 f_β 的数值不能被导线内角数整除而有余数时,可将余数人为调整至短边的邻角上,使调整后的内角和等于 $\sum \beta_{理}$,而调整后的角度为:

$$\beta'_i = \beta_i + v_\beta \quad (8.5)$$

2. 导线各边坐标方位角的计算

根据已知边坐标方位角和调整后的角度,可按方位角的计算公式计算导线各边坐标方位角。

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} \pm \beta \pm 180^\circ \quad (8.6)$$

为了校核坐标方位角计算有无错误,应由最后一边的坐标方位角推算起始边的坐标方

位角,其推算值应等于已知值。否则,应检查计算过程,加以纠正。

3. 坐标增量的计算

根据各边边长及坐标方位角,按坐标正算公式计算相邻两点间的纵、横坐标增量,即:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{i(i+1)} &= D_{i(i+1)} \cos \alpha_{i(i+1)} \\ \Delta y_{i(i+1)} &= D_{i(i+1)} \sin \alpha_{i(i+1)} \end{aligned} \right\} \quad (8.7)$$

4. 坐标增量闭合差的计算及调整

由解析几何可知,闭合导线纵、横坐标增量代数值的理论值应等于零,即:

$$\left. \begin{aligned} \sum \Delta x_{\text{理}} &= 0 \\ \sum \Delta y_{\text{理}} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8.8)$$

由于测边误差和角度闭合差调整后残余误差的影响,所计算的纵、横坐标增量的代数和 $\sum \Delta x_{\text{测}}$ 、 $\sum \Delta y_{\text{测}}$ 不一定等于零,而产生纵、横坐标增量闭合差 f_x 、 f_y ,即:

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta x_{\text{测}} \\ f_y &= \sum \Delta y_{\text{测}} \end{aligned} \right\} \quad (8.9)$$

f_x 、 f_y 的存在,使得闭合导线不闭合,产生了一段距离 f_D (或 f_s) 如图 8-11 所示, f_D 称为导线全长闭合差。闭合导线全长闭合差为:

$$f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (8.10)$$

导线全长闭合差主要是由量边误差引起,一般来说,导线愈长,全长闭合差也愈大。通常, f_D 用导线全长闭合差与导线全长 $\sum D$ 之比来衡量导线测量的精度,即计算导线全长相对闭合差 K 。

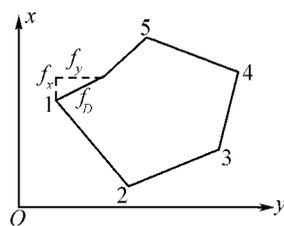


图 8-11

$$K = \frac{f_D}{\sum D} = \frac{1}{\sum D/f_D} \quad (8.11)$$

若 K 值大于容许值,则说明观测成果不合格,应进行内业计算、外业观测检查,必要时要进行部分或全部重新观测。若 K 值不大于容许值,可将纵、横坐标增量闭合差反符号与边长成正比例分配到各坐标增量中。第 i 、 $(i+1)$ 点间的纵、横坐标增量 $\Delta x_{i(i+1)}$ 、 $\Delta y_{i(i+1)}$ 的改正数 $v_{\Delta x_{i(i+1)}}$ 、 $v_{\Delta y_{i(i+1)}}$ 为:

$$\left. \begin{aligned} v_{\Delta x_{i(i+1)}} &= \frac{-f_x}{\sum D} \times D_{i(i+1)} \\ v_{\Delta y_{i(i+1)}} &= \frac{-f_y}{\sum D} \times D_{i(i+1)} \end{aligned} \right\} \quad (8.12)$$

纵、横坐标增量改正数之和应满足下式:

$$\left. \begin{aligned} \sum v_{\Delta x} &= -f_x \\ \sum v_{\Delta y} &= -f_y \end{aligned} \right\} \quad (8.13)$$

而改正后的纵、横坐标增量为:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x'_{i(i+1)} &= \Delta x_{i(i+1)} + v_{\Delta x_{i(i+1)}} \\ \Delta y'_{i(i+1)} &= \Delta y_{i(i+1)} + v_{\Delta y_{i(i+1)}} \end{aligned} \right\} \quad (8.14)$$

5. 导线点坐标的计算

根据起始点的已知坐标和改正后的坐标增量,按坐标正算有关公式逐点推算各导线点的坐标:

$$\left. \begin{aligned} x_{(i+1)} &= x_i + \Delta x'_{i(i+1)} \\ y_{(i+1)} &= y_i + \Delta y'_{i(i+1)} \end{aligned} \right\} \quad (8.15)$$

最后还应计算出起始点的坐标,其计算值应与原已知值相等,否则说明计算有误。

例 8.1 有一闭合导线其起始边坐标方位角、左角观测值和边长观测值注在表 8-6 中的计算草图内,现已知 A 点坐标 $x_A=1000.00\text{m}$, $y_A=1000.00\text{m}$,试计算各导线点坐标。

表 8-6 闭合导线坐标计算表

点名	观测角 β ° ' "	坐标方位角 α ° ' "	边长 D (m)	坐标增量计算 (m)		改正后坐标增量 (m)		坐标值 (m)	
				Δx	Δy	$\Delta x'$	$\Delta y'$	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A		150 48 12	125.87	-2 -109.88	-4 +61.40	-109.90	+61.36	1 000.00	1 000.00
1	+12 98 39 36	69 28 00	162.92	-2 +57.14	-5 +152.57	+57.12	+152.52	890.10	1 061.36
2	+12 88 36 06	338 04 18	136.85	-2 +126.95	-4 -51.11	+126.93	-51.15	947.22	1 213.88
3	+12 87 25 30	245 30 00	178.77	-2 -74.13	-6 -162.67	-74.15	-162.73	1 074.15	1 162.73
A	+12 85 18 00	150 48 12						1 000.00	1 000.00
1									
Σ	359 59 12		604.41	+0.08	+0.19	0	0		
$\Sigma \beta_{理} = (4-2) \times 180^\circ = 360^\circ$ $f_\beta = \Sigma \beta_{测} - \Sigma \beta_{理} = -48''$ $f_{\beta允} = \pm 60'' \sqrt{n} = \pm 120''$ $\therefore f_\beta < f_{\beta允}$ $V_\beta = -\frac{-48''}{4} = +12''$				$f_x = +0.08\text{m}$ $f_y = +0.19\text{m}$ $f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 0.21\text{m}$ $K = \frac{f_D}{\Sigma D} = \frac{0.21}{604.41} \approx \frac{1}{2880}$ $K_{允} = \frac{1}{2000}$					

本例的计算均在表 8-6 中完成,计算过程解释如下:

- (1) 将点号、角度观测值、起始边坐标方位角、边长观测值、已知点坐标分别填写在 1、2、3、4、9、10 栏的相应位置。

(2) 计算观测角度总和,并求出角度闭合差 $f_\beta = -48''$ 。

当 $|f_\beta| \leq |f_{\beta允}|$ 时,将 f_β 反符号平均分配给各观测角,改正数为 $+12''$,记于第 2 栏观测角上方。

(3) 根据起始边已知方位角和改正后的转折角推算各边坐标方位角,并将计算值填入第 3 栏。

(4) 计算边长总和。

(5) 根据边长和坐标方位角计算纵、横坐标增量,分别填入第 5、6 栏。

(6) 计算纵、横坐标增量总和及纵、横坐标增量闭合差 f_x 、 f_y ,然后计算导线全长闭合差 f_D 和导线全长相对闭合差 K 。本例中, $K \approx \frac{1}{2\ 800} < \frac{1}{2\ 000}$,故可进行坐标增量闭合差的调整,其改正数仍记于第 5、6 栏相应坐标增量的上方。改正后的坐标增量记于第 7、8 栏。

(7) 根据已知点坐标和改正后的坐标增量,依次推算导线各点的坐标,并分别写入第 9、10 栏,最后算得的起始点坐标应等于原已知数值,计算才全部结束。

(二) 附和导线的内业计算

附和导线的坐标计算步骤与闭合导线相同。由于附和导线不构成封闭的平面几何图形,其角度闭合差的计算及纵、横坐标增量闭合差的计算与闭合导线计算有所不同。下面仅介绍这两个不同部分的计算方法。

1. 角度闭合差的计算

附和导线是附和在两个已知高级控制点上的一段折线。如图 8-12 所示, A 、 B 、 C 、 D 均为已知控制点,其坐标方位角 α_{AB} 、 α_{CD} 为已知,由式(7.11)可知终了边的坐标方位角 $\alpha_{CD测}$:

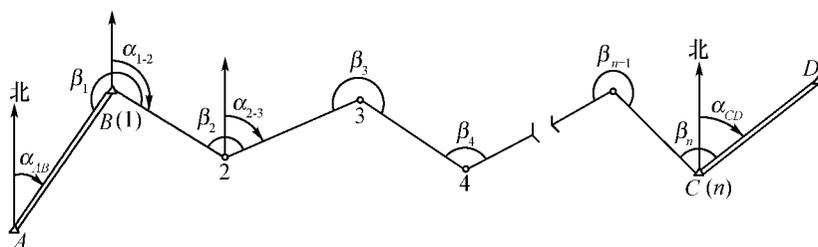


图 8-12 附和导线计算

$$\alpha_{CD测} = \alpha_{AB} \pm \sum \beta \pm n \times 180^\circ \quad (8.16)$$

式中, n 为测角个数,计算所得的角值应减去若干个 360° 。

由于角度观测值存在误差,则由角度观测值所推算的 $\alpha_{CD测}$ 与已知 α_{CD} 不相等,而产生了角度闭合差 f_β ,即:

$$f_\beta = \alpha_{AB} + n \times 180^\circ + \sum \beta - \alpha_{CD} \quad (8.17)$$

与闭合导线相同,仍规定附和导线角度闭合差的容许值如式(8.3)。若 $|f_\beta| \leq |f_{\beta允}|$,则将角度闭合差反符号平均分配给各观测角。

2. 坐标增量闭合差的计算

附和导线起点、终点均为已知高级控制点,其纵、横坐标差为:

$$\left. \begin{aligned} \sum \Delta x_{\text{理}} &= x_C - x_B \\ \sum \Delta y_{\text{理}} &= y_C - y_B \end{aligned} \right\} \quad (8.18)$$

由于调整后的各转折角和实测的各导线边长均含有误差,其坐标增量代数和与理论坐标差不相符合,而产生纵、横坐标增量闭合差,即:

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta x - (x_C - x_B) \\ f_y &= \sum \Delta y - (y_C - y_B) \end{aligned} \right\} \quad (8.19)$$

附合导线全长闭合差、全长相对闭合差、容许相对闭合差以及坐标增量闭合差的调整、导线点坐标的计算与闭合导线计算相同。表 8-7 为附合导线的算例。

表 8-7 附合导线坐标计算表

点名	观测角 β ° ' "	坐标方位角 α ° ' "	边长 D (m)	坐标增量计算 (m)		改正后坐标增量 (m)		坐标值 (m)	
				Δx	Δy	$\Delta x'$	$\Delta y'$	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A		149 40 00							
B	-10 168 03 24							2 453.84	3 709.65
		137 43 14	236.02	-9	-4	-174.71	+158.74		
1	-10 145 20 48			-174.62	+158.78			2 279.13	3 868.39
		103 03 52	189.11	-7	-4	-42.82	+184.18		
2	-10 216 46 36			-42.75	+184.22			2 236.31	4 052.57
		139 50 18	147.62	-5	-3	-112.87	+95.18		
C	-11 49 02 48			-112.82	+95.21			2 123.44	4 147.75
		8 52 55							
D									
Σ	579 13 36		572.75	-330.19	+438.21	-330.40	+438.10		

$$f_{\beta} = \alpha_{AB} + \sum \beta + n \times 180^{\circ} - \alpha_{CD}$$

$$f_{\beta} = +41''$$

$$f_{\beta \text{允}} = \pm 60'' \sqrt{n} = \pm 120''$$

$$\therefore |f_{\beta}| < |f_{\beta \text{允}}|$$

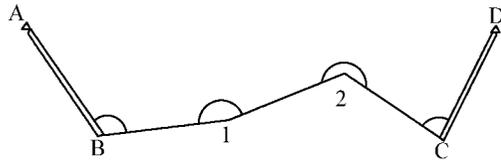
$$V_{\beta} = -\frac{f_{\beta}}{n} = -\frac{41''}{4}$$

$$f_x = \sum \Delta x - (x_C - x_B) = +0.21\text{m}$$

$$f_y = \sum \Delta y - (y_C - y_B) = +0.11\text{m}$$

$$f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 0.24\text{m}$$

$$K = \frac{f_D}{\sum D} = \frac{1}{2\ 390} < \frac{1}{2\ 000}$$



第三节 小三角测量

小三角测量是建立低级平面控制网的又一种方法。小三角测量是在小区域内布设边长较短的三角网(锁),观测所有三角形的各内角,测定 1~2 条边的边长(称为起算边或基线),用近似方法进行平差,然后应用正弦定律算出各三角形的边长,再根据已知的坐标方位角、已知点坐标(在独立测区可假定),按类似于导线计算的方法求出各三角点坐标。它多用于开阔地区或不便于量距地区。

根据测区地形条件及已知高级控制点的分布情况和工程要求,小三角网常布设成单角锁(如图 8-13a 所示),中点多边形(如图 8-13b 所示),线形锁(如图 8-13c 所示)、大地四边形(如图 8-13d 所示)等不同形式。

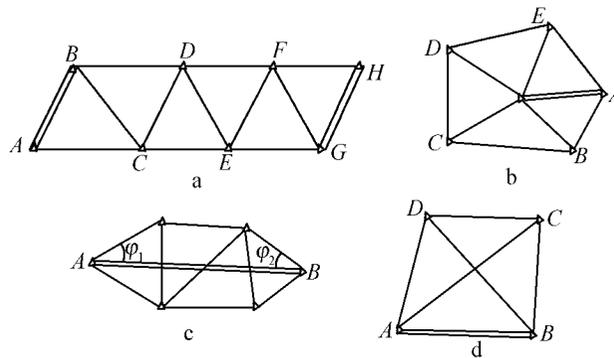


图 8-13

小三角测量按其精度可分为一、二级小三角测量及图根小三角测量。各级小三角测量的主要技术指标如表 8-8 所示。

表 8-8 小三角测量技术指标

等级	平方边长 (m)	测角 中误差 ($''$)	三角形 个数	起始边 边长相对 中误差	最弱边 边长相对 中误差	测回数		三角形最 大闭合差 ($''$)	方位角 闭合差 ($''$)
						J_6	J_2		
一级小三角	1000	± 5	6~7	1/40 000	1/20 000	4	2	± 15	
二级小三角	500	± 10	6~7	1/20 000	1/10 000	2	1	± 30	
图根小三角	\leq 测图最大 视距的 1.7 倍	± 20	13 以下	1/10 000		1		± 60	$\pm 40\sqrt{n}$

注: n 为传递方位角的测站数。

一、小三角测量的外业工作

小三角测量的外业工作包括:踏勘选点(建立标志)、基线测量、角度测量及起始边定向。

(一) 踏勘选点

踏勘选点就是根据测区地形及测区附近控制点的情况,确定各三角点的位置。在选点前,应调查收集测区已有地形图和控制点的成果资料,并在已有的地形图上拟定布网方案,然后到实地踏勘,根据实际地形选定布网方案及点位。如果没有测绘资料,则直接详细踏勘现场,根据实地情况确定布网方案及点位。

选定三角点时,应注意下列几点:

(1) 基线边应选在地势平坦且便于测量距离的地方,当布设小三角锁时,若三角形个数超过 5 个,一般应在锁的两端各选一条基线。

(2) 三角点应选在地势较高、视野开阔、土质坚实、便于保存和便于加密控制的地方,相邻的三角点应相互通视。

(3) 三角形各内角以 60° 左右为宜,一般不应大于 120° 或小于 30° 。

(4) 三角点应均匀分布于整个测区,各三角形的边长应近于相等,一般为 $500\sim 1\ 000\text{m}$ 。

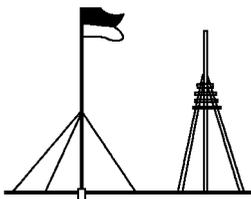


图 8-14 测量标志

三角点选定后,应在地面上埋设标志,并编号,需要时可绘制点之记。为了便于观测水平角时照准目标,在各三角点上应竖立简易觇标作为照准标志(如图 8.14 所示)。

(二) 基线测量

基线长度是用以推算小三角网(锁)其他各边长的起始数据,其精度直接影响到三角点的精度,因此对基线测量的精度要求较高(如表 8-8 所示)。基线测量可用检定过的钢尺按精密量距方法进行丈量,也可用电磁波测距仪进行测量。

(三) 角度测量

水平角观测是小三角测量外业的主要工作。当测站上的观测方向多于两个时,应采用方向观测法。观测所用仪器、测回数及限差要求参考表 8-8 所示。

(四) 起始边定向

在小区域地形测量中,布设独立小三角网(锁)时,可用罗盘仪测定起始边磁方位角,来推算各边坐标方位角。当小三角网(锁)与高级控制边连接时,则需测连接角。

二、小三角测量的内业计算

小三角测量内业计算的目的是根据起算数据和外业观测成果计算各三角点坐标。在计算之前,应全面检查外业观测成果,确保数据无误。现以两端有基线的小三角锁为例。

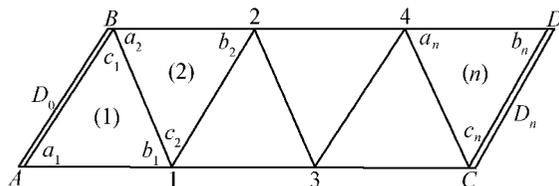


图 8-15 两端有基线的小三角锁

如图 8-15 所示,为便于计算,应先绘制计算草图,对各三角形和三角形各内角进行编号。设 D_0 为起始基线, D_n 为终了基线, D_1, D_2, \dots, D_{n-1} 是由起始边 D_0 向前推算边长所经过的边,称为传距边。在每个三角形中,已知边所对的角编号为 b ,传距边所对的角编号为 a , a, b 角称为传距角,第三边(间隔边)所对的角编号为 c ,称为间隔角。(1), (2), \dots , (n) 为三角形编号。

(一) 三角形角度闭合差的计算及调整

在第 i 个三角形中,三角形内角之和应等于 180° 。由于测角存在误差,故可能产生角度闭合差 f_i ,即:

$$f_i = (a_i + b_i + c_i) - 180^\circ \quad (8.20)$$

式中, $i=1, 2, \dots, n$ 。

当角度闭合差 f_i 不超过允许限差时,则可以进行角度闭合差的调整。调整的方法是将闭合差反符号平均分配到相应三角形三个内角的观测值上,即角度改正值为:

$$v_{a_i} = v_{b_i} = v_{c_i} = \frac{-f_i}{3} \quad (8.21)$$

第一次改正后的内角分别为:

$$\left. \begin{aligned} a'_i &= a_i + v_{a_i} \\ b'_i &= b_i + v_{b_i} \\ c'_i &= c_i + v_{c_i} \end{aligned} \right\} \quad (8.22)$$

而改正后三内角之和应等于 180° ,即:

$$a'_i + b'_i + c'_i = 180^\circ \quad (8.23)$$

(二) 基线闭合差的计算及调整

根据起始基线 D_0 及第一次改正后的传距角 a_i'', b_i'' ,按正弦定律可推算出各传距边的长度 D_i :

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= \frac{D_0 \sin a'_1}{\sin b'_1} \\ D_2 &= \frac{D_0 \sin a'_1 \sin a'_2}{\sin b'_1 \sin b'_2} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ D'_n &= \frac{D_0 \sin a'_1 \sin a'_2 \cdots \sin a'_n}{\sin b'_1 \sin b'_2 \cdots \sin b'_n} \end{aligned} \right\} \quad (8.24)$$

因为两条基线是精确测定的,其误差可以忽略不计,但经过第一次改正的角度仍存在一定的误差,致使推算得到的 D'_n 与直接测量的 D_n 不相等,而产生基线闭合差 w_d ,即:

$$w_d = D'_n - D_n \quad (8.25)$$

为了满足基线条件,使基线闭合差 w_d 等于 0,故必须对 a_i' 及 b_i' 各角进行第二次改正。设 a_i', b_i' 的第二次改正数分别为 $v_{a_i'}, v_{b_i}'$,则有:

$$\frac{D_0 \sin(a'_1 + v_{a_1}') \sin(a'_2 + v_{a_2}') \cdots \sin(a'_n + v_{a_n}')}{\sin(b'_1 + v_{b_1}') \sin(b'_2 + v_{b_2}') \cdots \sin(b'_n + v_{b_n}')} - D_n = 0 \quad (8.26)$$

由于 v_{a_i}' 和 v_{b_i}' 很小,将上式按泰勒级数展开,仅取至一次项,得:

$$w_d + \frac{D_n}{\rho} (\cot a'_i v_{a_i}' - \cot b'_i v_{b_i}') = 0 \quad (8.27)$$

在等精度观测的情况下,可以认为角度改正值是相同的,即:

$$\left. \begin{aligned} v'_{a1} = v'_{a2} = \dots = v'_{an} = v'_a \\ v'_{b1} = v'_{b2} = \dots = v'_{bm} = v'_b \end{aligned} \right\} \quad (8.28)$$

为了不破坏第一次改正角已经满足的三角形几何条件,而基线条件与第三个角 c'_i 无关,则应有:

$$(a'_i + v'_a) + (b'_i + v'_b) + c'_i = 180^\circ \quad (8.29)$$

考虑式(8.23),则:

$$v'_a + v'_b = 0 \quad (8.30)$$

代入式(8.27),可得:

$$v'_a = - \frac{\omega_d}{D_n \sum (\cot a'_i + \cot b'_i)} \times \rho'' \quad (8.31)$$

$$v'_b = + \frac{\omega_d}{D_n \sum (\cot a'_i + \cot b'_i)} \times \rho'' \quad (8.32)$$

第二次改正值求得后,即可计算第二次改正后角值:

$$\left. \begin{aligned} a''_i = a'_i + v'_a \\ b''_i = b'_i + v'_b \\ c''_i = c'_i \end{aligned} \right\} \quad (8.33)$$

(三) 三角形边长的计算

根据基线长度及第二次改正后角值,用正弦定律推算各三角形的边长:

$$\left. \begin{aligned} D_a &= \frac{D_b \sin a''}{\sin b''} \\ D_c &= \frac{D_b \sin c''}{\sin b''} \end{aligned} \right\} \quad (8.34)$$

式中, D_a 、 D_b 、 D_c 分别为三角形 a'' 、 b'' 、 c'' 角所对的边长。

(四) 各三角点坐标的计算

各三角点坐标,可采用闭合导线的计算方法进行计算。如图 8-15 所示,由各点组成闭合导线 $A-1-3-C-D-4-2-B-A$,根据起始边的坐标方位角和第二次改正后的角值推算各边坐标方位角,再结合各边长计算坐标增量,由起始点的坐标,即可推算其他各点的坐标。

例 8.2 图 8-16 和表 8-9 是小三角锁计算实例,坐标计算从略。

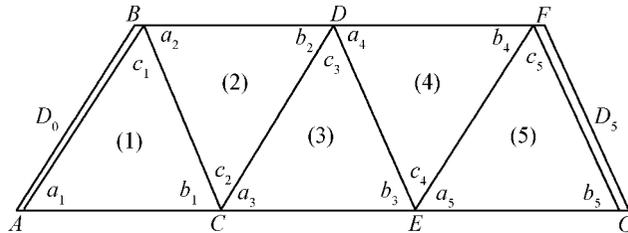


图 8-16

表 8-9 小三角锁近似平差及边长计算表

三角形			观测角度 ° ' "	第一次 改正数 "	第一次改正 后的角度 ° ' "	第二次 改正数 "	最后角值 ° ' "	边 长 (m)
编 号	点 号	角 号						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	A	a ₁	63 54 18	+4	63 54 22	-3	63 54 19	206.201
	C	b ₁	70 30 42	+4	70 30 46	+3	70 30 49	(211.646)
	B	c ₁	45 34 48	+4	45 34 52		45 34 52	160.351
		Σ	179 59 48	+12	180 00 00		180 00 00	
		f	-12					
2	B	a ₂	59 40 24	+3	59 40 27	-3	59 40 24	202.847
	D	b ₂	59 05 05	+3	59 05 08	+3	59 05 11	201.621
	C	c ₂	61 14 22	+3	61 14 25		61 14 25	206.016
		Σ	179 59 51	+9	180 00 00		180 00 00	
		f	-09					
3	C	a ₃	67 02 00	+4	67 02 04	-3	67 02 01	241.222
	E	b ₃	50 44 10	+3	50 44 13	+3	50 44 16	202.847
	D	c ₃	62 13 40	+3	62 13 43		62 13 43	231.811
		Σ	179 59 50	+10	180 00 00		180 00 00	
		f	-10					
4	D	a ₄	65 18 20	-4	65 18 16	-3	65 18 13	234.179
	F	b ₄	69 22 03	-3	69 22 00	+3	69 22 03	241.222
	E	c ₄	45 19 48	-4	45 19 44		45 19 44	183.303
		Σ	180 00 11	-11	180 00 00		180 00 00	
		f	+11					
5	E	a ₅	48 59 10	+3	48 59 13	-3	48 59 10	(179.757)
	G	b ₅	79 25 00	+4	79 25 04	+3	79 25 07	234.179
	F	c ₅	51 35 40	+3	51 35 43		51 35 43	186.687
		Σ	179 59 50	+10	180 00 00		180 00 00	
		f	-10					
辅助 计算	$w_d = D'_n - D_n = +0.0135\text{m}$ $v'_a = -\frac{w_d}{D_n \sum (\cot a'_i + \cot b'_i)} \times \rho'' = -3''$ $v'_b = +3''$							

计算过程解释如下：

- (1) 三角形编号、点号、角号、角度观测值，分别填写在第 1、2、3、4 栏。
- (2) 计算各三角形角度闭合差 f_i ，并将 f_i 反符号平均分配而获得第一次改正值填入第 5 栏(余数可人为调整)，第一次改正后的角值填入第 6 栏。
- (3) 计算基线闭合差、各传距角 a'_i 、 b'_i 的余切值，并求取第二次改正值填入第 7 栏，而第二次改正后的角值记于第 8 栏。
- (4) 表中第 9 栏 211.646m、179.757m 分别为起始基线、终了基线长度，其他边长是依据正弦定律进行计算而得出的。

第四节 测角交会定点

交会定点是平面控制测量中用于加密控制点的一种方法,适用于少量控制点的加密。测角交会定点的方法主要有:前方交会、侧方交会和后方交会等。

一、前方交会

如图 8-17 所示,在两个已知控制点 A 和 B 上,分别安置仪器测定两水平角 α 和 β ,以计算待定点 P 的坐标。这种方法称为前方交会,按坐标正算公式,有:

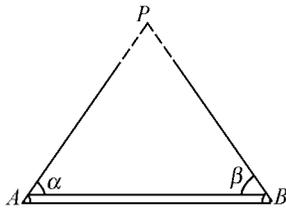


图 8-17 前方交会

因为,

$$\left. \begin{aligned} x_P &= x_A + D_{AP} \cos \alpha_{AP} \\ y_P &= y_A + D_{AP} \sin \alpha_{AP} \end{aligned} \right\} \quad (8.35)$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \alpha$$

$$D_{AP} = \frac{D_{AB}}{\sin[180^\circ - (\alpha + \beta)]} \sin \beta$$

则,

$$\left. \begin{aligned} x_P &= x_A + \frac{D_{AB} \sin \beta}{\sin[180^\circ - (\alpha + \beta)]} \cos(\alpha_{AB} - \alpha) \\ y_P &= y_A + \frac{D_{AB} \sin \beta}{\sin[180^\circ - (\alpha + \beta)]} \sin(\alpha_{AB} - \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (8.36)$$

亦即:

$$\begin{aligned} x_P &= x_A + \frac{D_{AB} \cos \alpha_{AB} \sin \beta \cos \alpha + D_{AB} \sin \alpha_{AB} \sin \alpha \sin \beta}{\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta} = x_A + \frac{\Delta x_{AB} \cot \alpha + \Delta y_{AB}}{\cot \alpha + \cot \beta} \\ y_P &= y_A + \frac{D_{AB} \sin \alpha_{AB} \sin \beta \cos \alpha - D_{AB} \cos \alpha_{AB} \sin \beta \sin \alpha}{\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta} = y_A + \frac{\Delta x_{AB} \cot \alpha - \Delta y_{AB}}{\cot \alpha + \cot \beta} \end{aligned}$$

经整理后,得:

$$\left. \begin{aligned} x_P &= \frac{x_A \cot \beta + x_B \cot \alpha + (y_B - y_A)}{\cot \alpha + \cot \beta} \\ y_P &= \frac{y_A \cot \beta + y_B \cot \alpha + (x_A - x_B)}{\cot \alpha + \cot \beta} \end{aligned} \right\} \quad (8.37)$$

式(8.37)称为余切公式,又叫戎格公式。应用时,要注意 A 、 B 、 P 三点是按逆时针方向排列的。

为了便于检核,提高待定点的观测精度,待定点的交会角一般应在 $30^\circ \sim 150^\circ$ 之间,最好为 90° ;同时采用三个已知点的前方交会图形(如图 8-18 所示),即在三个已知点上设站,观测两组角值 α_1 、 β_1 和 α_2 、 β_2 ,构成两组前方交会,分组计算待定点 P 的坐标。设两组坐标分别为 x'_P 、 y'_P 和 x''_P 、 y''_P ,由于测量误差的存在,两组坐标并不相等,其纵、横坐标较差为:

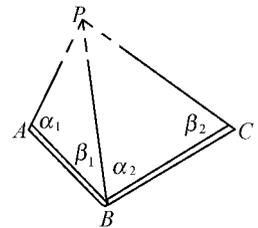


图 8-18

$$\left. \begin{aligned} f_x &= x'_P - x''_P \\ f_y &= y'_P - y''_P \end{aligned} \right\} \quad (8.38)$$

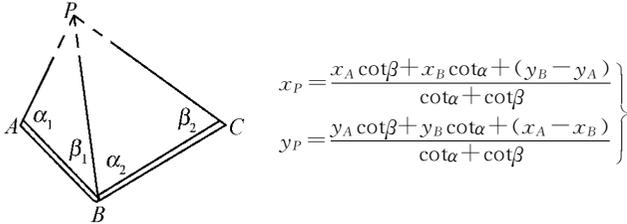
而点位误差为：

$$f_P = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (8.39)$$

若 f_P 不大于 $2 \times 0.1M\text{mm}$ 或 $3 \times 0.1M\text{mm}$ (M 为测图比例尺分母), 则取其平均值作为 P 点的最后坐标。计算示例如表 8-10 所示。

表 8-10

前方交会计算表

略图与公式								
	$x_P = \frac{x_A \cot \beta + x_B \cot \alpha + (y_B - y_A)}{\cot \alpha + \cot \beta}$ $y_P = \frac{y_A \cot \beta + y_B \cot \alpha + (x_A - x_B)}{\cot \alpha + \cot \beta}$							
已知数据	x_A	8 020.40	y_A	4 465.10	x_B	7 885.71	y_B	4 923.13
	x_B	7 885.71	y_B	4 923.13	x_C	7 926.06	y_C	5 327.21
观测值	α_1	41°36'05"	β_1	72°44'35"	α_2	85°10'00"	β_2	42°37'26"
计算与校核	x_P	8 233.59	y_P	4 917.85	x_P	8 233.65	y_P	4 917.85
	测图比例尺 1 : 500 $f_{允} = 0.2 \times 500 = 100(\text{mm})$ $f = \sqrt{6^2 + 0} = 6(\text{mm})$ $x_P = 8\,233.62\text{m}$ $y_P = 4\,917.85\text{m}$							

二、侧方交会

如图 8-19 所示, 在一已知控制点 A (或 B) 和待定点 P 上分别安置仪器, 观测两个水平角 α 和 β (或 γ), 以计算待定点 P 的坐标, 这种方法称为侧方交会。侧方交会的计算应先由两观测角解算出三角形中另一水平角, 如测量 β, γ , 则 $\alpha = 180^\circ - (\beta + \gamma)$, 再根据前方交会公式进行计算。

为了校核待定点坐标, 一般还应在待定点 P 上对另一已知控制点 C 观测检查角 $\epsilon_{测}$ (如图 8-19 所示)。先根据算得的 P 点坐标和 B, C 两点的已知坐标反算出方位角 α_{PB} 、 α_{PC} 及距离 D_{PC} 。

角 ϵ 的计算值为 $\epsilon_{算}$ ：

$$\epsilon_{算} = \alpha_{PB} - \alpha_{PC} \quad (8.40)$$

而 ϵ 的计算值 $\epsilon_{算}$ 与观测值 $\epsilon_{测}$ 的较差 $\Delta\epsilon$ 为：

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{算} - \epsilon_{测} \quad (8.41)$$

一般规定,

$$\Delta\epsilon''_{允} = \frac{2 \times 0.1M\text{mm}}{D_{PC}} \times \rho'' \quad (8.42)$$

式中, M 为测图比例尺分母。

侧方交会计算示例如表 8-11 所示。

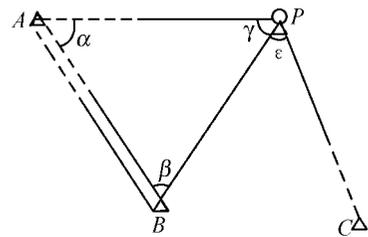


图 8-19 侧方交会

表 8-11

侧方交会计算表

示意图	计算公式:						
		$x_P = \frac{x_A \cot \beta + x_B \cot \alpha - y_A + y_B}{\cot \alpha + \cot \beta}$ $y_P = \frac{y_A \cot \beta + y_B \cot \alpha + x_A - x_B}{\cot \alpha + \cot \beta}$					
已知数据	x_A	6 244.732m	y_A	28 117.809m	观测数据	α	47°59'42"
	x_B	5 551.322m	y_B	28 413.701m		β	63°33'46"
x_C	5 182.270m	y_C	28 894.741m	γ		68°26'32"	
计算与校核	x_P	6 009.668m	y_P	28 804.528m	$\epsilon_{测}$	46°40'45"	测图比例尺 1/2000
	α_{PB}	220°27'14"	α_{PC}	173°46'39"	$\epsilon_{算}$	46°40'35"	
D_{PC}	832.30m	$\Delta \epsilon_{算}$	±99"	$\Delta \epsilon$	+10"		

三、后方交会

如图 8-20 所示,在待定点 P 上安置仪器照准三个已知控制点 A 、 B 、 C ,观测两个水平角 α 、 β ,以计算待定点 P 的坐标,这种方法称为后方交会。

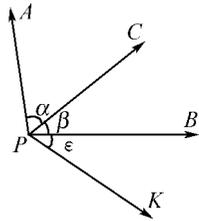


图 8-20 后方交会

后方交会计算待定点坐标的公式很多,现介绍一种公式如下:

$$\tan \alpha_{CP} = \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_4} \quad (8.43)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{CP} &= \frac{N_1 + N_2 \tan \alpha_{CP}}{1 + \tan^2 \alpha_{CP}} = \frac{N_3 + N_4 \tan \alpha_{CP}}{1 + \tan^2 \alpha_{CP}} \\ \Delta y_{CP} &= \Delta x_{CP} \tan \alpha_{CP} \end{aligned} \right\} \quad (8.44)$$

其中,

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= (x_A - x_C) + (y_A - y_C) \cot \alpha \\ N_2 &= (y_A - y_C) - (x_A - x_C) \cot \alpha \\ N_3 &= (x_B - x_C) - (y_B - y_C) \cot \beta \\ N_4 &= (y_B - y_C) + (x_B - x_C) \cot \beta \end{aligned} \right\} \quad (8.45)$$

而待定点 P 的坐标为:

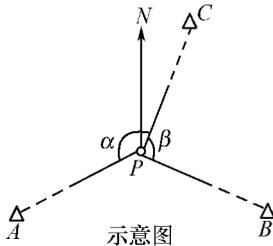
$$\left. \begin{aligned} x_P &= x_C + \Delta x_{CP} \\ y_P &= y_C + \Delta y_{CP} \end{aligned} \right\} \quad (8.46)$$

选择后方交会点 P 时,应避免将其刚好选在过已知点 A 、 B 、 C 组成的圆周上(测量上把该圆称为危险圆),否则 P 点位置无解,同时 P 点靠近危险圆也将使算得的坐标有很大的误差,因此作业时,一般应使 P 点离危险圆圆周的距离大于该圆直径的 $1/5$ 。

为了进行检验,须在 P 点观测第四个已知控制点 K ,测得角 $\epsilon_{测}$,同时可由 P 点坐标以及 B 、 K 点坐标,反算求得 α_{PB} 、 α_{PK} 及 D_{PK} ,仍计算 $\epsilon_{算}$ 、 $\Delta \epsilon$,且 $\Delta \epsilon \leq \frac{2 \times 0.1 M_{mm}}{D_{PK}} \times \rho''$ 。式中, M 为测图比例尺分母。后方交会计算示例如表 8-12 所示。

表 8-12

后方交会坐标计算表

		示意图					计算公式:	
							$N_1 = (x_A - x_C) + (y_A - y_C) \cot \alpha$ $N_2 = (y_A - y_C) - (x_A - x_C) \cot \alpha$ $N_3 = (x_B - x_C) - (y_B - y_C) \cot \beta$ $N_4 = (y_B - y_C) + (x_B - x_C) \cot \beta$ $\tan \alpha_{CP} = \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_4}$ $\Delta x_{CP} = \frac{N_1 + N_2 \tan \alpha_{CP}}{1 + \tan^2 \alpha_{CP}} = \frac{N_3 + N_4 \tan \alpha_{CP}}{1 + \tan^2 \alpha_{CP}} \left\{ \begin{array}{l} x_P = x_C + \Delta x_{CP} \\ y_P = y_C + \Delta y_{CP} \end{array} \right.$ $\Delta y_{CP} = \Delta x_{CP} \tan \alpha_{CP}$	
已知数据	x_A	4 512.97m	y_A	5 514.71m	观测数据	α	106°14'22"	
	x_B	4 374.87m	y_B	6 564.14m		β	118°58'18"	
	x_C	5 144.96m	y_C	6 083.07m		$\epsilon_{测}$		
计算与校核	N_1	-474.306	Δy_{CP}	-487.22m	α_{CP}	181°01'58"	$\Delta \epsilon =$	
	N_2	-725.442	Δy_{CP}	-8.78m	α_{PK}			
	N_3	-503.739	x_P	4 657.74m	D_{PK}			
	N_4	+907.440	y_P	6 074.29m	$\epsilon_{算}$			

注:本例未在 P 点向第四个已知点观测检査角。

第五节 全站仪极坐标法导线测量

由于全站仪的出现使得测量地面上两点间斜距、平距等工作变得十分简便,因此,使用全站仪以导线测量的形式建立小区域控制或进行控制点的加密是目前生产中应用较为广泛的一种方法。用全站仪测量控制点坐标实际上是采用极坐标法定位。

一、极坐标导线测量的基本方法

如图 8-21 所示,在已知点 A 安置全站仪,在另一已知点(定向点) B 和待定点 P 安置棱镜,在已知点 A 上测出水平角 β 和水平距离 D_{AP} ,则可根据 A 点的已知坐标和 AB 的坐标方位角推算待定点 P 的坐标。

P 点坐标为:

$$\left. \begin{array}{l} x_P = x_A + D_{AP} \cos \alpha_{AP} \\ y_P = y_A + D_{AP} \sin \alpha_{AP} \end{array} \right\} \quad (8.47)$$

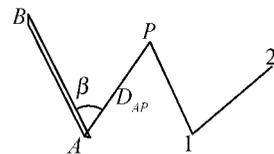


图 8-21

式中,

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \quad (8.48)$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \beta \quad (8.49)$$

导线点 P 测完后,将仪器搬到导线点 P ,同法,可以测得 1 点坐标,如此方法测量下去,即可测得所有导线点的坐标。

二、全站仪坐标测量

利用全站仪进行坐标测量时还可利用全站仪的程序进行。其工作步骤如下：

- (1) 如图 8-21 所示, 全站仪安置在已知点 A , 在待定点 P 上安置棱镜。
- (2) 键入已知点 A 的坐标。
- (3) 瞄准 B 点, 键入 AB 边的方位角或键入 B 点坐标。
- (4) 瞄准 P 点, 进行坐标测量。
- (5) 屏幕即可显示 P 点坐标 x_p, y_p 。

如果需要还可显示斜距、平距和竖直角。同时, 全站仪可将全部成果存入内存。

使用全站仪时, 如键入仪器高、棱镜高、测站点高程等数据, 也可获得待定点 P 的高程。利用全站仪同时进行导线测量和三角高程测量, 这样的导线常称为全站仪三维导线。

第六节 高程控制测量

小区域高程控制测量常采用的方法是水准测量及三角高程测量。

一、水准测量

在地形图测绘或一般工程测量中, 确定图根点或工程控制点高程应用的水准测量主要有三、四等或五等水准测量。一般来说, 低一级的水准测量应从附近高级水准点开始引测。

三、四等及五等水准测量的主要技术要求、观测方法、成果计算与校核方法请参见第二章。

二、三角高程测量

用水准测量方法测定控制点的高程, 精度较高, 但当地面起伏较大而不便于施测水准时, 可采用三角高程测量方法先测定两点间的高差, 再求取高程。三角高程测量是加密图根控制的一种常用方法。

(一) 三角高程测量原理

三角高程测量的原理是根据地面上两点间的水平距离及测定的竖直角和量取的仪器高、目标高来计算两点之间的高差。如图 8-22 所示, 在 A 点安置仪器, 在 B 点设置观测标志, 用仪器望远镜中丝观测标志的顶端测出竖直角 α , 量取仪器高 i 和目标高 v 。

若 A, B 之间的平距为 D , 则 A, B 两点间高差 h_{AB} 为:

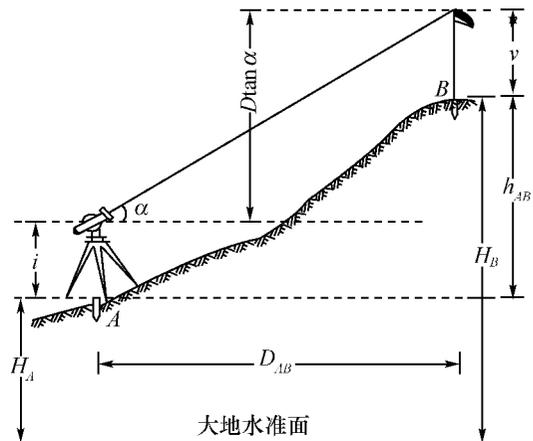


图 8-22 三角高程测量原理

$$h_{AB} = D \tan \alpha + i - v \quad (8.50)$$

若已知 A 点高程 H_A , 则 B 点高程 H_B 为:

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + (D \tan \alpha + i - v) \quad (8.51)$$

若已知 B 点高程 H_B , 则 A 点高程 H_A 为:

$$H_A = H_B - h_{AB} = H_B - (D \tan \alpha + i - v) \quad (8.52)$$

测量中, 将由已知点向未知点观测, 称为正规(或直觇)观测; 由未知点向已知点观测, 称为反觇观测。

(二) 地球曲率和大气折光对高差的影响

式(8.50)是在把水准面当做水平面、观测视线为直线的情况下导出的, 当地面上两点间的距离小于 300m 时是适用的。而当两点间距离大于 300m 时, 则要考虑地球曲率及观测视线受大气垂直折光的影响。地球曲率对高差的影响称为地球曲率差, 简称为球差。大气折光引起视线成弧线的差异称为气差, 以上两项合称为球气差。此时, 应在式(8.50)中加上球气差改正数 f , 即三角高程测量高差公式为:

$$h_{AB} = D \tan \alpha + i - v + f \quad (8.53)$$

而,
$$f = 0.43 \frac{D^2}{R} \quad (8.54)$$

式中, R 为地球曲率半径, 取值为 6 371km。

实际三角高程测量中, 一般应进行直、反观测(又称对向观测或双向观测), 当取观测高差绝对值的平均值时, 可以抵消或消除球气差的影响。

(三) 三角高程测量实施

三角高程测量的实施步骤如下:

(1) 安置仪器于测站点 A 上, 并两次量取仪器高 i 及目标高 v , 读数精确至 0.5cm, 两次测值之差如不超过 1cm, 取其平均值。

(2) 用仪器瞄准目标 B 点标志顶端, 按中丝法观测竖直角一测回。

(3) 经检查无误后, 按有关公式计算高差、高程。

三角高程测量计算示例如表 8-13 所示。

表 8-13 三角高程测量计算表

所求点	B		C	
	A	A	D	E
起算点				
觇法	正规	反觇	正规	反觇
平距(m)	1 341.23	1 341.23	3 060.20	4 152.70
竖直角 α	+14°06'30"	-13°54'04"	-1°35'43"	-0°42'58"
$D \tan \alpha$ (m)	+337.10	-331.95	-85.23	-51.90
仪器高 i (m)	+1.31	+1.43	+1.24	+1.48
觇标高 v (m)	-3.80	-4.00	-4.11	-3.82
球气差 f (m)	+0.11	+0.11	+0.63	+1.16
高差 h (m)	+334.72	-334.41	-87.47	-53.08
起算点高程 H (m)	879.25	879.25	485.70	312.20
所求点高程 H (m)	1 213.97	1 213.66	365.23	365.28
中数 H (m)	1 213.82		365.26	

如按三角高程测量方法连续测定待定控制点高程时,则应组成闭合或附合的三角高程测量路线,且三角高程测量路线应起闭于高级已知高程点,路线中相邻两点间高差均应进行对向观测。由对向观测求得的高差平均值所计算的高差闭合差应不得超过 $\pm 0.05 \sqrt{\sum D^2}$ mm (D 为各边水平距离,以“km”为单位),并将高差闭合差反符号按边长成正比分配给各高差,再用调整后的高差根据起始点高程推算各待定点的高程。

习 题

(1) 建立平面控制网的方法有哪些?

(2) 导线布设有几种形式?导线测量的外业工作是什么?

(3) 一闭合导线 1234(导线为逆时针编号),已知点 1 的坐标为(589.36,1258.45),12 边的坐标方位角为 $\alpha_{12} = 56^\circ 35' 16''$,测得各左角为 $\beta_1 = 84^\circ 32' 19''$, $\beta_2 = 91^\circ 08' 23''$, $\beta_3 = 101^\circ 33' 47''$, $\beta_4 = 82^\circ 46' 29''$;测得的边长为 $D_{12} = 100.29\text{m}$, $D_{23} = 91.96\text{m}$, $D_{34} = 93.64\text{m}$, $D_{41} = 113.18\text{m}$ 。试计算 2、3、4 点的坐标。

(4) 在前方交会中,已知 A、B 点的坐标为 $A(646.36,154.68)$, $B(873.96,214.47)$,测得 $\alpha_A = 65^\circ 45' 32''$, $\alpha_B = 57^\circ 42' 08''$,试计算待定点 P 的坐标。

第九章 地形图的基本知识

地形图是按一定的方法,将地面上的地物和地貌按规定的符号,并依一定的比例缩绘投影到水平面上而成的图形。地形图能比较详细地反映地表信息,在工程建设的规划、设计等各个阶段都有着重要的作用。地形图的应用十分广泛。

第一节 地形图的比例尺

一、比例尺的概念

地形图上的图上长度与地面上相应的实际长度之比,称为地形图比例尺。

二、比例尺的种类

(一) 数字比例尺

数字比例尺一般用分子为1的分数形式表示。设图上某一线段的长度为 d ,地面上相应的距离为 D ,则该地形图比例尺为:

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{D} = \frac{1}{M} \quad (9.1)$$

式中, M 为比例尺分母,当图上1mm代表地面上1m的水平长度时,该图的比例尺即为1/1 000。由此可见,比例尺分母实际上就是实地水平长度缩绘到图上的缩小倍数。

(二) 图示比例尺

为了用图方便及减小由于图纸伸缩而引起的误差,在绘制地形图的同时,常在图纸上绘制图示比例尺,最常见的图示比例尺为直线比例尺。图9-1为1:10 000的直线比例尺,取2cm为基本单位,从直线比例尺上可直接读得基本单位的1/10,估读到1/100。



图 9-1

比例尺的大小以比例尺的比值衡量。通常称1:100万、1:50万、1:20万为小比例尺地形图;1:10万、1:5万、1:2.5万、1:1万为中比例尺地形图;1:5 000、1:2 000、1:1 000、1:500为大比例尺地形图。工程建设中通常采用大比例尺地形图。

三、比例尺精度

地形图上 0.1mm 所表示的地面实际距离称为比例尺精度。比例尺越大,表示的地物和地貌越详细、准确,其比例尺精度就越高。采用何种比例尺测图,应从工程的实际需要和经济方面综合考虑。一般水利工程中计算汇水面积、城市总体规划、大型厂址选定等使用 1:5 000 或 1:10 000 比例尺的地形图;工程施工设计阶段使用 1:500 或 1:1 000 比例尺的地形图。

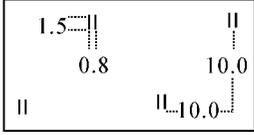
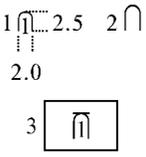
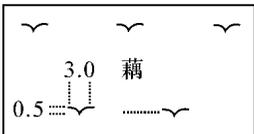
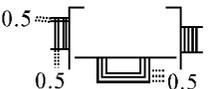
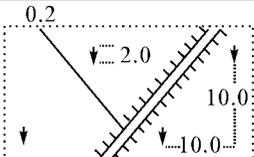
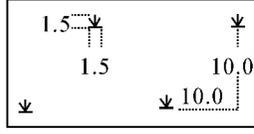
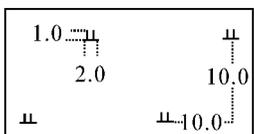
第二节 地形图的图式

在地形图上,对地物、地貌符号的样式、规格、颜色、使用以及地图注记和图廓整饰等都有统一规定,这些内容称为地形图图式。

一、地物符号

地物投影缩绘到图上,按其特性和大小,地物符号可分为下列几种(如表 9-1 所示)。

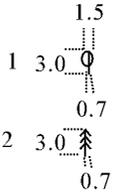
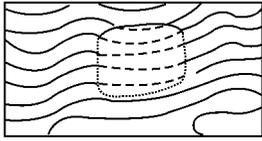
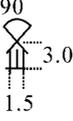
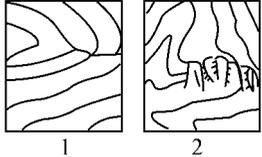
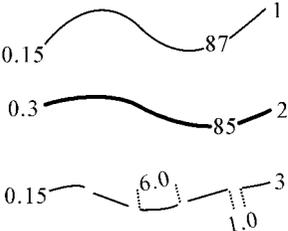
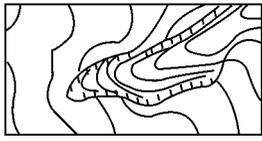
表 9-1 常用地形图地物符号

编号	符号名称	图 例	编号	符号名称	图 例	
1	坚固房屋 4-房屋层数			6	草 地	
2	普通房屋 2-房屋层数			7	经济作物地	
3	窑洞 1. 住人的 2. 不住人的 3. 地面下的			8	水生经济作物地	
4	台 阶			9	水稻田	
5	花 圃			10	旱 地	

续表

编号	符号名称	图 例	编号	符号名称	图 例
11	灌木林		23	公路	
			24	简易公路	
12	菜地		25	大车路	
			26	小路	
13	高压线		27	三角点 坛子岭一点名 394.468—高程	
14	低压线				
15	电杆		28	图根点 1. 埋石的 2. 不埋石的	
16	电线架				
17	砖、石及 混凝土围墙		29	水准点	
18	土围墙				
19	栅栏、栏杆		30	旗杆	
20	篱笆		31	水塔	
21	活树篱笆		32	烟囱	
22	沟渠 1. 有堤岸的 2. 一般的 3. 有沟壑的		33	气象站(台)	
			34	消火栓	
			35	阀门	
			36	水龙头	

续表

编号	符号名称	图 例	编号	符号名称	图 例
37	钻 孔		42	示坡线	
38	路 灯		43	高程点 及其注记	$0.5 \cdot 163.2$  75.4
39	独立树 1. 阔叶 2. 针叶		44	滑 坡	
40	岗亭、岗楼		45	陡崖 1. 土质的 2. 石质的	
41	等高线 1. 首曲线 2. 计曲线 3. 间曲线		46	冲 沟	

(一) 比例符号

根据实际地物的大小,按比例缩绘到图上,如房屋、运动场、湖泊、森林等,可以用比例符号表示。一般规则的几何图形常用比例符号表示。

(二) 非比例符号

有些尺寸太小的地物,不能用比例符号表示,则用一些形象的符号来表示,如三角点、水准点、独立树、里程碑、钻孔等。非比例符号不仅其形状和大小不按比例绘制,而且符号的中心位置与该地物实地的中心位置关系,也随各种地物不同而异。

(三) 线形符号

对于一些带状延伸的地物,如公路、通信线路及管道等,其长度可按测图比例尺缩绘,而宽度无法按比例尺缩绘,这种长度按比例、宽度不按比例的符号,称为线形符号。线形符号的中心线即是实际地物的中心线。

(四) 注记符号

用文字、数字或特定的符号对地物加以说明,称为地物注记,如城镇、村庄、工厂、公路的名称,河流的流向,道路的去向等。在地形图上,对于某个具体地物,究竟是采用比例符号还是非比例符号,主要由测图比例尺决定。测图比例尺越大,用比例符号描绘的地物就越多;

测图比例尺越小,则用非比例符号表示的地物就越多。

二、地貌符号——等高线

(一) 等高线的概念

等高线就是由地面上高程相等的相邻点所连接成的闭合曲线(如图 9-2 所示)。设有一座位于平静湖水中的小岛,小岛与湖水的交线就是等高线,而且是闭合曲线。假设水面高程为 70m,则可得 70m 的等高线,当水位升高 10m 后,水面与小岛又截得一条交线,这就是高程为 80m 的等高线。依此类推,水位每升高 10m,水面就与小岛交出一条等高线,从而得到一组高差为 10m 的等高线。设想把这组地面上的等高线铅直地投影到水平面上去,并按规定的比例尺缩绘到图纸上,就得到一张用等高线表示该岛地面起伏的地貌图。

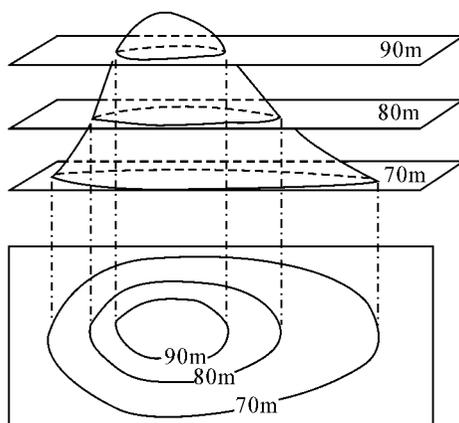


图 9-2

(二) 等高距与等高线平距

相邻两条等高线之间的高差,称为等高距,常以 h 表示。在同一幅图上,等高距是相同的。相邻两条等高线之间的水平距离称为等高线平距,常以 D 表示。由于等高距是固定不变的,因此随着地面坡度的变化,等高距平距随之变化,如用 i 表示坡度,则坡度、等高距和平距之间的关系可以表示为:

$$i = \frac{h}{D} \quad (9.2)$$

由上式可知,地面坡度越陡,等高线平距就越小,等高线就越密集;反之,地面坡度越平缓,等高线平距就越大,等高线就越稀疏。

(三) 等高线的种类

(1) 首曲线:按地形图的基本等高距测绘的等高线称首曲线。

(2) 计曲线:每隔四根首曲线加粗描绘一条等高线称为计曲线,计曲线主要为读图时量算高程方便。

(3) 间曲线:为了显示首曲线表示不出的地貌特征,按 $h/2$ 基本等高距描绘的等高线称间曲线,又称为半距等高线,图上一般用长虚线描绘。

(4) 助曲线: 间曲线无法显示地貌特征时, 还可以按 $h/4$ 基本等高距描绘等高线, 叫做辅助等高线, 简称助曲线, 图上一般用短虚线描绘 (如图 9-3 所示)。间曲线和助曲线描绘时可不闭合。

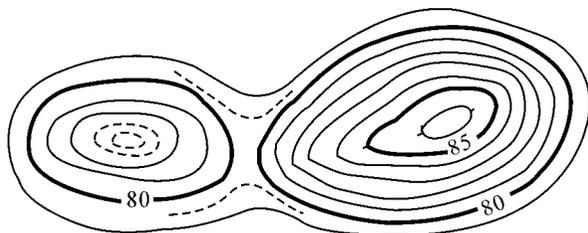


图 9-3

(四) 几种典型地貌的等高线

1. 山头与洼地

山头与洼地的等高线皆是一组封闭的曲线 (如图 9-4 所示)。内圈等高线的高程注记大于外圈等高线的高程注记则为山头 (如图 9-4a 所示); 内圈等高线的高程注记小于外圈等高线的高程注记则为洼地 (如图 9-4b 所示)。如等高线上没有高程注记, 则需用示坡线表示之, 它是一条垂直于等高线而指向下坡方向的细短线。示坡线向外的为山头, 示坡线向内的为洼地。

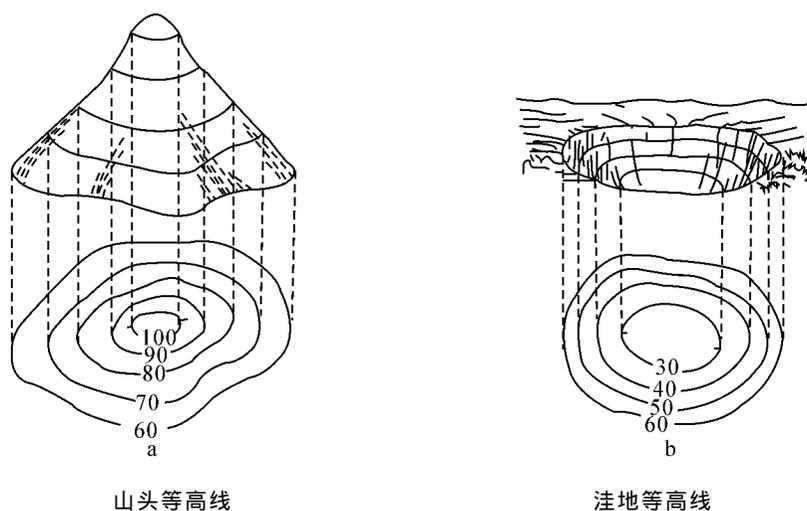


图 9-4

2. 山脊与山谷

山脊是沿着一个方向延伸的高地。山脊上最高点的连线是雨水分流的界线, 称为山脊线或分水线。如图 9-5a 所示, S 就是山脊线。山脊的等高线表现为一组凸向低处的曲线。

所示。

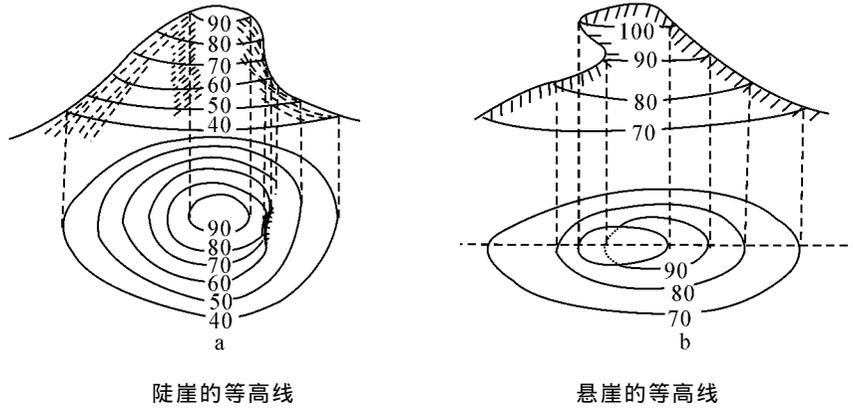


图 9-7

(五) 等高线的基本特性

- (1) 同一条等高线上的各点高程相等,但高程相等的点不一定在同一条等高线上。
- (2) 等高线为封闭曲线,若不在本幅图内闭合,则必闭合于另一幅图上。
- (3) 除陡崖或悬崖外,不同高程的等高线一般不会相交。
- (4) 山脊线与山谷线合称地性线,等高线与地性线垂直相交。
- (5) 等高距一定时,等高线的平距越小,表示的坡度就越陡;平距越大,表示的坡度就越缓;平距相等则坡度相等。

第三节 地形图的图外注记

为便于读图和用图,在地形图周围设置的说明性文字和图表等内容,称为地形图的图外注记。主要内容有:比例尺、坐标系统、高程系统、图名、图号、邻接图表、图廓、测图日期、测绘单位及人员等。

一、图名和图号

图名即一幅图的名称,一般以该图幅内的主要地名或机关、企事业等单位名称来命名。图号是一幅图的编号,为了区别各幅地形图所在位置关系,每幅图上都编有图号。图号是根据地形图的分幅和编号来编定的,并把图名、图号标注在北图廓上方的中央。

二、邻接图表

邻接图表用来表明本图幅与相邻图幅的联系,供索取相邻图幅时用。通常是中间一格画有斜线代表本图幅,相邻的八幅图分别标注图号或图名,并绘在图廓的左上方。此外,有些地形图还把相邻图幅的图号分别注在东、西、南、北图廓线中间,进一步说明与相邻图幅的相互关系(如图 9-8 所示)。

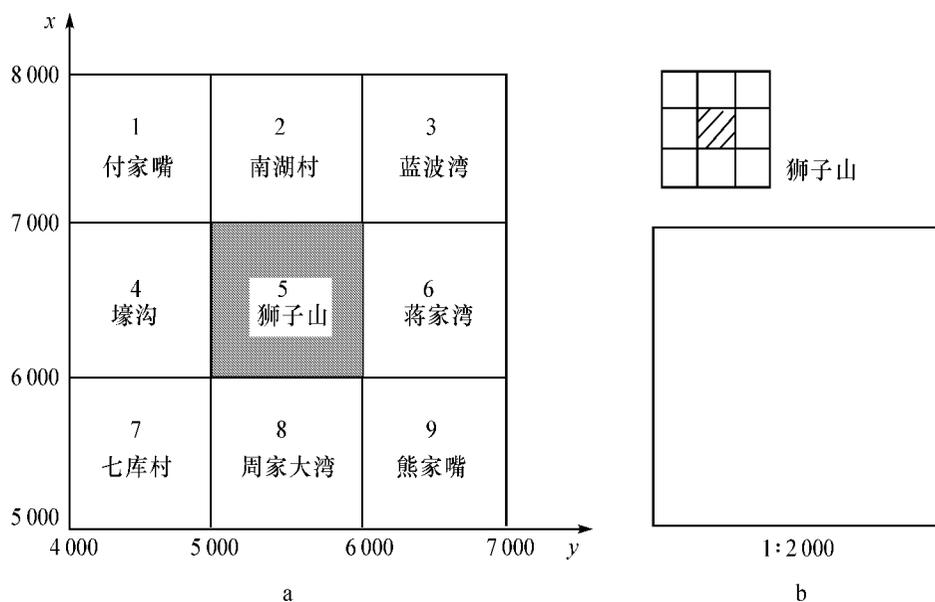


图 9-8

三、图廓

图廓由内图廓和外图廓组成。内图廓是经纬线,也就是该图廓的边界线。东西内图廓平行于纵坐标轴,南北内图廓平行于横坐标轴。外图廓为图的最外边界线,以较粗的实线绘制,主要起修饰作用,内、外图廓有规定的间距和粗细。

第四节 地形图的分幅与编号

为了便于测绘、拼接、使用和保管地形图,需要将各种比例尺的地形图进行统一的分幅和编号。地形图的分幅有国际分幅(梯形分幅)和矩形分幅两种,根据采用的测图比例尺不同而异。中、小比例尺的地形图采用国际分幅,大比例尺地形图采用矩形分幅。

一、国际分幅与编号

(一) 1:100 万地形图的分幅和编号

我国基本比例尺地形图均以 1:100 万地形图为基础,按规定的经差和纬差划分图幅。1:100 万地形图的分幅采用国际 1:100 万地形图分幅标准。从赤道起向南或向北分别按纬差 4° 分为横列,至南纬、北纬 88° 各分为 22 列,各列依次用 A, B, ..., V 表示。经度自 180° 开始算,自西向东按经差 6° 分成纵行,全球分为 60 行,各行用 1, 2, 3, ..., 60 表示。每幅图的编号由该图所在的横列和纵行号组合而成。如图 9-9 所示,例如北京某地 A 位于东经 $118^\circ 26' 24''$,北纬 $38^\circ 56' 30''$,则其所在 1:100 万地形图的编号为 J-50。

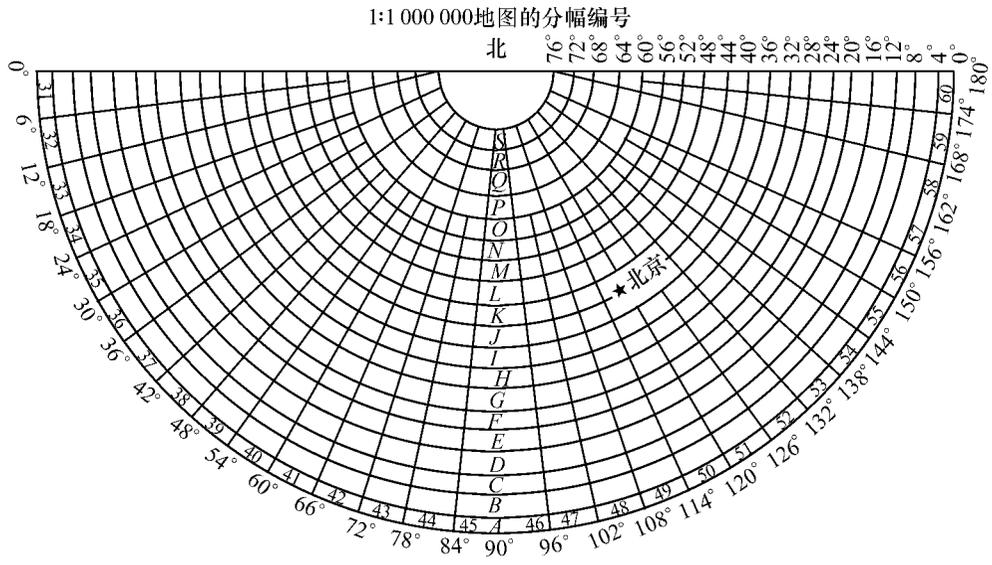


图 9-9

由于南、北半球的经度相同而纬度对称,为了区别南北半球对应图幅的编号,规定在南半球的图号前加一个 S,如 SL-50 表示南半球的图幅,而 L-50 表示北半球的图幅。

(二) 1:10 万地形图的分幅和编号

每幅 1:100 万地形图划分为 12 行 12 列共 144 幅 1:10 万地形图,1:10 万地形图的范围是经差 30′、纬差 20′。如图 9-10 表示北京某地 A 在 1:10 万图中的编号为 J-50-45。

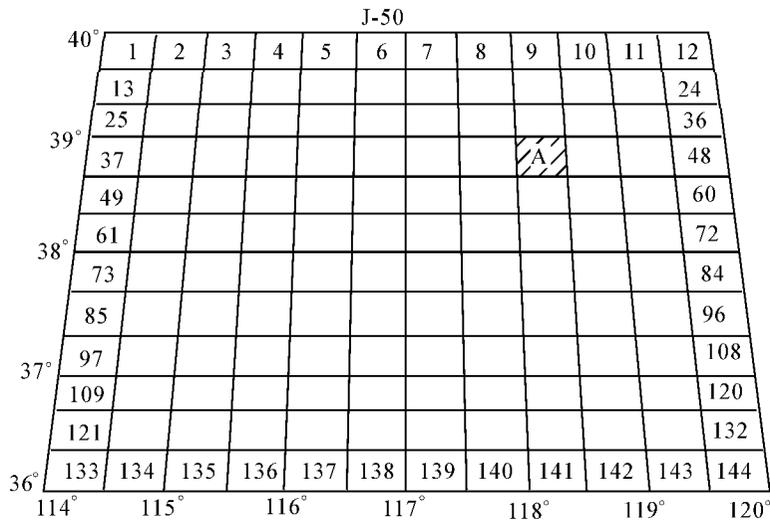


图 9-10

(三) 1:5 万、1:2.5 万、1:1 万地形图分幅与编号

这三种比例尺的地形图是在 1:10 万图幅的基础上分幅和编号的。如图 9-11a 所示,

一幅 1:10 万的地形图分成四幅 1:5 万的地形图,分别以甲、乙、丙、丁表示。一幅 1:5 万的地形图分成四幅 1:2.5 万的地形图,分别以 1、2、3、4 表示。一幅 1:10 万的地形图分为 64 幅 1:1 万的地形图,分别以 (1)、(2)、…表示。如图 9-11b 所示,图中北京某地 A 所在的 1:1 万图幅的编号为:J-50-45-(16)。

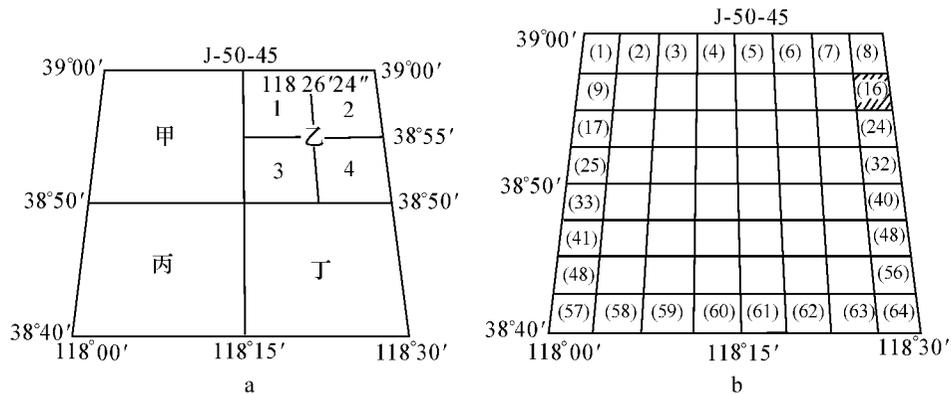


图 9-11

(四) 1:5 000 和 1:2 000 地形图的分幅和编号

这两种比例尺的地形图是以 1:1 万地形图的分幅和编号为基础的。每幅 1:1 万的地形图分为 4 幅 1:5 000 的图,分别在 1:1 万地形图图号后加 *a*、*b*、*c*、*d*,即为 1:5 000 的图幅。再将 1:5 000 的地形图分成 9 幅 1:2 000 的图,在 1:5 000 地形图的编号后加 1,2, …,9 表示,就是 1:2 000 的幅编号。

二、矩形分幅与编号

(一) 分幅

大比例尺地形图大多采用矩形分幅法,它是按照统一的直角坐标格网划分的。1:500, 1:1 000, 1:2 000 的大比例尺地形图通常采用 50cm×50cm 正方形分幅或 40cm×50cm 的矩形分幅。1:5 000 比例尺地形图也可采用 40cm×40cm 的正方形分幅。

(二) 编号

1. 图幅西南角坐标公里数编号法

一般采用图幅西南角坐标公里数编号,并以“纵坐标—横坐标”的格式表示。如某幅图西南角的坐标 $x=4\ 530.0\text{km}$, $y=652.0\text{km}$,则其编号为 4530.0—652.0。编号时,比例尺为 1:500 地形图,坐标值取至 0.01km,而 1:1 000、1:2 000 地形图取至 0.1km,1:5 000 地形图取至整千米数。

2. 流水编号法

一般从左至右,由上到下用阿拉伯数值编号(如图 9-12 所示)。

3. 横列编号法

一般由上到下为横行,从左到右为纵列,以一定的代号按先行后列的顺序编号(如图

9-13 所示)。

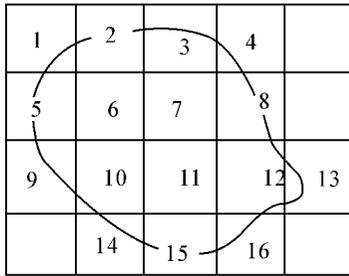


图 9-12

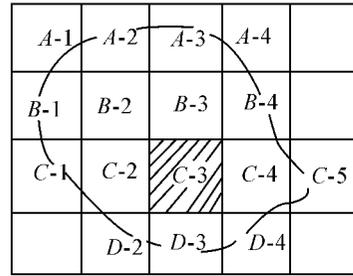


图 9-13

习 题

1. 什么叫比例尺？什么叫比例尺精度？1:500 地形图的比例尺精度是多少？
2. 表示地物的符号有几种？它们都在什么情况下使用？
3. 什么叫等高线？等高线有几种？
4. 等高线有哪些特性？
5. 什么是等高线平距和等高距？等高线平距、等高距和坡度三者有什么关系？
6. 某地位于东经 $106^{\circ}25'30''$ 、北纬 $56^{\circ}38'13''$ ，写出其所在 1:10 万、1:1 万地形图的分幅与编号。

第十章 大比例尺地形图的测绘

使用测量仪器测绘地形图的工作称为地形测图。大比例尺的地形测图通常采用平板仪、经纬仪或全站仪在野外直接测绘到图纸上。随着测绘技术和仪器设备的发展,目前,数字化测图方法成图已被广泛使用。

第一节 测图前的准备工作

一、收集资料

测图前,需要收集测区内所有控制点的成果资料、测图规范、地形图图式,需要做好测区中地形图的分幅及编号。

二、仪器设备的准备

测图前,需要准备仪器设备,对测图使用的仪器,应进行检验、校正。测图的图纸,目前一般使用聚酯薄膜,它具有伸缩性小、透明度好、不怕潮湿、牢固耐用、便于保存和可以洗涤等优点。

三、绘制坐标格网

地形图是根据控制点进行测绘的,测图之前应将控制点展绘到图纸上。为了能准确地展绘控制点的平面位置,首先要将图纸绘制成 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 的直角坐标方格网(如图 10-1 所示)。方格网可以自行绘制,绘制的方法有:对角线法绘制;坐标仪或坐标网格尺等专用工具绘制;在计算机中用 AutoCAD 软件编辑好坐标格网图形,然后把图形通过绘图仪绘制在图纸上。目前测绘用品商店有印制好坐标格网的聚酯薄膜,使用时购买即可。

对角线法绘制坐标方格网(如图 10-1 所示),先用直尺在图纸上画两条对角线,对角线的交点为 M ,从 M 点起沿四个对角方向分别量取相等的长度,得 A 、 B 、 C 、 D 四点,依次用直线连接各点,得矩形 $ABCD$ 。

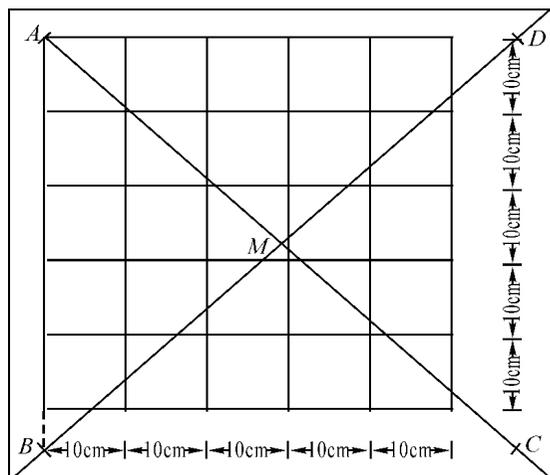


图 10-1

从 A 、 D 点起,各沿 AB 、 DC 方向作 10cm 分点,再从 A 、 B 点起,各沿 AD 、 BC 方向作 10cm 分点,然后横、竖方向连接各对应分点,并将方格补齐或擦去多余部分,即得方格网。

绘制或印制好的坐标格网,在使用前必须进行检查,看是否符合精度要求。一般对方格网的要求如下:

- (1) 坐标格网线粗不超过 0.1mm。
- (2) 方格边长与理论长度(10mm)之差不超过 0.2mm,图廓边长及对角线长与理论长度之差不超过 0.3mm。
- (3) 纵横格网线应垂直正交,同一条对角线上各方格顶点应位于一直线上,误差不得超过 0.2mm。

超过允许值时,应将格网进行修改或重绘。

四、展绘控制点

根据测区的地形图分幅,确定各幅图纸的坐标值,并在坐标格网外边注记坐标值。展绘

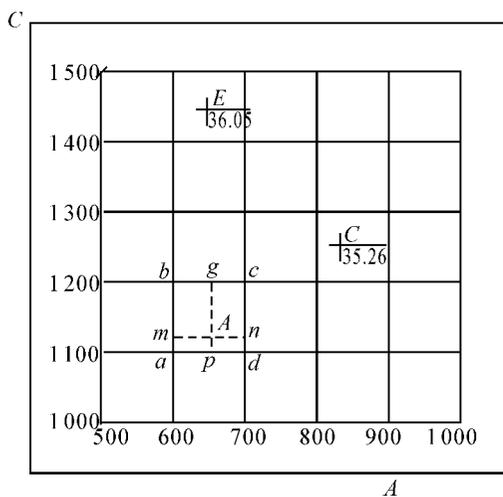


图 10-2

控制点时,首先要确定控制点所在的方格。如图 10-2 中,控制点 A 的坐标 $X_A = 1\ 124.28\text{m}$, $Y_A = 646.23\text{m}$,因此,确定其位于 a 、 b 、 c 、 d 方格内。从 a 和 d 点向上用比例尺量 24.28m,得出 m 、 n 两点,再从 a 和 b 两点向右量 46.23m,得出 g 、 p 两点,连接 mn 和 gp ,其交点即为控制点 A 在图上的位置。同法展绘其他各控制点。展绘完后应进行检查,量取相邻控制点之间的图上距离与已知距离进行比较,最大误差应不超过图上 $\pm 0.3\text{mm}$,否则控制点位置应重新展绘。

当控制点的平面位置在图纸上确定以后,还要注上点号和高程,在点的右侧画一细短线,上方标注点号,下方标注高程。

第二节 测量碎部点平面位置的基本方法

测量碎部点平面位置的基本方法主要有以下几种:

一、极坐标法

如图 10-3 所示,要测定碎部点 P 的位置,可以通过测定测站点 A 至碎部点 P 方向与测站点 A 至后视点 B 方向间的水平角 β ,测站点 A 至碎部点 P 的距离 d 来确定。这就是极坐标法。极坐标法是碎部测量最基本的方法。

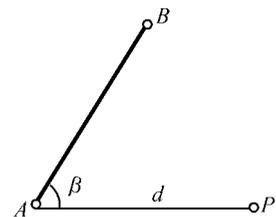


图 10-3

二、直角坐标法

如图 10-4 所示,设 A 、 B 为控制点,碎部点 1 靠近 A 、 B 。以 A 、 B 方向为 x 轴,找出碎部点 1 在 AB 上的垂足,用皮尺量出垂距 x_1 、 y_1 ,即可定出碎部点 1。同法定出 2、3 等其他各点。

直角坐标法适用于地物距控制点较近的地区,垂线可以用钢尺等简单工具量出。

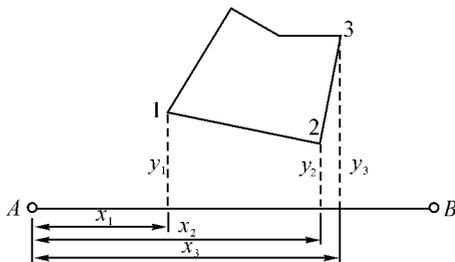


图 10-4

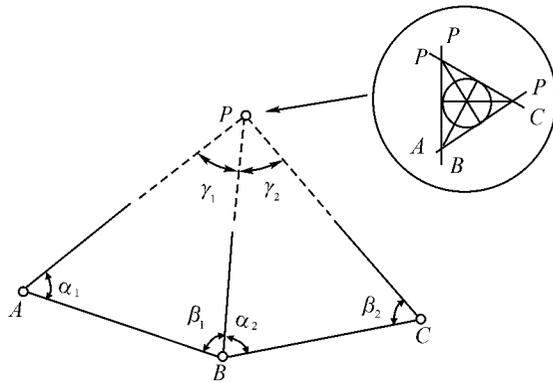


图 10-5

三、方向交会法

如图 10-5 所示,通过测定测点 A 至碎部点 P 方向和测站 A 至后视点 B 方向间的水平角 α ;测定测站 B 至碎部点 P 方向和测站 B 至后视点 A 方向间的水平角 β ,便能确定碎部点的平面位置,这就是方向交会法。当碎部点距测站较远而测距工具只有钢尺或皮尺,或遇河流、水田等测距不便时,可用此法。通常采用三点交会,由于测量误差,三根方向线不交于一点,形成一个示误三角形。如果示误三角形内切圆半径小于 1cm ,最大边长小于 4cm ,可取内切圆的圆心作为 P 点的正确位置。为了消除误差,三根方向线需要正、倒镜观测取平均值定出,并使交会角 α 、 β 在 $30^\circ \sim 120^\circ$ 范围内。

四、距离交会法

如图 10-6 所示,通过测定已知点 A 至碎部点 P 的距离 D_{AP} ,已知点 B 至 P 的距离 D_{BP} ,便能确定碎部点 P 的平面位置,这就是距离交会法。此处已知点不一定是测站点,可能是已测定出平面位置的碎部点。

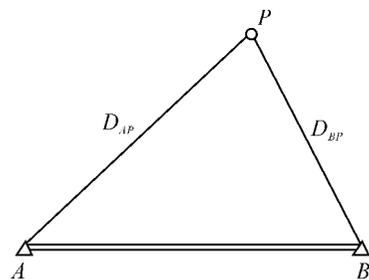


图 10-6

第三节 地形测图方法

地形测图就是根据图纸上展绘的控制点,测定其附近的地物、地貌点的平面位置和高

程。这些地物、地貌点称为碎部点,这项测量工作称为碎部测量或地形测量。

一、碎部点的选择

(一) 碎部点的选择

地形点(碎部点)的选择对测图的质量影响很大,地形点应选在地物或地貌的特征点。地物的特征点就是地物轮廓的转折、交叉等变化处的点及独立地物的中心点。地貌特征点就是山顶、鞍部、山脊、山谷和山脚等坡度及方向变化处的点。

(二) 碎部点的密度

用视距测量方法来测定测站点至碎部点的水平距离及高差时,因测量精度与距离长短有关,视距越长精度越低,所以视距长度要有一个限制。表 10-1 列出了几种比例尺测图的最大视距长度值。

表 10-1 最大视距和碎部点间距表

比例尺	最大视距(m)		碎部点最大间距 (m)
	主要地物点	次要地物和地貌点	
1 : 500	60	100	15
1 : 1 000	100	150	30
1 : 2 000	180	250	50
1 : 5 000	300	350	100

(三) 跑尺的方法

跑尺员应和观测员、绘图员密切配合,拟订跑尺方案、确定跑尺规定联络信号。跑尺的质量好坏对成图质量和测图速度有直接的关系。跑尺的方法很多,跑尺员应做到立点有规律,布点均匀,不漏点。

跑尺的基本方法有:

- (1) 区域法:将测站范围分成几块,一块一块地分类测绘。
- (2) 等高线法:沿着同一高度按“之”字形路线立点,这种跑尺方法,立尺员爬坡少些,但不容易找准山脊线、山谷线。
- (3) 地性线法:即沿山脊线、山谷线、山脚线立点。这种跑尺法,图上的特征点很明显,绘制等高线时比较准确,但跑尺员消耗体力多一些,所以等高线法、地性线法跑尺员一般由两人分别承担,密切配合。
- (4) 螺旋跑尺法:此法可以以测站为中心,由里圈向外围发散或由外圈向里圈收缩,一圈一圈地进行。
- (5) 直线法:对于线性地物多用此法,即对同一地物连续立点,便于测、绘相互配合。

二、地形图的测绘方法

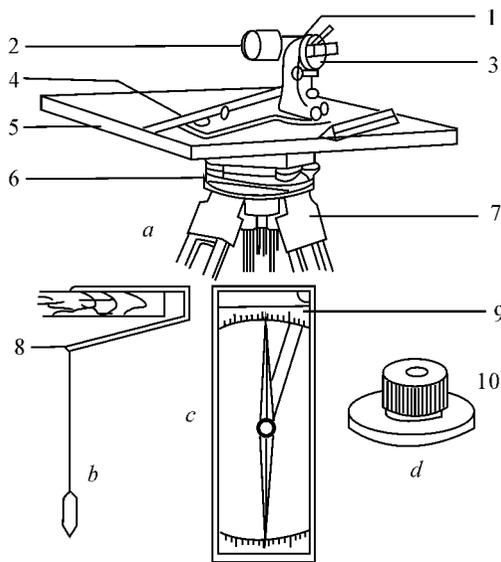
按测图时所使用的仪器来分,地形图的测绘方法有平板仪测绘法、经纬仪测绘法、全站仪测绘法以及我们后面专门介绍的数字化测图等。

(一) 平板仪测绘法

平板仪测图是以相似形理论为依据,用图解的方法,将地面点的平面位置和高程按测图比例尺直接测绘在图纸上。因此,平板仪测图也叫图解测图。平板仪测量是测绘大比例尺地形图的一种常规方法。

1. 大平板仪简介

如图 10-7 所示为大平板仪。大平板仪主要由平板、照准仪等构成。平板由图板、基座和三脚架组成,照准仪主要由望远镜、竖盘和直尺组成,此外还有对点器、定向罗盘和圆水准器等附件。测图前,首先对平板仪进行安置,平板仪的安置包括:对中、整平和定向三项工作。



1—照准仪;2—望远镜;3—竖盘;4—直尺;
5—图板;6—基座;7—三脚架;8—对点器;
9—定向罗盘;10—圆水准器

图 10-7

2. 大平板仪的安置

用平板仪测图,首先是安置平板仪。如图 10-8 所示,设在地面上有 A 、 B 两个已知控制点,欲测待定点 C 的平面位置和高程,在 B 点上水平地安置一块图板,将已按测图比例尺展绘出 A 、 B 两控制点的图纸固定在平板上,通过平移平板使图上 b 点和地面上 B 点在同一铅垂线上,即对中。通过平移、转动平板,根据放在图上 ba 方向上的瞄准器,使图上 ba 方向与实地 BA 方向位于同一铅垂面内,这项工作叫定向。除了这种根据已知边定向的方法外,也可以用磁针定向。最后通过圆水准器将图板整平后固定图板。

3. 大平板仪测图原理

图 10-8 中,用瞄准器将通过 BC 所做铅垂面与图板的交线 bn 画出,则 $\angle ABC$ 的水平角即为 $\angle mbn = \beta$,用视距测量的方法测出地面上 BC 两点间的水平距离 D 及 C 点高程,按

比例尺在 bm 方向上量取 bc 间图上距离 d , 即得图上 c 点, 将 C 点的高程注记在图上 c 点点位的旁边, 碎部点 C 点测量完毕。这就是平板仪测量地形图的原理。

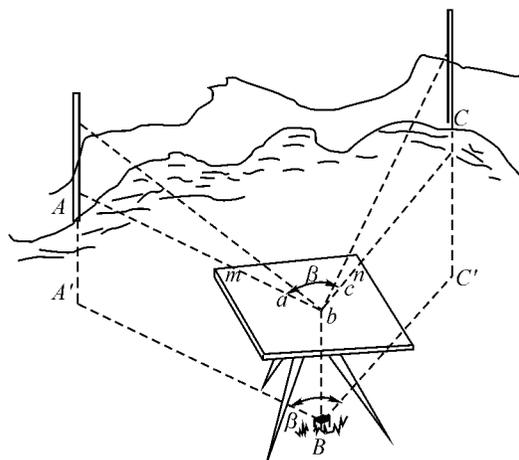


图 10-8 平板仪安置及测图原理

(二) 经纬仪测绘法

经纬仪测绘法的实质是极坐标法。首先用经纬仪测出碎部点方向与起始方向的夹角, 用视距测量方法测出测站到碎部点的距离及高差, 然后根据水平角值及距离定出碎部点在图上的点位, 并注上高程(如图 10-9 所示)。

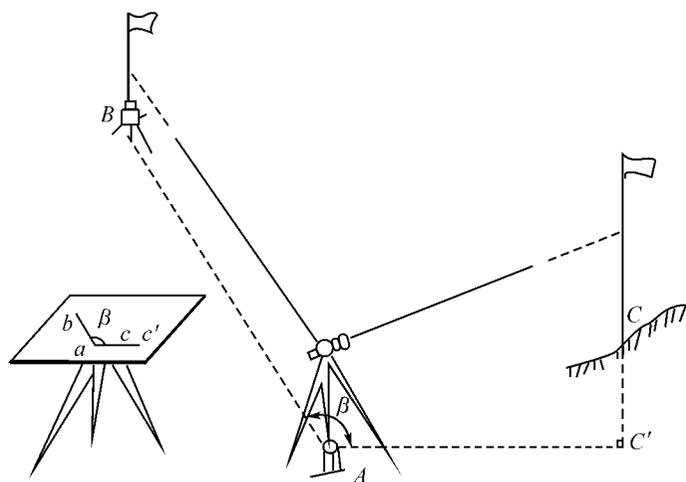


图 10-9

- (1) 在测站 A 安置经纬仪, 对中、整平后量取仪高 i 。
- (2) 瞄准已知控制点 B , 将水平度盘读数设置为 $0^{\circ}00'00''$ 。
- (3) 旋转照准部瞄准碎部点 C , 读取 C 点尺子上、中、下三丝读数, 读取水平角 β 和竖盘

读数并计算出竖直角 α 。

(4) 用视距测量公式计算出 AC 两点的水平距离 D 及高差 h 并计算出 C 点的高程。

(5) 用量角器在图上以 ab 方向为基准量取 β 角, 定出 ac' 的方向, 把实地距离 D 按测图比例尺换算成图上距离 d , 在 ac' 方向上量取水平距离 d , 定出 c 点的位置。

(6) 在 c 点旁注上高程, 即测得碎部点 C 在图上的位置。

按此方法可测绘出所有的碎部点。

(三) 全站仪测绘法

这种方法与经纬仪测绘法原理相同, 不同的是用光电测距取代了视距测量, 全站仪不仅可以测出测站点至碎部点的距离、高差和角度, 而且还可以直接测算出碎部点的坐标和高程。

全站仪测绘地形图, 将全站仪安置在测点上, 对中、整平后, 量取仪器高, 棱镜固定在专用标杆上, 全站仪瞄准立于碎部点上的棱镜, 直接读取水平角和水平距离, 用极坐标法展绘碎部点; 或直接读取碎部点的坐标, 用直角坐标法展绘碎部点。

全站仪还可以连接电子手簿或便携机, 采集野外数据后使用测图软件数字化成图, 即后面介绍的数字化测图。

第四节 地形图的绘制

地形图的绘制包括地物描绘、地貌勾绘、图幅拼接、图幅的检查和整饰等工作。

一、地物描绘

地物应按《地形图图式》规定的符号来描绘, 测绘地物时, 应随测随连, 依次连接同一地物的各特征点, 如: 房屋的四角点相连得到房屋的轮廓, 非比例符号表示的地物, 应在其点位处绘出符号。原则上, 测完一个完整的地物后再测下一个, 对于一测站不能测完的地物, 在未测完的地物上应做好标记, 以便测完后连接。

二、地貌勾绘

在测出地貌特征点后, 即可勾绘等高线。勾绘等高线时, 首先应用铅笔轻轻描绘出脊线、山谷线等地性线。由于等高距都是整米数或半米数, 因此基本等高线通过的地面高程也都是整米数或半米数。所测地形点大多数不会正好就在等高线上, 所以必须在相邻地形点间, 先用目估等比内插法定出基本等高线的通过点, 定点常采用“取头定尾等分中间”的方法, 如图 10-10 在 A 点($H_A=52.3\text{m}$)和 B 点($H_B=57.4\text{m}$)之间, 先目估定出 53m 和 57m 点的位置, 然后再等比内插目估出 54m 、 55m 、 56m 高程点的位置。这样就定出了 A 、 B 之间各条等高线所经过的点。按此方法定出其他点, 再根据实际情况, 将高程相等的点用光滑曲线进行连接, 即勾绘出等高线。不能用等高线表示的地貌, 如悬崖、峭壁、土堆、冲沟、雨裂等, 应按图式中的标准符号表示。

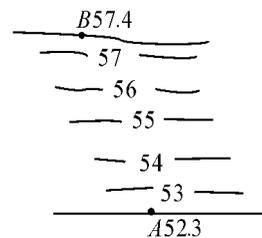


图 10-10

图 10-11 和图 10-12 表示等比内插法勾绘的等高线。

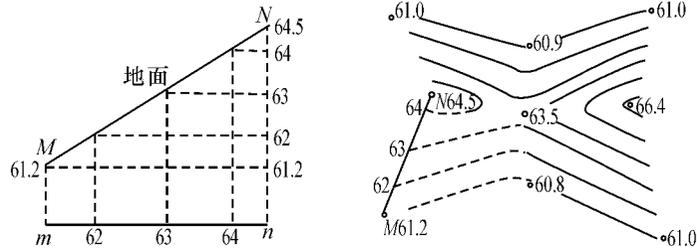


图 10-11

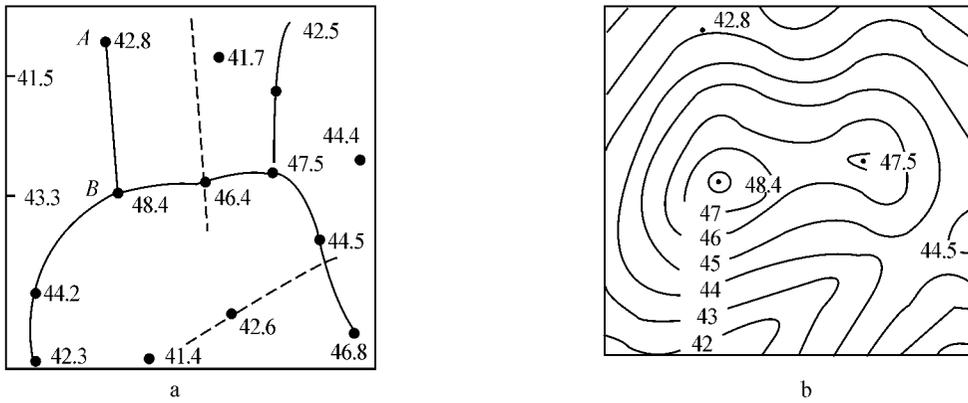


图 10-12

三、地形图的拼接

当测区面积较大,采用分幅测绘时,为了保证相邻图幅的正确衔接,一般要求每幅图应测出图廓外 5mm。

在相邻图幅连接处,由于测量和绘图误差的影响,无论是地物轮廓线,还是等高线往往不能完全吻合(如图 10-13 所示)。施测整个测区地形图后,相邻图幅需要进行严格的拼接。

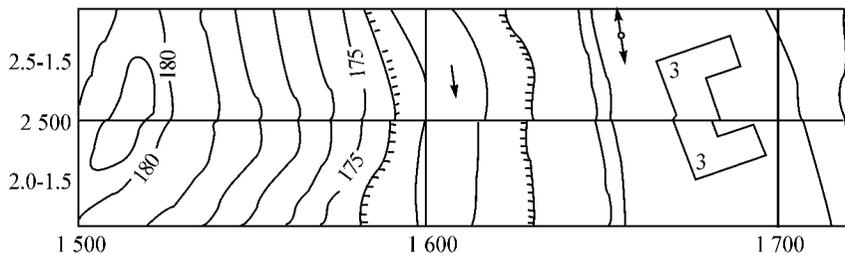


图 10-13

拼接方法:当用聚酯薄膜进行测图时,不必勾绘图边,利用其自身的透明性,可将相邻两幅图的坐标格网线重叠,估算出地物及等高线的接边误差。接边误差不超过表 10-2 中规定的地物点平面位置中误差、等高线高程中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍时,则可取其平均位置进行改正。若接边误差超过规定限差,则应分析原因,到实地测量检查,进行纠正。当用非薄膜测图时,将一幅图的图边用透明纸蒙绘下来,用于和其相邻的另一幅图边相比较进行拼接。

表 10-2 地物点平面位置中误差和地形点高程中误差

地区类别	点位中误差	高山地	山地	丘陵地	平地	铺装地面
山地、高山地	图上 0.8mm	高程注记点的高程中误差				0.15m
		h	$2h/3$	$h/2$	$h/3$	
城镇建筑区、工矿建筑区、平地、丘陵地	图上 0.6mm	高程注记点的高程中误差				
		h	h	$2h/3$	$h/2$	

四、地形图的检查

为了确保地形图的质量,除施测过程中加强检查外,在地形图测完后,必须进行全面检查。

(一) 室内检查

室内检查图上地物、地貌各种符号注记是否有错;等高线与地形点的高程是否相符,有无矛盾之处;图边拼接有无问题等。如发现错误或不清晰的地方,应到野外进行实地检查解决。

(二) 外业检查

1. 巡视检查

检查时应带图沿预定的线路巡视,将图上的地物、地貌和相应实地上的地物、地貌对照检查,查看的内容主要是图上有无遗漏的地方,名称注记是否与实地一致等,特别是应对接边时所遗留的问题和室内图面检查时发现的问题做重点检查。

2. 仪器检查

对于室内检查和野外巡视检查中发现的错误和疑点,应用仪器进行测量检查,并进行修改。如发现点位误差超限,应按正确的观测结果修正。

五、地形图的整饰

地形图经过拼接和检查后,还要进行清绘和整饰,整饰次序是先图内后图外,图内应用光滑线条描绘好地物及等高线,擦去不必要的线条、符号和数字,用工整的字体进行注记。图廓外应按图式要求书写出图名、图号、比例尺、坐标系统和高程系统、施测单位和日期等,如是地方独立坐标,还应画出正北方向。整饰后图面会更加清晰、美观。

六、验收

验收时首先检查成果资料是否齐全,然后在全部成果中抽取较为重要的部分做重点检

查,包括内业成果、资料和外业施测的检查,其余部分做一般性检查。通过检查鉴定各项成果是否符合规范及有关技术指标的要求,对成果质量作出正确的评价。

第五节 数字化测图概述

前述以平板仪测图、经纬仪测图等常规测图方法生产的图解地形图由于精度低、更新困难、现势性差、不易保存和管理等缺点,已日益显得落后,随着科学技术的进步和测量仪器的发展,地形测绘已走向数字自动化,数字化测量的成果不仅是绘制在纸上的地形图,而且是可供传输、处理、共享的数字地形信息,即以计算机磁盘为载体的数字地形图。这使地形图的编号、保存、修测更为方便。数字化地形测图又大大降低了测图工作强度,提高了作业效率,缩短了成图周期,所以数字测图已得到广泛的应用,数字测图取代常规测图是测绘科技发展的必然趋势和结果。

一、大比例尺数字化测图的作业方法

大比例尺数字化测图有两种模式:数字测记和电子平板仪测绘。

(1) 数字测记模式的数据采集工作是用全站仪测量、电子手簿记录。相对复杂的地形要人工画草图,然后进行室内数据处理,即将测量数据由记录器传输到计算机,由计算机自动检索编辑图形文件,配合人工草图进一步编辑、修改,自动成图。这种模式可由多台全站仪配合一台计算机、一套软件进行。

(2) 电子平板仪测绘,这种方法也称为内外业一体化数字测图方法。全站仪在野外测量的同时又与加装了相应测图软件的便携机(电子平板)连接通信,由便携机实现测量数据的记录、解算、建模,以及图形编辑、图形修正等工作,实现了内外业一体化。即测即显,所见即所得,在现场直接生成地形图。但这种方法是把室内编辑图的工作放在野外完成,增加了野外工作量和测图成本,而且便携机对野外不良天气和环境难以适应。

目前,具有图数采集、处理等功能的掌上电脑—袖珍电子平板测图系统,解决了系统硬件对外业环境要求较高的问题。随着 GPS 实时动态定位技术(RTK)的迅速发展,以 RTK 型 GPS 接收机作为数据采集的作业模式也已被广泛应用。此外,可用扫描仪对已有地图扫描获得栅格数据,再用专业软件转化为矢量数据,还可用专业数字化仪对已有地形图数字化。

二、大比例尺数字测图的基本作业过程

大比例尺地面数字测图要经过数据采集与编码、计算机数据处理和自动绘制地形图三个阶段。数据采集与编码工作主要是通过外业测量完成,内业通过计算机进行数据处理,在计算机上进行图形编辑,生成绘图文件后,再由绘图仪绘制成图。

图 10-14 所示是大比例尺地面数字测图的流程示意图。

地面数字测图系统的基本硬件为:全站仪、电子记录手簿、便携式计算机、A1 或 A0 幅面绘图仪、打印机、A1 或 A0 幅面数字化仪。

软件系统功能为:碎部测量数据的图形处理、在人机交互方式下的图形编辑、等高线自动生成、地图数字化、地图绘制。

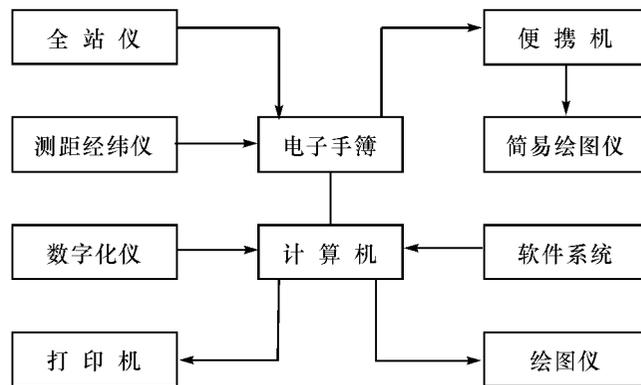


图 10-14

(一) 数据采集与编码

数字化测图的外业工作是进行数据的采集与编码,外业测量工作包括控制测量和地形碎部点测量。一般采用电子速测仪等进行观测,用电子手簿记录观测和计算数据。每一个碎部点的记录包括点号、观测值或坐标,另外还有与地图符号有关的符号码以及点之间的连接关系码。这些信息码以规定的数字代码表示。为了检查记录的数据和编码的正确性,往往进行外业巡视检查,考查是否有漏测,地物和地貌表示是否与实地一致等。还可用简易绘图仪绘制工作图或用便携机显示图形,对照草图检查。

(二) 数据处理和图形文件生成

将外业测量数据输入计算机进行数据处理,生成图块文件,在计算机屏幕上显示图形。然后在人机交互方式进行地图的编辑,生成数字地图的图形文件,数据处理分数据预处理、地物点的图形处理和地貌点的等高线处理。数据预处理是对原始记录数据做检查,删除已作废除标记的记录和删去与图形生成无关的记录,补充碎部点的坐标计算和修改有错误的信息码。数据处理的过程也就是应用测量程序的平差过程,平差后求出各碎部点的三维坐标,再将其进行编码分类,形成与地形编码相对应的数据文件。

(三) 地图绘制

人机交互编辑形成的数字地图图形文件可以储存在磁带、磁盘、移动硬盘等数据载体上,随时都可以调用或通过自动绘图仪直接绘制成地图。微机制图是将计算机和绘图仪直接连接起来,绘图仪按照计算机发送的指令和数据进行工作,自动绘制地图。

习 题

1. 测图前的准备工作有哪些?
2. 如何展绘控制点?怎样检查展点的正确性?
3. 地形测图时,应怎样选择地物点和地貌点?
4. 测量碎部点平面位置的方法有几种?都是在什么情况下使用?
5. 地形图测绘方法有几种?比较它们的异同。
6. 试述数字化测图的基本作业过程。

第十一章 地形图的应用

测绘地形图的根本目的是为了使用地形图。地形图是工程设计和施工、组织管理不可缺少的重要资料。正确地应用地形图,是每个工程建设技术人员必须具备的基本技能。地形图应用的基本内容包括在地形图上确定点的坐标、高程、直线距离、直线方位角和地面坡度等方面的工作。

第一节 地形图应用的基本内容

一、求图上某点的坐标

如图 11-1 所示,若要求图上 A 点的坐标,可先通过 A 点做坐标网的平行线 mn 、 op ,然后再用测图比例尺量取 mA 和 oA 的长度,则 A 点的坐标为:

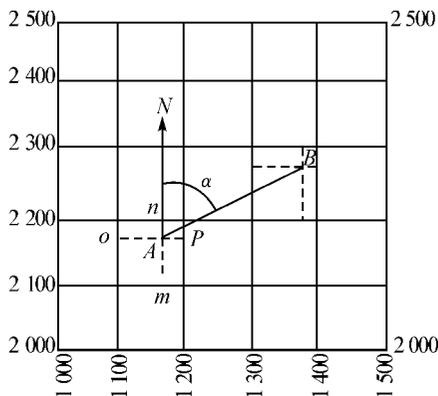


图 11-1

$$\left. \begin{aligned} x_A &= x_0 + mA \\ y_A &= y_0 + oA \end{aligned} \right\} \quad (11.1)$$

式中, x_0, y_0 是 A 点所在方格西南角点的坐标。

为了提高精度,量取 mn 和 op 的长度,对纸张伸缩变形的影响加以改正。若坐标格网的理论长度为 l ,则 A 点的坐标应按下式计算。

$$\left. \begin{aligned} x_A &= x_0 + \frac{mA}{mn}l \\ y_A &= y_0 + \frac{oA}{oP}l \end{aligned} \right\} \quad (11.2)$$

二、求图上两点间的水平距离

(一) 图解法

若要求 AB 间的水平距离 D_{AB} ,可用测图比例尺直接量取 D_{AB} ,也可以直接量出 AB 的图上距离 d ,再乘以比例尺分母 M ,得:

$$D_{AB} = Md \quad (11.3)$$

(二) 解析法

先在图上确定出 A、B 两点的坐标,再用下式计算出 A、B 两点间的距离。

$$D_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (11.4)$$

三、求图上某直线的方位角

(一) 图解法

若要求直线 AB 的方位角,可先通过 A 点和 B 点作坐标纵线的平行线,再量出 AB 的

方位角。

(二) 解析法

精确确定直线 AB 方位角的方法是解析法,量出 A 、 B 的坐标后,再用坐标反算公式求出直线 AB 的方位角。

$$\alpha_{AB} = \arctan = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \quad (11.5)$$

四、求图上某点的高程

地形图上任一点的地面高程,可根据邻近的等高线及高程注记确定。如图 11-2 所示, A 点位于高程为 84m 的等高线上,故 A 点高程为 84m。若所求点不在等高线上,如图 11-2 中的 B 点,可过 B 点作一条大致垂直并相交于相邻等高线的线段 mn 。分别量出 mn 的长度 d 和 mB 的长度 d_1 ,则 B 点的高程可按比例内插求得:

$$H_B = H_m - h_{mB} = H_m - \frac{d_1}{d}h \quad (11.6)$$

式中, H_m 为 m 点的高程, h 为等高距,在图 11-2 中, H_m 为 86m, h 为 1m。

实际工作中,在图上求某点的高程,通常是用目估确定的。

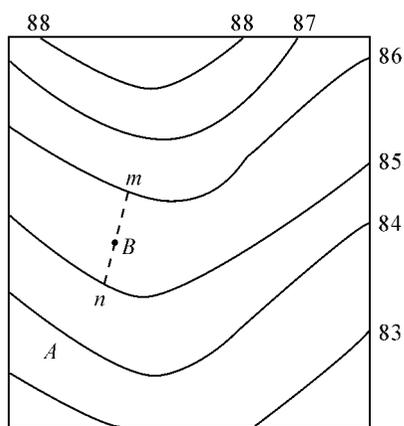


图 11-2

五、求图上某直线的坡度

直线的坡度是直线两端点的高差 h 与水平距离 D 之比,用 i 表示。

$$i = \frac{h}{D} = \tan\alpha \quad (11.7)$$

坡度一般用百分率或千分率表示。式(11.7)中的 α 表示地面上两点连线相对于水平线的倾角。如果直线两端点间的各等高线平距相近,求得的坡度基本上符合实际坡度;如果直线两端点间的各等高线平距不等,则求得的坡度只是直线端点之间的平均坡度。

若确定某处两等高线间的坡度,则按下式确定:

$$i = \frac{h}{Md} \quad (11.8)$$

式中, h 为等高距, M 为比例尺分母, d 为两等高线间的图上距离。

第二节 地形图在工程建设中的应用

一、按一定方向绘制断面图

在进行线路工程设计时,为了进行填挖土方量的概算及合理地确定线路的纵坡,需要较详细地了解沿线路方向上的地面的高低起伏情况,为此可以根据地形图上的等高线来绘制

地面的断面图。

如图 11-3 所示,现要绘制 MN 方向的断面图,方法如下:

(1) 首先在图纸上绘制直角坐标系。以横轴表示水平距离,以纵轴表示高程。水平距离比例尺一般与地形图比例尺相同,称为水平比例尺。为了明显地表示地面的起伏状况,高程比例尺一般是水平比例尺的 10 倍或 20 倍。

(2) 在纵轴上注明高程,并按基本等高距作与横轴平行的高程线。高程起始值要选择恰当,使绘出的断面图位置适中。

(3) 在地形图上沿 MN 方向线量取断面与等高线的交点 a, b, c, \dots 等点至 M 点的距离,按各点的距离数值,自 M 点起依次截取于直线 $M'N'$ 上,则得 a, b, c, \dots 各点在直线 $M'N'$ 上的位置,即点 a', b', c', \dots 在地形图上读取各点的高程。

(4) 将各点的高程按高程比例尺画垂线,就得到各点在断面图上的位置。

(5) 将各相邻点用平滑曲线连接起来,即为 AB 方向的断面图。如图 11-3b 所示。

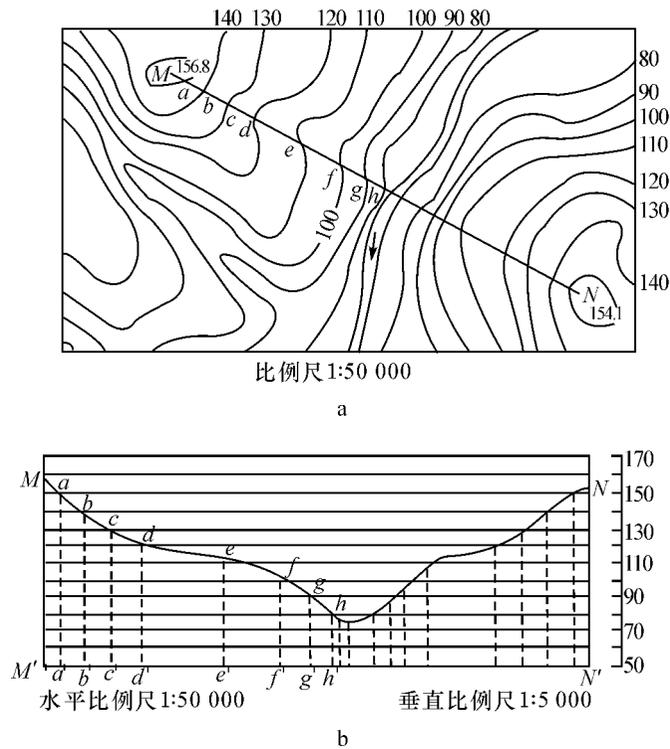


图 11-3

二、按限制坡度选择最短路线

在山地或丘陵地区进行道路、管线等工程设计中,一般根据设计要求先在地形图上进行路线的选择,选定一条最短路线或等坡度路线。

在图 11-4 中地形图的比例尺为 $1:2\ 000$,等高距为 1m ,要求从 M 到 N 点选择坡度不

超过 5% 的最短路线。为此,先根据 5% 坡度求出路线通过处的相邻两等高线间的最小平距:

$$d = \frac{1}{2\,000 \times 5\%} = 10(\text{mm}) \quad (11.9)$$

将分规卡成 $d(10\text{mm})$ 长,以 M 为圆心,以 d 为半径作弧与相邻等高线交于 a 点,再以 a 点为圆心,以 d 为半径作弧与相邻等高线交于 b 点,依次定出其他各点,直到 N 点附近,即得坡度不大于 5% 的线路。在该地形图上,用同样的方法还可定出另一条线路 M, a', b', \dots, N , 作为比较方案。

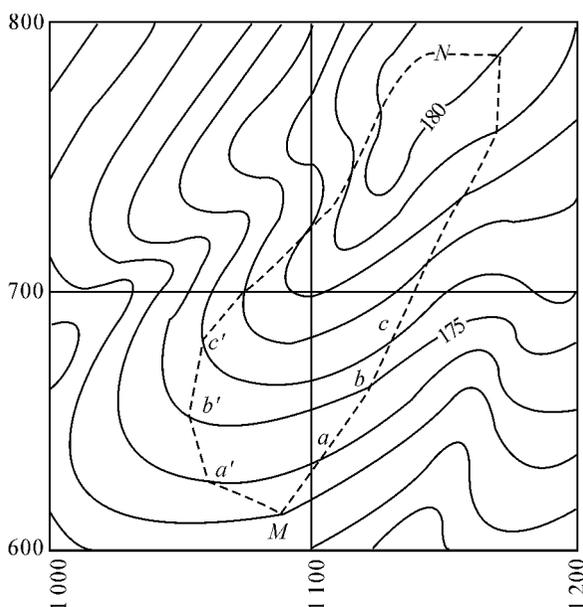


图 11-4

三、确定汇水面积的边界线及蓄水量的计算

在水库、涵洞、排水管等工程设计中,都需要确定汇水面积。地面上某区域内雨水注入同一山谷或河流,并通过某一断面,这个区域的面积称为汇水面积。确定汇水面积首先要确定出汇水面积的边界线,即汇水范围。汇水面积的边界线是由一系列山脊线(分水线)连接而成的。

如图 11-5 所示,图中山脊线与坝轴线 MN 所包围的面积,就是水库的汇水面积。

确定了汇水范围后,可以计算其汇水面积。有了汇水面积后,可根据该地区年平均降雨量等资料,确定水库的溢洪道起点高程和水库的淹没面积。在图 11-5 中,若溢洪道起点高程为 286m,则被 286m 等高线所包围的全部面积将被淹没。设 280m、282m、284m、286m 这四条等高线与坝 MN 围成的面积为 S_{280} 、 S_{282} 、 S_{284} 、 S_{286} 。地形图的等高距 h 是已知的,则两水平面之间所包围的体积(即每层的体积)计算公式是:

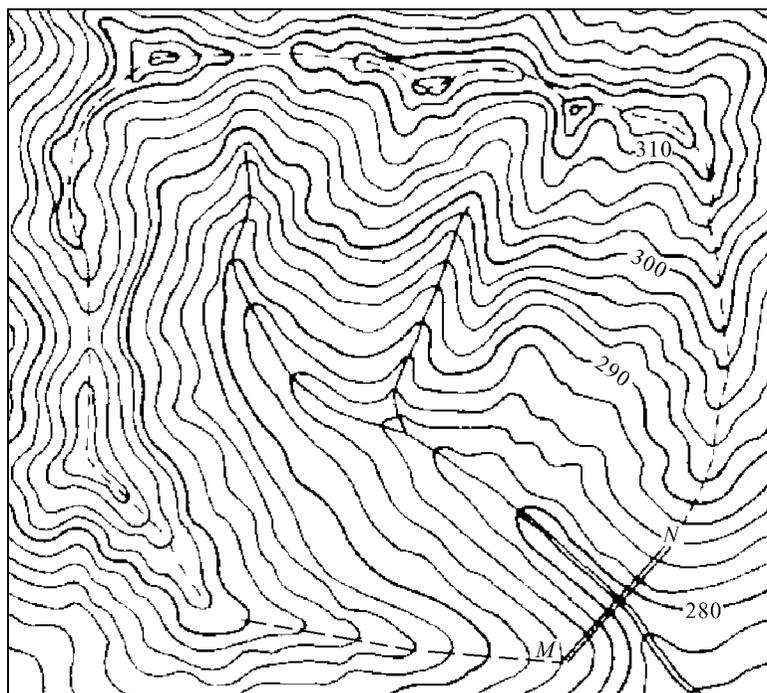


图 11-5

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{1}{3} h' S_{280} \\
 V_2 &= \frac{1}{2} (S_{280} + S_{282}) h \\
 V_3 &= \frac{1}{2} (S_{282} + S_{284}) h \\
 V_4 &= \frac{1}{2} (S_{284} + S_{286}) h
 \end{aligned} \tag{11.10}$$

那么,水库蓄水的总体积为:

$$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \tag{11.11}$$

式中, h 为等高距(2m), h' 为库底高程与最低一条等高线(280m)的高程之差。

四、在地形图上确定土坝的坡脚线

土坝的坡脚线就是土坝坡面与自然地面的交线。在地形图上可以标出土坝的坡脚线,确定清基范围(如图 11-6 所示)。其具体方法是:

- (1) 首先在地形图上画出坝轴线,再按坝顶宽度画出坝顶位置。
- (2) 根据坝顶高程及上、下游坝坡面的设计坡度,计算与地形图等高线相同的坝面等高线至坝顶边线的平距,然后根据平距画出与地面等高线相应的坝面等高线,它们与坝顶线平行。
- (3) 将高程相同的等高线与坝面等高线的交点连成光滑的曲线,即为土坝坡脚线。

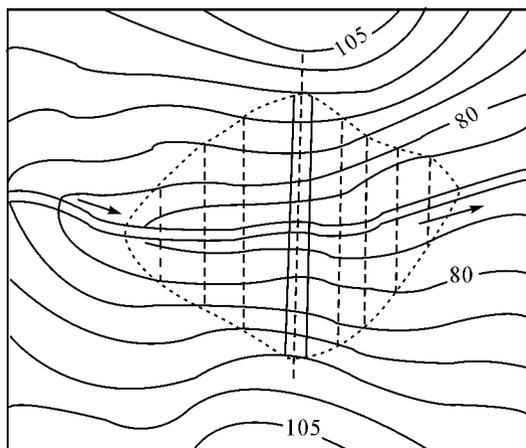


图 11-6

第三节 地形图在平整土地中的应用及方量的计算

按照工程需要,将施工场地自然地表整理成符合一定高程的水平面或一定坡度的均匀地面,称为平整场地。平整场地中常用的方法有方格网法、等高线法、断面法等。

一、平整场地的方法

(一) 方格网法

该法适用于地形起伏不大的方圆地区,一般要求在填土和挖土的土石方基本平衡的条件下平整成水平场地,先求出水平场地的合理的设计高程,再以此高程为基准计算各点的挖、填深度和挖、填方量。其步骤如下:

1. 在地形图上绘制方格网

在地形图上平整场地的区域内绘制方格网,格网边长依地形情况和挖、填土石方计算的精度要求而定,一般为 10m 或 20m。

2. 计算设计高程

用内插法或目估法求出各方格顶点的地面高程,并注在相应顶点的右上方。将每一方格的顶点高程取平均值(即每个方格顶点高程之和除以 4),最后将所有方格的平均高程相加,再除以方格总数,即得地面设计高程。

$$H_{\text{设}} = \frac{1}{n}(H_1 + H_2 + \dots + H_n) \quad (11.12)$$

式中, n 为方格数, H_i 为第 i 方格的平均高程。

3. 绘出填、挖分界线

根据设计高程,在图上用内插法绘出设计高程的等高线,该等高线即为填、挖分界线。

4. 计算各方格顶点的填、挖深度。

各方格顶点的地面高程与设计高程之差,即为填挖高度,并注在相应顶点的左上方。

即：

$$h = H_{\text{地}} - H_{\text{设}} \quad (11.13)$$

式中, h 为“+”号表示挖方,“-”号表示填方。

5. 计算填、挖土石方量

从图 11-7 可以看出,有的方格全为挖土,有的方格全为填土,有的方格有填有挖。计算时,填、挖要分开计算,图 11-7 中计算得到设计高程为 64.84m。以方格 2、10、6 格为例计算填、挖方量。

方格 2 为全挖方,方量为:

$$V_{2\text{挖}} = \frac{1}{4}(1.25 + 0.62 + 0.81 + 0.30)S_2 = 0.75S_2\text{m}^3$$

方格 10 为全填方,方量为:

$$V_{10\text{填}} = \frac{1}{4}(-0.21 - 0.51 - 0.47 - 0.73)S_{10} = -0.48S_{10}\text{m}^2$$

方格 6 即有挖方,又有填方:

$$V_{6\text{挖}} = \frac{1}{3}(0.3 + 0 + 0)S_{6\text{挖}} = 0.1S_{6\text{挖}}$$

$$V_{6\text{填}} = \frac{1}{5}(0 - 0.09 - 0.51 - 0.21 - 0)S_{6\text{填}} = -0.16S_{6\text{填}}$$

式中, S_2 为方格 2 的面积, S_{10} 为方格 10 的面积, $S_{6\text{挖}}$ 为方格 6 中挖方部分的面积, $S_{6\text{填}}$ 为方格 6 中填方部分的面积。最后将各方格填、挖土方量各自累加,即得填、挖的总土方量。

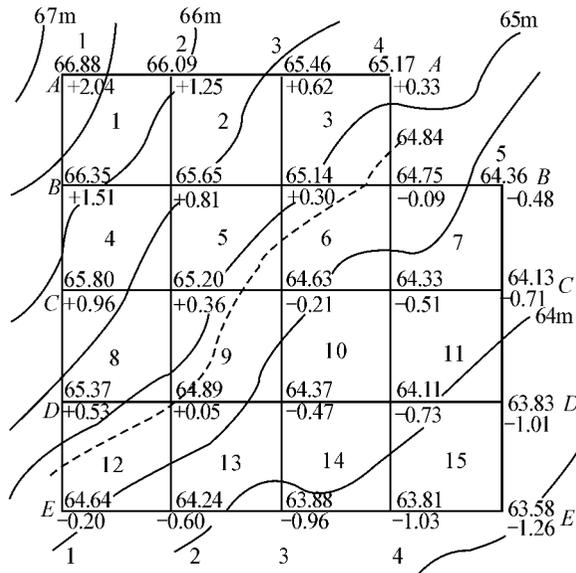


图 11-7

(二) 等高线法

如图 11-8 所示,先量出各等高线所包围的面积,相邻两等高线包围的面积平均值乘以

等高距,就是两等高线间的体积(即土方量)。首先从设计高程的等高线开始,逐层求出各相邻等高线间的体积,再将其求和即为总方量。图 11-8 所示的等高距为 2m,施工场地的设计高程为 75m,图中虚线即为设计高程的等高线,分别求出 75m、76m、78m、80m、82m 五条等高线所围成的面积 S_{75} 、 S_{76} 、 S_{78} 、 S_{80} 、 S_{82} ,则每一层的体积(土方量)为:

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{1}{2}(S_{75} + S_{76}) \times 1 \\ V_2 &= \frac{1}{2}(S_{76} + S_{78}) \times 2 \\ V_3 &= \frac{1}{2}(S_{78} + S_{80}) \times 2 \\ V_4 &= \frac{1}{2}(S_{80} + S_{82}) \times 2 \\ V_5 &= \frac{1}{3}S_{82} \times 1.2 \end{aligned} \right\} \quad (11.14)$$

总土方量为:

$$V_{\text{总}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 \quad (11.15)$$

二、将场地平整成倾斜平面

为了将自然地面平整成一定坡度 i 的倾斜场地,并保证挖填方量基本平衡,可采用方格网法按下述步骤确定挖填分界线和求得挖填方量:

(1) 根据场地自然地面情况绘制方格网,如图 11-9 所示,使纵横方格网线分别与主坡倾斜方向平行和垂直。这样,横格线即为倾斜坡面水平线,纵格线即为设计坡度线。

(2) 根据等高线按等比内插法求出各方格角顶的地面高程,标注在相应角顶的右上方。

(3) 计算地面平均高程(重心点设计高程),方法同前。图 11-9 中算得地面平均高程为 63.5m,标注在中心水平线下两端。

(4) 计算斜平面最高点(坡顶线)和最低点(坡底线)的设计高程。

$$\left. \begin{aligned} H_{\text{顶}} &= H_{\text{设}} + iD/2 \\ H_{\text{底}} &= H_{\text{设}} - iD/2 \end{aligned} \right\} \quad (11.16)$$

式中, D 为顶线至底线之间的距离。

在图 11-9 中, $i=10\%$, $D=40\text{m}$,算得 $H_{\text{顶}}=65.5\text{m}$, $H_{\text{底}}=61.5\text{m}$,分别注在相应格线的下两端。

(5) 确定挖填分界线。为此,由设计坡度和顶、底线的设计高程按内插法确定与地面等高线高程相同的斜平面水平线的位置,用虚线绘出这些坡面水平线,它们与地面相应等高线的交点即为挖填分界点,将其依次连接,即为挖填分界线。

(6) 根据顶、底线的设计高程按内插法计算出各方格角顶的设计高程,标注在相应角顶的右下方,将原来求出的角顶地面高程减去它的设计高程,即得挖、填高度,标注在相应角顶的左上方。

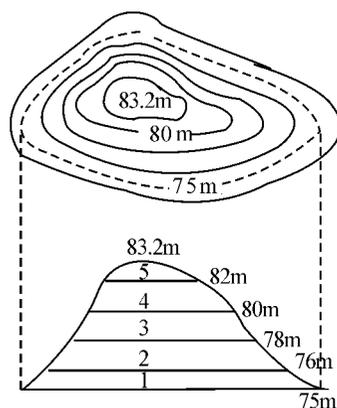


图 11-8

二、平行线法

如图 11-11 所示,在量算面积的图形上绘出等间距的平行线,并使平行线与图形的上下边线相切,把相邻两平行线之间所截的部分图形看成梯形,梯形的高就是平行线的间距 d 。量出各梯形的底边长度 l_1, l_2, \dots, l_n ,则各梯形面积分别为:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{1}{2}d(0+l_1) \\ S_2 &= \frac{1}{2}d(l_1+l_2) \\ &\vdots \\ S_{n+1} &= \frac{1}{2}d(l_n+0) \end{aligned} \right\} \quad (11.17)$$

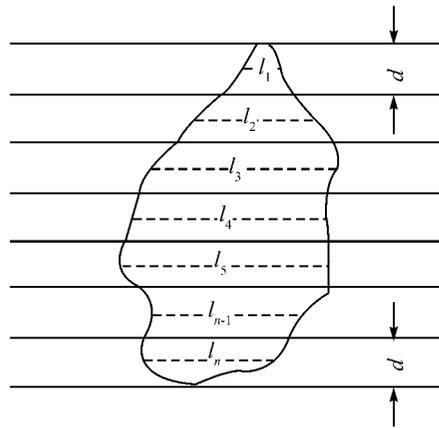


图 11-11

图形的总面积为:

$$\sum S = S_1 + S_2 + \dots + S_{n+1} = (l_1 + l_2 + \dots + l_n)d \quad (11.18)$$

如果图的比例尺为 $1 : M$,则该区域的实地面积为:

$$S = \sum SM^2 \quad (11.19)$$

如果图的纵方向比例尺为 $1 : M_1$,横方向比例尺为 $1 : M_2$,则有:

$$S = \sum SM_1M_2 \quad (11.20)$$

三、坐标计算法

坐标计算法是根据多边形顶点的坐标值来计算面积。如图 11-12 所示,1、2、3、4 为多边形的顶点,这四个顶点的纵横坐标值组成了多个梯形。

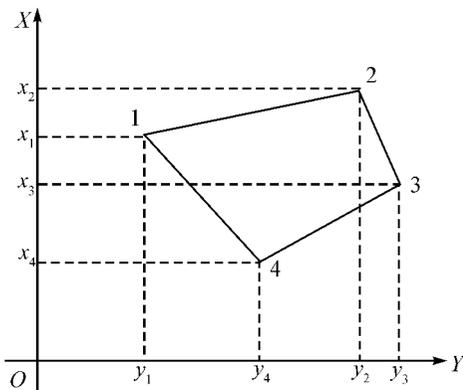


图 11-12

多边形 1234 的面积 S 即为这些梯形面积的代数和。图 11-12 中,四边形面积为梯形 $1y_12y_2$ 的面积 S_1 加上梯形 $2y_23y_3$ 的面积 S_2 再减去梯形 $1y_14y_4$ 的面积 S_3 和梯形 $4y_43y_3$ 的面积 S_4 。

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{1}{2}(x_1+x_2)(y_2-y_1) \\ S_2 &= \frac{1}{2}(x_2+x_3)(y_3-y_2) \\ S_3 &= \frac{1}{2}(x_1+x_4)(y_4-y_1) \\ S_4 &= \frac{1}{2}(x_3+x_4)(y_3-y_4) \end{aligned} \right\} \quad (11.21)$$

$$S = S_1 + S_2 - S_3 - S_4$$

$$= \frac{1}{2} [x_1(y_2 - y_4) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3)] \quad (11.22)$$

四、图解法

图解法用于求几何形状规则的图形面积,常用图形为三角形、矩形和梯形。如果需要量测面积的图形不是规则图形,则将其分割成若干个规则图形进行量测(如图 11-13 所示)。计算面积时应按图的比例尺将图上面积化为实地面积。

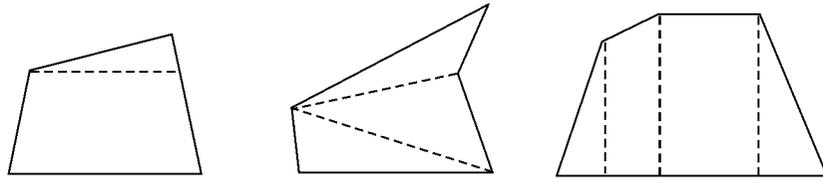


图 11-13

五、求积仪法

求积仪一般用于量测图上面积较大或图形呈曲线形状的面积。求积仪可分为机械求积仪和电子求积仪两类。这里只对电子求积仪进行介绍。

电子求积仪也称数字求积仪。它是在机械求积仪的机械装置上加上了电子计算设备,电子求积仪测定面积的精度高、范围大,使用方便。

如图 11-14 所示为 KP-90N 型动极式电子求积仪。

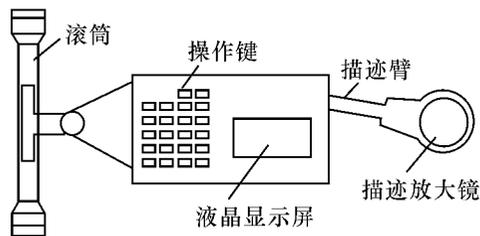


图 11-14

如图 11-15 所示,使用时,先将扫描放大镜置于图形中心,使滚轴与描迹臂成 90° 的角,然后打开电源,设定单位和比例尺。先在图形边缘上选一个量算起点,将扫描放大镜对准该点后,按开始键,用扫描放大镜顺时针沿图形边界扫描一周回到起点,则显示数值即为图形实地面积。电子求积仪还可以进行重复量测同一面积取其平均值作为最后的结果,该平均值在按功能键后可自动显示。另外,在需要的时候,还可以累加测量,即可以累测两块以上的面积。电子求积仪的精度约为 $2/10\ 000$ 。

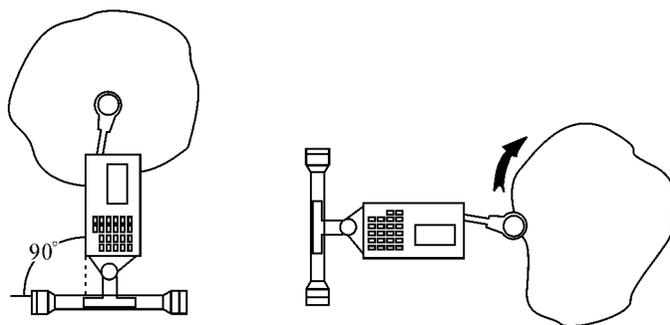


图 11-15

习 题

1. 地形图应用的基本内容有哪些？它们在图上是如何进行量测的？
2. 常用的量测面积的方法有哪些？
3. 场地平整的方法有哪些？
4. 怎样用方格网法将场地平整成设计平面？
5. 面积量算的方法有哪些？
6. 在如图 11-16 所示的 1 : 2 000 地形图上完成以下工作。
 - (1) 确定 A、C 两点的坐标和高程；
 - (2) 计算 AC 的水平距离和方位角；
 - (3) 绘 AB 方向的断面图。

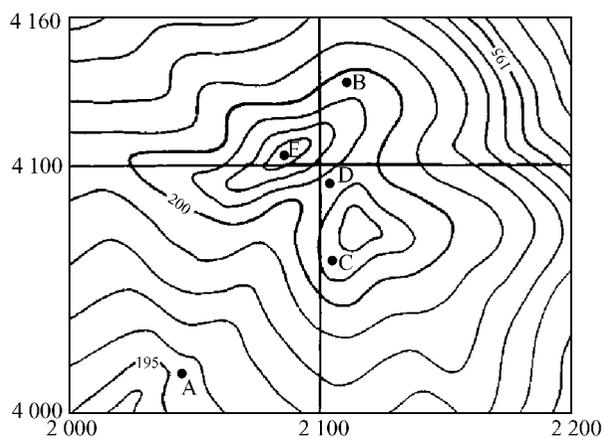


图 11-16

7. 图 11-17 中,有 A、B、C 三点,现将此区域设计成通过 A、B、C 三点的倾斜平面,试

在图上画出此倾斜平面的设计等高线(等高距为 1m),并在图上绘出填、挖分界线。

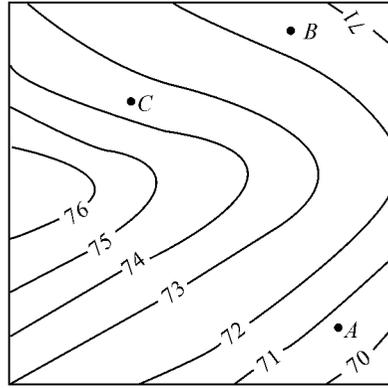


图 11-17

第十二章 施工测量的基本知识

第一节 施工测量概述

一、施工测量的目的和内容

各种工程建设在施工阶段所进行的测量工作称为施工测量。施工测量的目的是把设计的建筑物或构筑物的平面位置和高程测设到地面上。施工测量的内容主要包括：施工控制网的建立；将图纸上设计好的建筑物或构筑物的平面位置和高程标定在实地上，即施工放样（测设）；工程竣工后对建筑物或构筑物的竣工测量以及在施工期间检查施工质量的变形观测等。本章主要介绍施工测量最基本的工作，即施工放样。

二、施工测量的原则

为了保证建筑物和构筑物的平面位置和高程上都能满足设计要求，施工测量和测绘地形图一样，要遵循“从整体到局部”、“先控制后细部”的原则，即先在施工现场建立统一的平面控制网和高程控制网，然后以此为基准，测设出各个建筑物的平面位置和高程。

三、施工测量的特点

(1) 施工测量的精度要求取决于建筑物和构筑物的结构、材料、大小、用途和施工方法等因素。通常，高层建筑测量精度要高于低层建筑；工业建筑物的测量精度要高于民用建筑物；钢结构建筑的测量精度要高于钢筋混凝土结构、砖石结构建筑；装配式建筑的测量精度要高于非装配式建筑等。

(2) 施工放样与地形测图工作过程正好相反，测图工作是以地面控制点为基础，测算出碎部点的平面位置和高程，并绘制成地形图。放样工作则需要根据图纸上设计好的建筑物或构筑物的位置和尺寸，算出其各部分特征点至附近控制点的水平距离、水平角及高差等放样数据，然后以地面控制点为基础，将建筑物或构筑物的特征点在实地标定出来。

(3) 施工测量易受施工现场的影响，由于施工现场交叉作业频繁、机械设备多，而且土石方的填挖又造成地形的变化等一些因素的影响，各种测量标志必须埋设在稳固且不易破坏的位置，并应妥善保管和经常的检查，如被破坏应及时恢复。

第二节 测设的基本工作

一、已知水平距离的测设

已知水平距离的测设,就是由地面已知点起,沿给定的方向,测设出直线上另外一点,使得两点间的水平距离为设计的水平距离。其测设方法主要有以下几种。

(一) 钢尺测设水平距离

如图 12-1 所示, A 为地面上已知点, D 为设计的水平距离,要在地面给定的方向上测设出 B 点,使得 AB 两点的水平距离等于 D 。

具体方法是将钢尺的零点对准 A 点,沿给定方向拉平钢尺,在尺上读数为 D 处插测钎或吊垂球,以定出一点。为了校核,将钢尺的零端移动 $10\sim 20\text{cm}$,同法再定出一点。当两点相对误差在容许范围($1/3\ 000\sim 1/5\ 000$)内时,取其中点作为 B 点的位置。

(二) 全站仪(测距仪)测设水平距离

如图 12-2 所示,安置全站仪(或测距仪)于 A 点,瞄准已知方向,沿此方向移动棱镜位置,当显示的水平距离等于待测设的水平距离时,在地面上标定出过渡点 B' ,然后,实测 AB' 的水平距离,如果测得的水平距离与设计水平距离之差符合精度要求,则定出 B 点的最后位置,如果测得的水平距离与已知水平距离之差不符合精度要求,应进行改正,直到测设的距离符合限差要求为止。

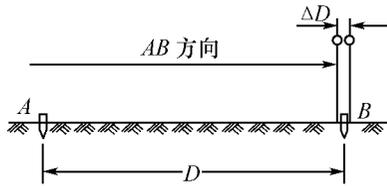


图 12-1

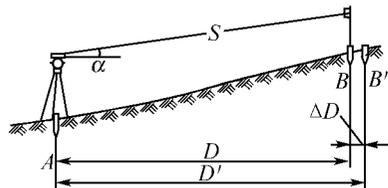


图 12-2

二、已知水平角的测设

已知水平角的测设,就是根据地面上一点及给定的已知方向,定出另外一个方向,使得两方向间的水平角为设计的角值。

(一) 一般方法

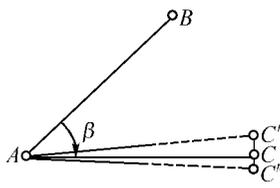


图 12-3

如图 12-3 所示,设 AB 为地面上已知方向,要在 A 点以 AB 为起始方向,顺时针方向测设一个已知的水平角 β ,定出 AC 的方向。方法是经纬仪或全站仪安置在 A 点,用盘左瞄准 B 点,将水平度盘设置为零度,顺时针旋转照准部使读数为 β 值,在此视线上定出 C' 点。然后用盘右位置按照上述步骤再测设一次,定出 C'' 点,取 C' 、 C'' 的中点 C ,则 $\angle BAC$ 即为所需测设的水平角 β , AC 边即为测

设角值为 β 时的另一条边。

(二) 精密方法

当水平角测设的精度要求较高时,可以采用精密的方法。如图 12-4 所示,先用一般的方法测设出 C' 点,定 C' 点时可用盘左或盘右,然后用测回法精确地测量出 $\angle BAC'$,设为 β' ,计算 β' 与设计角值 β 的差值 $\Delta\beta$, $\Delta\beta = \beta - \beta'$,再根据 AC' 的距离 L ,用 $\Delta\beta$ 计算出改正支距 δ 。

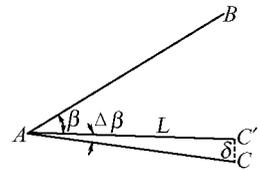


图 12-4

$$\delta = L \frac{\Delta\beta''}{\rho} \quad (12.1)$$

从 C' 作 AC' 的垂线,以 C' 点为始点在垂线上量取 δ ,即得 C 点,则 $\angle BAC = \beta$ 。当 $\Delta\beta > 0$ 时,应向外改化;反之,则应向内改化。

例 12.1 设 $\Delta\beta = 30''$, $AC' = 50.000\text{m}$

$$\text{则, } \delta = L \frac{\Delta\beta''}{\rho} = 50.000 \times \frac{30''}{206265''} = 0.007(\text{m}) = 7\text{mm}$$

三、已知高程的测设

(一) 地面点的高程测设

已知高程的测设,就是根据一个已知的水准点,将另一设计的高程点标定在实地上。

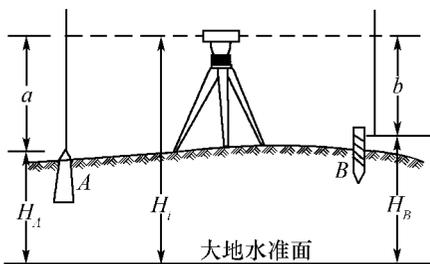


图 12-5

如图 12-5 所示,设 A 为已知水准点,高程为 H_A , B 点的设计高程为 H_B ,在 A 、 B 两点之间安置水准仪,先在 A 点立水准尺,读得读数为 a ,由此可得仪器视线高程为:

$$H_i = H_A + a \quad (12.2)$$

要使 B 点高程为设计高程 H_B ,则在 B 点的水准尺上的读数应为:

$$b = H_i - H_B \quad (12.3)$$

将 B 点水准尺紧靠 B 桩,上、下移动尺子,当读数正好为 b 时,则 B 尺底部高程即为 H_B 。然后在 B 桩上沿 B 尺底部做记号,即得设计高程的位置。

置。

如欲使 B 点桩顶高程为 H_B ,可将水准尺立于 B 桩顶上,若水准仪读数小于 b 时,逐渐将桩打入土中,使尺上读数逐渐增加到 b ,这样 B 点桩顶高程就是设计高程 H_B 。

例 12.2 设 $H_A = 35.255\text{m}$,欲测设点 B 的高程为 $H_B = 36.000\text{m}$,将仪器架在 A 、 B 两点之间,在 A 点上水准尺的读数 $a = 1.587\text{m}$,则得仪器视线高程,为 $H_i = H_A + a = 35.255 + 1.587 = 36.842(\text{m})$,在 B 点水准尺上的读数应为:

$$b = H_i - H_B = 36.842 - 36.000 = 0.842(\text{m})$$

故当 B 尺读数为 0.842m 时,在尺底画线,此线高程为 36.000m ,即设计高程点 B 的位置。

(二) 空间点高程的测设

当将地面点的高程测设到深坑里或将地面点的高程测设到高层建筑上时,测设点与已知水准点的高差过大,用上述常规的方法显然无法进行,则可同时用两台水准仪倒挂钢尺法测设。其具体方法如下:

如图 12-6 所示,已知地面水准点 A 的高程为 H_A ,要测设深坑内设计点 B 的高程 H_B ,在坑口设支架,自上而下悬一钢尺,尺子零点向下,尺端悬垂球浸入水桶内以防尺子抖动。观测时,采用两台水准仪分别在坑上、坑内安置,瞄准水准尺和钢尺读数,水准尺上的读数分别为 a, b ,钢尺上、下端读数分别为 c, d 。根据水准测量的原理有:

$$H_B = H_A + a - (c - d) - b \quad (12.4)$$

则,
$$b = H_A + a - (c - d) - H_B \quad (12.5)$$

在 B 点立尺,使水准尺贴着坑壁上下移动,当水准仪视线在尺子上的读数等于 b 时,紧靠尺底在坑壁上画线,并用木桩标定,木桩面就是设计高程 H_B 点。

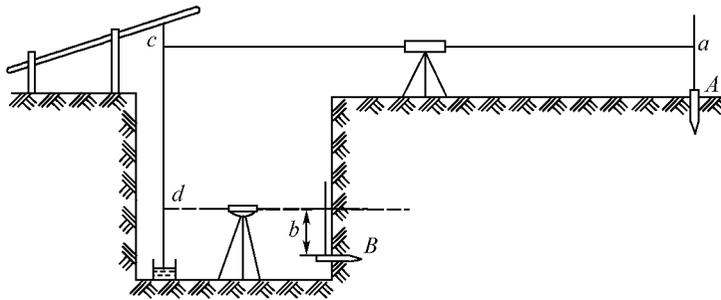


图 12-6

第三节 点的平面位置的测设

测设点的平面位置,就是根据已知控制点,在地面上标定出一些点的平面位置,使这些点的坐标为给定的设计坐标。根据施工现场具体条件和控制点布设的情况,测设点的平面位置的方法有直角坐标法、极坐标法、角度交会法和距离交会法等。测设时,应预先计算好有关的测设数据。

一、直角坐标法

直角坐标法是根据两个彼此垂直的水平距离测设点的平面位置的方法。如果施工的平面控制点之间布设成与坐标轴线平行或垂直的建筑方格网时,常用直角坐标法测设点位。

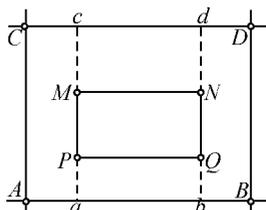


图 12-7

如图 12-7 所示, A, B, C, D 为建筑方格网点, P 为一建筑物的轴线点,设 A 点坐标为 (X_A, Y_A) , P 点的设计坐标为 (X_P, Y_P) 。测设时,在 A 点安置经纬仪(或全站仪),瞄准 B 点,在 A 点沿 AB 方向测设水平距离 $\Delta Y_{AP} = Y_P - Y_A$,得 a 点,将仪器搬至 a 点,瞄准 B 点,测设 90° 角,得 ac 方向,从 a 点沿 ac 方向测设水平距离 ΔX_{AP}

$= X_P - X_A$, 即得 P 点。同法, 可以测设出 M 、 N 、 Q 等其他各点。

二、极坐标法

极坐标法是根据水平角和水平距离测设地面点平面位置的方法。如图 12-8 所示, P 点为欲测设的待定点, A 、 B 为已知点。为将 P 点测设于地面, 首先按坐标反算公式计算测设用的水平距离 D_{AP} 和坐标方位角 α_{AB} 、 α_{AP} 。

$$D_{AP} = \sqrt{(x_P - x_A)^2 + (y_P - y_A)^2} \quad (12.6)$$

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \quad (12.7)$$

$$\alpha_{AP} = \arctan \frac{y_P - y_A}{x_P - x_A} \quad (12.8)$$

测设用的水平角为:

$$\beta = \alpha_{AP} - \alpha_{AB} \quad (12.9)$$

测设 P 点时, 将经纬仪安置在 A 点, 瞄准 B 点, 顺时针方向测设 β 角, 得一方向线, 然后在该方向线上测设水平距离 D_{AP} , 则可得 P 点。

如果用全站仪按极坐标法测设点的平面位置, 则更为方便(如图 12-9 所示)。要测设 P 点的平面位置, 其施测方法如下: 把全站仪安置在 A 点, 瞄准 B 点, 将水平度盘设置为 $0^\circ 00' 00''$, 然后将控制点 A 、 B 的已知坐标及 P 点的设计坐标输入全站仪, 即可自动算出测设数据水平角 β 及水平距离 D_{AP} 。测设水平角 β , 并在视线方向上把棱镜安置在 P 点附近的 P' 点。设 AP' 的距离为 D'_{AP} , 实测 D'_{AP} 后再根据 D'_{AP} 与 D_{AP} 的差值 $\Delta D = D_{AP} - D'_{AP}$ 进行改正, 即得 P 点。

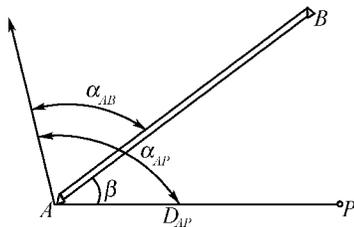


图 12-8

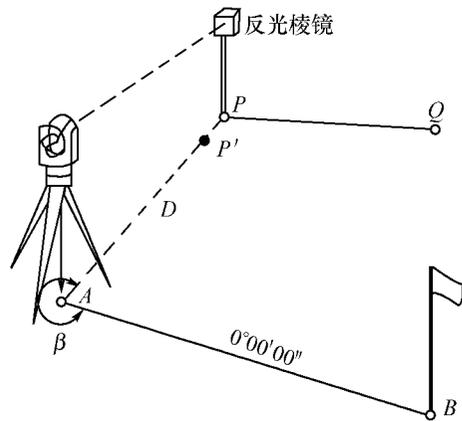


图 12-9

三、角度交会法

角度交会法是根据测设的两个水平角值定出两直线的方向。

当需测设的点位与已知控制点相距较远或不便于量距时, 可采用角度交会法。如图

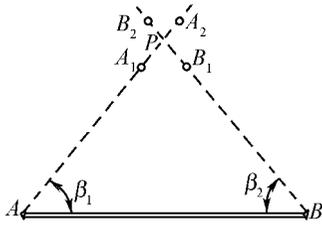


图 12-10

12-10 所示, A 、 B 为已知控制点, P 为要测设的点, 首先由 A 、 B 、 P 点的坐标计算测设数据 β_1 、 β_2 , 计算方法同极坐标法。

测设 P 点时, 同时在 A 点及 B 点安置经纬仪, 在 A 点测设 β_1 角, 在 B 点测设 β_2 角, 两条方向线相交即得 P 点。

当用一台经纬仪测设时, 无法同时得到两条方向线, 这时一般采用打骑马桩的方法。如图 12-10 所示, 经纬仪架在 A 点时, 得到了 AP 方向线。在大概估计 P 点位置后, 沿 AP 方向离 P 点一定距离的地方, 打入 A_1 、 A_2 两个桩, 桩顶作出标志, 使其位于 AP 方向线上。同理, 将经纬仪搬至 B 点, 可得 B_1 、 B_2 两桩点。在 A_1A_2 与 B_1B_2 之间各拉一根细线, 两线交点即为 P 点位置。这样定出的 P 点, 即使在施工过程中被破坏, 恢复起来也非常方便。

根据精度要求, 只有两个方向交会, 一般应重复交会, 以资检核。还可采取三个控制点从三个方向交会, 若三个方向不交于一点, 则每个方向可用两个小木桩临时标定在地上, 而形成误差三角形, 若误差三角形的最大边长不超过精度规定值, 则取三角形的重心作为 P 点的最终位置。

四、距离交会法

距离交会法是根据测设两个水平距离, 交会出点的平面位置的方法。当需测设的点与已知控制点相距较近, 一般相距在一尺段以内且测设现场较平整时, 可用距离交会法。

如图 12-11 所示, A 、 B 为已知控制点, P 为要测设的点, 先根据坐标反算式计算测设数据 D_{AP} 、 D_{BP} 。

测设 P 点时, 以 A 点为圆心, 以 D_{AP} 为半径, 用钢尺在地面上画弧, 再以 B 点为圆心, 以 D_{BP} 为半径, 用钢尺在地面上画弧, 两条弧线的交点即为 P 点。

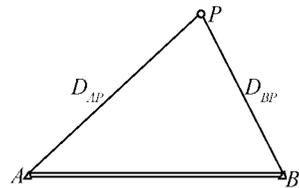


图 12-11

第四节 坡度线的测设

两点间的高差与其水平距离的比值称为坡度。设地面上两点间的水平距离为 D , 高差为 h , 坡度为 i , 则:

$$i = \frac{h}{D} \quad (12.10)$$

坡度可用百分率(%)表示, 也可用千分率(‰)表示。

已知坡度的测设, 就是根据一点的高程位置, 沿给定的方向, 在该方向上定出其他一些点的高程位置, 使这些点的高程位置在给定的设计坡度线上。

如图 12-12 所示, A 点的高程为 H_A , A 、 N 两点间的水平距离为 D_{AN} , 直线 A 、 N 的设计坡度为 i_{AN} , 则可算出 N 点的设计高程为:

$$H_N = H_A + i_{AN} D_{AN} \quad (12.11)$$

按测设高程的方法, 在 N 点测设出 H_N 的高程位置, 则 A 点与 N 点的设计坡度线就定出来了。除了线路两端点定出外, 还要在 A 、 N 两点之间定出一系列点, 使它们的高程位置

能位于 AN 所在的同一坡度线上。测设时,将水准仪(当设计坡度较大时可用经纬仪)安置在 A 点,并使水准仪基座上的一只脚螺旋在 AN 方向上,另两只脚螺旋的连线与 AN 方向垂直,量取仪高 i ,用望远镜瞄准立于 N 点的水准尺,调整在 AN 方向上的脚螺旋,使十字丝的中丝在水准尺上的读数为仪器高 i ,这时仪器的视线平行于所设计的坡度线,然后在 AN 中间的各点 1、2、3、…的桩上立水准尺,只要各点水准尺的读数为 i ,则尺子底部即位于设计坡度线上。

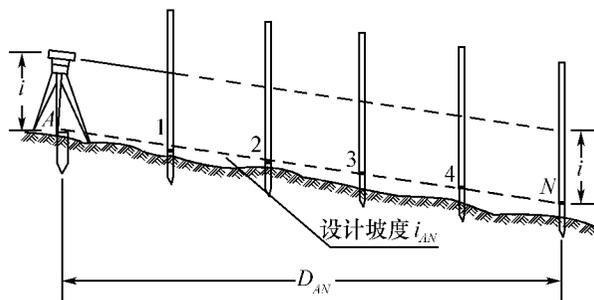


图 12-12

习 题

1. 测设的基本工作有哪些?简述其测设方法。
2. 测设点的平面位置有哪些方法?
3. 简述用水准仪测设坡度的方法。
4. 已知控制点 $A(150.36, 247.15)$ 、 $B(247.58, 154.56)$, 待定点 $P(100.00, 200.00)$, 试分别计算用极坐标法、角度交会法、距离交会法测设 P 点的测设数据,并简述其测设方法。
5. 设水准点 A 的高程为 25.362m , 现要测设高程为 24.500m 的 B 点, 仪器安置于 AB 两点之间, 在 A 尺上的读数为 1.256m , 则 B 尺上的读数应为多少? 如欲使 B 桩的桩顶的高程为 24.500m , 应如何测设?
6. 要在 AB 方向上测设一条坡度为 $i = -5\%$ 的坡度线, 已知 A 点的高程为 32.365m , A 、 B 两点间的水平距离为 100m , 则 B 点的高程应为多少?

第十三章 水工建筑物的放样

组成水利枢纽的建筑物称为水工建筑物,包括大坝、水闸、水电站厂房、船闸、泄水建筑物以及引水隧洞等,它们的施工放样程序与其他测量工作一样,也是按照从“整体到局部,先轴线后细部”的原则进行。本章主要介绍大坝、水闸及引水隧洞的施工放样方法。

第一节 土坝的施工放样

土坝属于重力坝型,它具有就地取材、施工简便的特点,一般中、小型水坝常修筑成土坝。土坝施工放样的主要内容包括:坝轴线的测设、坝身控制测量、清基开挖线的放样、坡脚线和坝体边坡线的放样等。

一、坝轴线的测设

土坝的坝轴线就是坝顶中心线(如图 13-1 所示),一般由设计部门根据坝址的具体条件选定。为了在实地标出它的位置,首先根据设计图上坝轴线端点的坐标及坝址附近的测图控制点坐标计算放样数据,由于放样方法的不同,放样数据可以是水平角、水平距离(极坐标法),也可以是坐标增量(直角坐标法)等,然后放样出坝轴线的端点位置。放样时,除了放样出坝轴线端点的位置外,还需放样出轴线中间一点。

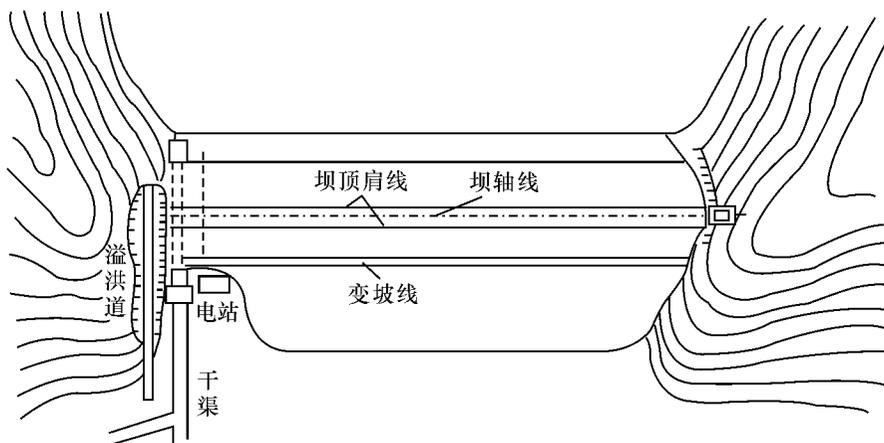


图 13-1

二、坝身控制测量

坝轴线是土坝施工放样的主要依据,但是,在进行整个坝体细部点的施工放样时,只有一条坝轴线是不能满足施工需要的,还必须建立坝身控制测量,为细部点的测设提供依据。

(一) 平面控制测量

1. 平行于坝轴线的直线测设

在图 13-2 中, M 、 N 是坝轴线的两个端点,将经纬仪(或全站仪)安置在 M 点,照准 N 点,固定照准部,用望远镜向河床两岸投设 A 、 B 两点。然后,分别在 A (及 B) 点安置仪器,照准坝轴线端点 M (或 N) 点后,仪器旋转 90° ,定出坝轴线的两条垂线 PQ 和 RS ,在垂线上按所需间距(一般每隔 5m、10m 或 20m)测设距离,定出 a 、 b 、 c 和 d 、 e 、 f 等点,那么 ad 、 be 、 cf 等直线就是坝轴线的平行线。为了施工放样,还应将仪器分别安置在 a 、 b 、 c 和 d 、 e 、 f 等点,将各条平行线投测到施工范围外的河床两岸,并打桩标定。

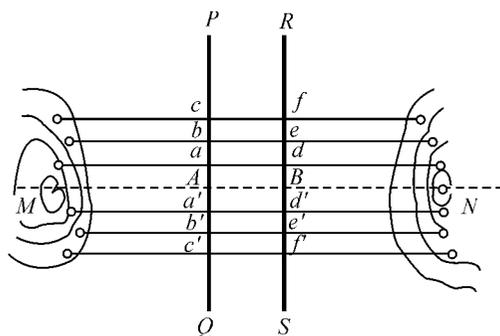


图 13-2

2. 垂直于坝轴线的直线

将坝轴线上与坝顶设计高程一致的地面点作为坝轴线里程桩的起点,称为零号桩。测设零号桩的方法如图 13-3 所示:将水准仪安置在坝轴线的 M 点附近,后视一已知水准点上的水准尺,读数为 a ,根据视线高原理,零号桩上水准尺读数应为:

$$b = (H_a + a) - H_0 \quad (13.1)$$

式中, H_0 为坝顶设计高程。

在坝轴线的另一端点 N 安置经纬仪,照准 M 点,扶尺员在坝轴线上(视线方向)移动水

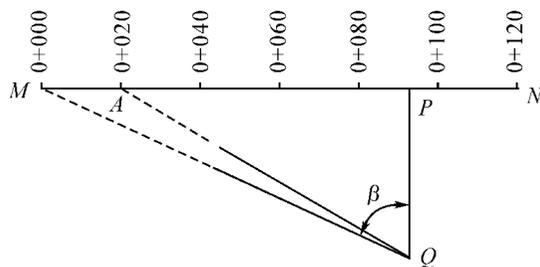


图 13-3

准尺,当水准尺读数为 b 时,该点即为坝轴线零号桩的位置,并打桩标定。以零号桩点为起点,沿坝轴线方向,每隔一定距离设置一个里程桩,若坝轴线方向坡度太陡,测设距离较为困难,可在坝轴线上选择一个适当的 P 点,该点应位于向下游或上游便于测距的地方。然后,在 P 点安置经纬仪(或全站仪),测量 PQ 的水平距离和水平角 β 角,计算 MP 的距离为:

$$MP = PQ \cdot \tan\beta \quad (13.2)$$

若要确定桩号为 $0+020$ 的 A 点,可按下式计算测设角 $\angle AQP$:

设, $\angle AQP = \beta_1$

$$\text{则,} \quad \beta_1 = \arctan \frac{MP-20}{PQ} \quad (13.3)$$

将两台经纬仪,分别安置于 M 和 Q 点。 M 点的仪器以坝轴线定向,固定照准部; Q 点的仪器测设 β_1 角,两台仪器视线的交点即为 $0+020$ 点。其他里程桩可按上述方法测设。

最后是在各里程桩上测设坝轴线的垂线,在各里程桩上分别安置仪器,照准坝轴线上较远的一个端点 M 或 N ,照准部旋转 90° 角,即可得到一系列与坝轴线垂直的直线。将这些垂线也投测到围堰上或山坡上用木桩或混凝土桩标志各垂直线的端点。

(二) 高程控制测量

为了进行坝体的高程放样,需在施工范围外布设水准基点,水准基点要埋设永久性标志,并构成环形路线,用三等精度测定它们的高程。此外,还应在施工范围内设置临时性水准点,这些临时性水准点应靠近坝体,以便安置 $1\sim 2$ 次仪器就能放出需要的高程点。临时水准点应与水准基点构成附合水准路线,按四等精度施测。临时水准点一般不采用闭合路线施测,以免用错起算高程而引起事故。

三、清基开挖线的放样

清基开挖线就是坝体与自然地面的交线,亦即自然地表面上的坝脚线。为了使坝体与地面紧密结合,增强大坝的稳定性,必须清除坝基自然表面的松散土壤、树根等杂物。在清理基础时,测量人员应根据设计图纸放出清基开挖线,以确定施工范围。具体方法如下:

(1) 图解量取放样数据。如图 13-4 所示, P 点在坝轴线上的里程为 $0+100$, A 、 B 两点为 $0+100$ 桩坝体的设计断面与地面上、下游的交点,在设计图纸上量取图上 PA 、 PB 的水平距离为 d_1 、 d_2 ,即为放样数据。

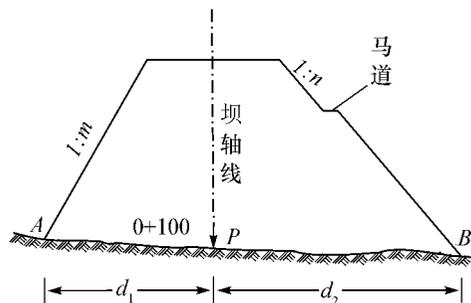


图 13-4

(2) 在 P 点安置经纬仪(或全站仪),照准坝轴线的一个端点,照准部旋转 90° 定出横断

面方向,从 P 点分别向上、下游方向测设 d_1 、 d_2 ,标出清基开挖点 A 、 B 两点。同法定出各断面的清基开挖点,各开挖点的连线,即为清基开挖线(如图 13-5 所示)。

由于清基开挖有一定的深度和坡度,所以,应按估算的放坡宽度确定清基开挖线。当从断面图上量取 d_i 时,应根据施工现场的具体情况按深度和坡度加上一定的放坡长度。

四、坡脚线的放样

基础清理完工后,坝体与地面的交线称为坡脚线(亦称起坡线)。坡脚线是填注土石和浇注混凝土的边界线。坡脚线的测设常用以下方法:

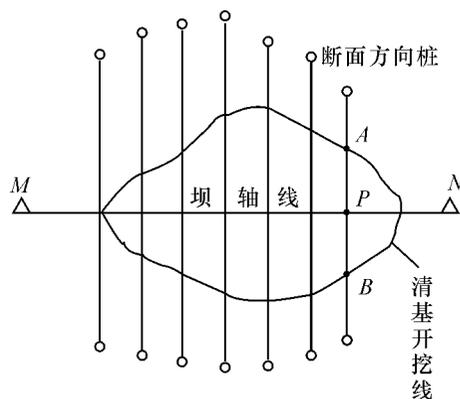


图 13-5

(一) 逐渐趋近法

清基完工后,首先恢复坝轴线上各里程桩的位置,并测定各里程桩的地面高程。然后将经纬仪(或全站仪)分别安置在各里程桩上,以坝轴线端点为起点定出各断面方向,然后根据设计断面估算距离,沿断面方向测定坡脚线上点的轴距 d' (里程桩至坡脚点的水平距离)及高程 $H_{A'}$ 。如图 13-6 所示,图中里程桩 P 点到坡脚线上 A 点的轴距 d 为:

$$d = \frac{b}{2} + m(H_0 - H_{A'}) \quad (13.4)$$

式中, b 为坝顶设计宽度; m 为坝坡面设计坡度的分母; H_0 为坝顶设计高程; $H_{A'}$ 为立尺点 A' 的高程。

若实测的轴距 d' 与计算的轴距 d 不相等,说明立尺点 A' 不是该断面设计的坡脚点,则应沿断面方向移动立尺点的位置,反复试测,直至实测的轴距与计算的轴距之差在容许范围内为止,这时的立尺点即为设计的坡脚点。同法测得其他断面的坡脚点,用白灰线将各坡脚点连接起来,即成为坝体的坡脚线。

(二) 平行线法

前面通过坝身控制测量设置了一些平行于坝轴线的直线,这些直线与坝坡面相交处的高程为:

$$H_i = H_0 - \frac{1}{m}(d_i - \frac{b}{2}) \quad (13.5)$$

式中, H_i 为第 i 条平行线与坝坡面相交处的高程; H_0 为坝顶的设计高程; d_i 为第 i 条平行线与坝轴线之间的距离,即轴距; b 为坝顶的设计宽度; m 为坡面设计坡度的比例尺分母。

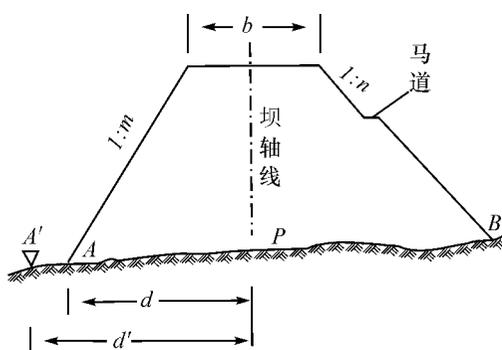


图 13-6

计算出 H_i 后,即在各平行线上,用高程放样的方法测设 H_i 的坡脚点。各个坡脚点的连线,即为坝体的坡脚线。一般坡脚处填土的位置应比现场标定的坡脚线范围要大一些,以便坡面碾压结实,确保施工的质量。

五、坝体边坡的放样

坝体坡脚线标定后,即可在标定范围内填土(上料),填土要分层进行,每层厚约 0.5m,每填一层都要进行碾压,测量人员在碾压后要及时确定填土的边界,即边坡。土坝边坡通常采用坡度尺法或轴距杆法放样。

(一) 坡度尺法

按设计坝面坡度 $1:m$ 特制一个直角三角板,使两直角边的长度分别为 1m 和 m m。在长为 m m 的直角边上安一个水准管。放样时,将绳子的一头系于坡脚桩上,另一头系在坝体横断面方向的竖杆上,将三角板斜边靠着绳子,当绳子拉到水准气泡居中时,绳子的坡度即等于应放样的坡度(如图 13-7 所示)。

(二) 轴距杆法

根据土坝的设计坡度,按式(13.4)算出不同层坝坡面点的轴距 d ,由于坝轴线里程桩不便保存,必须以填土范围之外的坝轴线的平行线为依据进行量距。为此,在这条平行线上设置一排轴距杆(如图 13-7 所示)。设平行线的轴距为 D ,则填土上料桩(坡面点)离轴距杆的距离为 $(D-d)$,以此即可定出上料桩的位置。随着坝体的增高,轴距杆可逐渐向坝轴线移近。

上料桩的轴距是按设计坝面坡度计算的,实际填土时应超出上料位置,即应留出碾压和修整的余地,图 13-7 中用虚线表示。

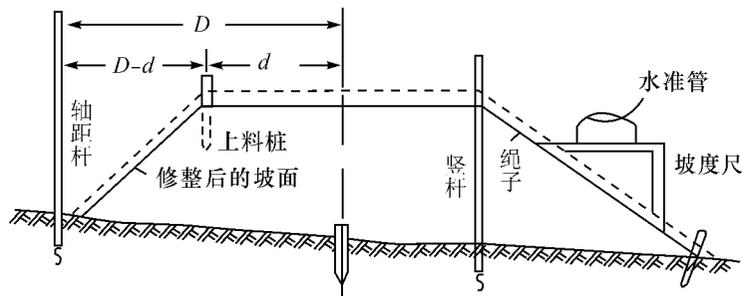


图 13-7 坡度尺法和轴距杆法放样边坡

六、土坝修坡桩的测定

土坝碾压后进行修整,使坡面与设计要求相符,修整后用草皮或石块护坡。修坡常用水准仪法和经纬仪法。

(一) 水准仪法

在坝坡面上按一定间距布设一些与坝轴线平行的坝面平行线,根据式(13.5)计算各平行线的高程,然后用水准测量测定平行线上各点的高程,所测高程与所算高程之差即为修坡厚度。

(二) 经纬仪法

用经纬仪测定,首先要根据坡面的设计坡度计算出坡面的倾角,即:

$$\alpha = \arctan \frac{1}{m} \quad (13.6)$$

将经纬仪安置在坝顶边缘位置,量取仪器高 i ,望远镜视线下倾 α 角,固定望远镜,则视线方向即与设计坡面平行。然后,在视线方向的标尺上读取中丝读数 v ,该立尺点的修坡厚度即为:

$$\Delta d = i - v \quad (13.7)$$

第二节 水闸的放样

水闸是由闸门、闸墩、闸底板、两边侧墙、闸室上游防冲板和下游溢流面组成。图13-8为三孔水闸平面布置示意图。

水闸的施工放样,包括水闸轴线的测设、闸底板范围的确定、闸墩中线的测设以及下游溢流面的放样等。

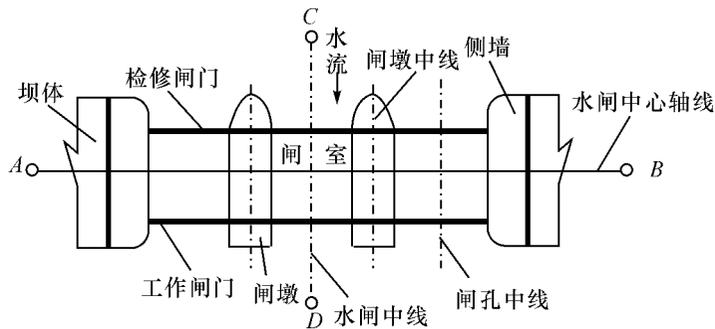


图 13-8

一、水闸主要轴线的测设

水闸主要轴线的测设,就是在施工现场标定水闸轴线端点的位置。首先,从水闸设计图上量出轴线端点的坐标,根据所采用的放样方法、轴线端点的坐标及邻近测图控制点的坐标计算所需放样数据,计算时要注意进行坐标系的换算,然后将仪器安置在测图控制点上进行放样。先放样出相互垂直的两条主轴线,两条主轴线确定后,还应在其交点安置仪器检测两线的垂直度,若误差超限,应以闸室为基准,重新测设一条与其垂直的直线作为纵向主轴线。主轴线测定后,应向两端延长至施工范围外,并埋设标志以示方向。

二、闸底板的放样

闸底板的放样目前大多采用比较简单的全站仪测距法。如图 13-9 所示,在主轴线的交点 O 安置全站仪,根据闸底板设计尺寸,在轴线 CD 上分别向上、下游各测设底板长度的一

半,得 G 、 H 两点。在 G 、 H 点分别安置仪器,以轴线 CD 定向,测设与 CD 轴线相垂直的两条方向线,两方向线分别与边墩中线交与 E 、 F 、 P 、 Q 点,这四个点即为闸底板的四个角点。

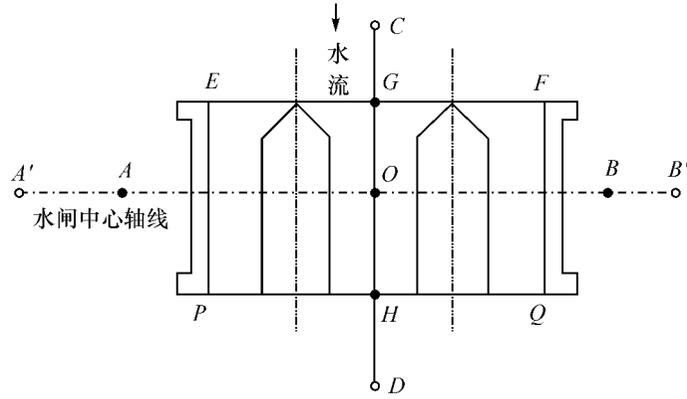


图 13-9

闸底板平面位置的放样也可根据实际情况,采用前方交会法、极坐标法等其他方法进行测设。

闸底板的高程放样可根据底板的设计高程用水准测量的方法放样,也可在放样平面位置时用全站仪三角高程测量的方法放样。

三、闸墩的放样

闸墩放样时首先放出闸墩中线,然后以中线为依据放样闸墩的轮廓线。闸墩中线是根据主轴线测设的(如图 13-8 所示),以主轴线 AB 和 CD 为依据,在现场定出闸孔中线、闸墩中线、闸墩基础开挖线以及闸底板的边线等。待水闸基础打好混凝土垫层后,在垫层上再精确地放出主要轴线和闸墩中线,然后根据闸墩中线放出闸墩平面位置的轮廓线。

闸墩平面位置的轮廓线分为直线和曲线,直线部分可用直角坐标法放样,闸墩上游一般设计成椭圆曲线,放样前,应根据椭圆方程式计算放样数据,然后根据极坐标法放样。

闸墩各部位的高程的测设,可根据施工现场布置的临时水准点,按高程放样方法在模板内侧标出高程点。但随着墩体的增高,有些部位的高程不能用水准测量法放样时,可用钢卷尺从已浇筑的混凝土高程点上直接丈量放出设计高程。

四、下游溢流面的放样

闸室下游的溢流面通常设计成抛物线,目的是为了减小水流通过闸室的能量,以降低水流对闸室的冲击力(如图 13-10 所示)。

放样步骤如下:

(1) 以闸室下游水平方向为 x 轴,闸室底板下游高程为溢流面的起点(变坡点),也就是坐标系的

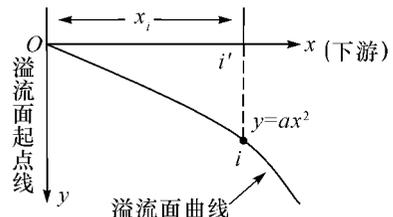


图 13-10

原点,通过原点的铅垂方向为 y 轴建立坐标系。

(2) 由于溢流面的纵剖面是抛物线,所以溢流面上各点的设计高程是不同的。根据设计的抛物线方程式和放样点至溢流面起点的水平距离计算剖面上相应点的高程,即为:

$$H_i = H_0 - y_i \quad (13.8)$$

式中, H_i 为 i 点的设计高程; H_0 为下游溢流面的起始高程,由设计部门给定; y_i 为与坐标原点 O 相距水平距离为 x_i 的 y 值,图中可见, y 值即为高差。 y 为:

$$y_i = ax^2 \quad (13.9)$$

(3) 在闸室下游两侧设置垂直的样板架,根据选定的水平距离,在两侧样板架上作垂线,再用水准仪按放样已知高程点的方法,在各垂线上标出相应点的位置。

(4) 将各高程标志点连接起来,即为设计的抛物面与样板架的交线,该交线就是抛物线。

第三节 隧洞施工放样

一、隧洞施工放样的内容

在水利工程施工中,导流隧洞和引水隧洞是一项重要的内容,在公路、铁路和一些地下工程的建设中,隧洞也是重要的组成部分。隧洞施工测量主要包括以下几个方面:

- (1) 洞外控制测量:在隧洞开挖之前建立洞外平面和高程控制网;
- (2) 洞内外联系测量:将洞外的坐标、方向和高程传递到洞内,建立洞内统一坐标系统;
- (3) 洞内控制测量:隧洞开挖以后建立与洞外测量系统一致的洞内平面与高程控制;
- (4) 隧洞施工测量:根据隧洞设计要求进行放样、指导开挖以及测设衬砌中线及高程测量。

二、隧洞贯通误差

在隧洞施工中,通常采用两个或多个相向或同向的掘进工作面分段掘进隧洞,使其按设计要求在预定地点彼此接通,称为隧洞贯通。由于测量中各项误差的影响,使隧洞在贯通面处产生偏差,称为贯通误差。贯通误差在隧洞中线方向的投影长度称为纵向贯通误差;在垂直于中线方向的投影长度称为横向误差;在高程方向的投影长度称为高程误差。纵向误差只对贯通在距离上有影响,高程误差对坡度有影响。横向误差直接影响隧洞能否贯通,对隧洞质量的影响至关重要,所以应严格控制横向误差。不同的工程对贯通误差的容许值有具体规定。

三、洞外控制测量

洞外控制测量主要是对施工隧洞进行定位、定向和控制,平面控制通常采用导线测量的方法,高程控制测量一般采用水准测量的方法。

(一) 洞外导线测量

在直线隧洞中,为了减少导线量距误差对隧洞横向贯通偏差的影响,应尽可能将导线沿着隧洞中线布设;导线点数应尽可能少,以减少测角误差对横向贯通偏差的影响。对于曲线

隧洞,应沿曲线的切线方向布设,并将曲线的起、终点以及曲线切线上的两点也作为导线点。这样曲线转折点上的总偏角可以根据导线测量结果来计算。导线点应考虑横洞、斜井、竖井的位置,导线点应经过这些洞口,以减少洞口投点。为了增加校验条件,提高导线测量的精度,应尽量布设成闭合或附合导线,也可采用主、副导线闭合环,副导线只测角,既减少工作量,又增加了检核条件。

由于 GPS 定位技术的普及,隧洞洞外平面控制测量中也越来越多地采用 GPS 定位技术。

(二) 洞外水准测量

洞外高程控制测量通常采用水准测量。水准测量的等级,取决于隧洞的长度、隧洞地段的地形情况等,但一般采用三、四等水准测量即可满足精度要求。布设水准点时,在每个洞口至少应埋设两个水准点,水准点之间的高差以安置一次仪器即可联测为宜。水准路线应构成环,或者敷设两条相互独立的水准路线(由已知水准点从一个洞口测至另一端洞口)。

四、洞内外联系测量

为了加快工程进度,隧洞施工中一般增加掘进工作面,通常是在隧洞中线上开凿竖井,将整个隧洞分成几段进行对向开挖。经过竖井将洞内、洞外控制网联系在同一坐标和高程系统所进行的测量工作,称做竖井联系测量,简称联系测量。联系测量包括平面联系测量和高程联系测量。

(一) 平面联系测量

平面联系测量的任务是通过竖井将洞外控制网的坐标和方位角传递到洞内(也叫竖井定向测量或竖井定向),主要有以下两种方法:

1. 穿线法定向

如图 13-11 所示,在竖井井筒中吊两根垂线 A 、 B ,在洞外地面上定出 BA 的延长线,在延长线上定出一点 C ,在洞内定出 AB 延长线上一点 C' , C 、 A 、 B 、 C' 共线。分别在 C 、 C' 安置经纬仪(或全站仪),测出连接角 φ 、 φ' 及 CA 、 AB 、 BC' 的长度。然后根据洞外点 C 的坐标和 DC 的方位角推算洞内点 C' 的坐标和 $C'D'$ 边的方位角。

穿线法操作简单、计算方便,一般适用于精度要求不高的竖井定向。

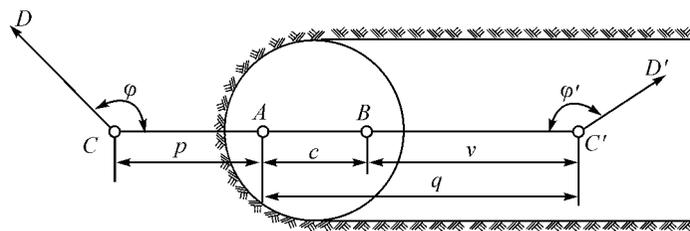


图 13-11

2. 一井定向

如图 13-12a 所示,在井筒内,以垂球自由悬挂两根钢丝 A 、 B 到开挖工作面,由于垂球线 A 、 B 处不能安置仪器,因此,选定井上、井下两个连接点 C 和 C' 安置仪器,从而在井上、井下形成了以 AB 为公用边的狭长三角形 ABC 和 ABC' ,一般把这样的三角形称为连接三

角形。图 13-12b 所示的便是井上、井下连接三角形的平面投影。由图中可看出,当已知 D 的坐标及 DE 的方位角时,在地面观测联系角 δ 、 φ 以及联系三角形 ABC 的一个内角 γ ,丈量地面三角形的边长 a 、 b 、 c ,则可计算出 α 、 β 角,从而推算出 A 、 B 点的坐标及 AB 边的方位角。

同样在地下观测联系角 δ' 、 φ' 以及联系三角形 ABC' 的一个内角 γ' ,丈量地下三角形的边长 a' 、 b' 、 c' ,从而推算出地下控制点 D' 点的坐标及起始边 $D'E'$ 的方位角。

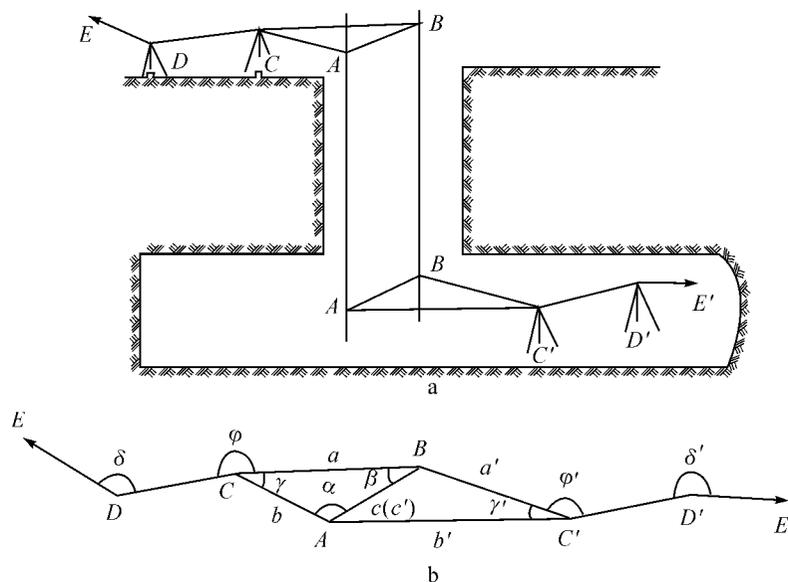


图 13-12

(二) 高程联系测量

高程联系测量是经过竖井将地面控制点的高程传递到地下坑道的测量工作。

对于斜井可采用测距仪三角高程测量或水准测量方法引入高程;而对于竖井,当井深较浅时可采用长钢尺(或钢丝)引入高程。

如图 13-13 所示,钢尺下端挂上一个垂球以拉直钢尺使其处于自由悬挂状态,待钢尺稳定后,分别在井上、井下安置水准仪,在 A 、 B 两点所立的水准尺上分别读取读数 a 、 b ,然后将水准仪照准钢尺同时读取读数 m 、 n ,并测定井上、井下温度 t_1 、 t_2 ,依据上述测量数据,可得 A 、 B 两点之高差为:

$$h = (m - n) + (b - a) + \sum \Delta l \quad (13.10)$$

式中, $\sum \Delta l$ 为钢尺的总改正数,包括尺长、温度、拉力和钢尺自重四项改正数,在无长钢尺时,可将数个短钢尺接起来作为长钢尺使用。

高程联系测量需独立进行两次,加入各项改正数后两次引入高程之差不得超过 $l/8\ 000$ (l 为井深)。

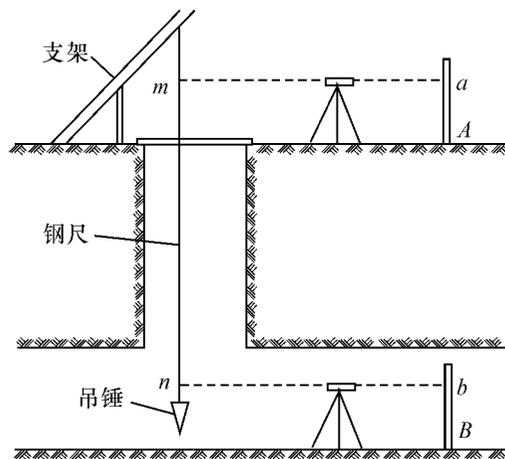


图 13-13

五、洞内控制测量

(一) 洞内导线测量

洞内导线测量的目的是为了建立与地面控制测量统一的坐标系,根据洞内导线的坐标,就可以标定隧洞中线的开挖方向,指导隧洞的开挖及衬砌位置。

洞内导线的起始点通常设在隧洞的洞口、平洞口、斜井口。起始点坐标和起始边方位角由地面控制测量或联系测量确定。

洞内导线是随着隧洞的不断掘进而不断向前布置的,所以开始时只能逐段敷设精度较低的施工支导线,施工导线的边长一般为 20~50m,采用重复观测的方法进行检核。当掘进到一定距离后再敷设精度较高的基本控制导线,导线的边长为 50~100m,基本导线以检查掘进方向,保证隧洞的正确贯通。图 13-14 为洞内导线布置情况。

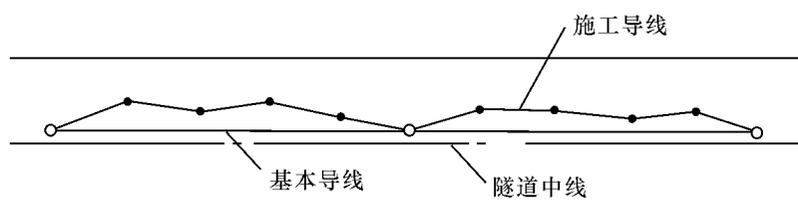


图 13-14

(二) 洞内水准测量

洞内水准测量以洞口水准点的高程作为起始数据,随开挖面的进展而向前延伸不断建立新的水准点。以保证隧洞底部达到设计坡度,在竖向正确贯通。

洞内水准路线与洞内导线相同,在隧洞贯通前,洞内水准路线均为支线,需进行往返观测。一般先布设较低精度的临时水准点,其后再布设较高精度的永久水准点。永久水准点最好按组设置,每组应不少于两个点。各组之间的距离一般为 300~800m。洞内水准测量

可采用三、四等水准测量进行观测。由于隧洞内通视条件差,应把仪器到水准尺的距离控制在 50m 以内。水准尺可直接立于导线点上,以便测出导线点高程。

六、隧洞施工测量

(一) 隧洞中线的标定

隧洞中线的标定一般采用中线法和穿线法。

1. 中线法

中线法是根据洞内导线点的坐标和隧洞中线点的设计坐标计算放样数据,采用极坐标法测设隧洞中线上几个点,由中线点按一般定线方法指示开挖方向。

如图 13-15 所示,设 P_1 、 P_2 为洞内施工导线点, A 和 B 为隧洞中线上的点,用坐标反算公式求出放样数据:边长 s_1 、 s_2 ,水平角 β_A 、 β_B 。在施工导线点 P_2 安置经纬仪(或全站仪),后视施工导线点 P_1 ,拨角 β_A 并沿视线方向测设 s_1 的长度,得到中线点 A 的位置,继续拨角 β_B ,并测设长度 s_2 ,得到中线点 B 的位置, A 和 B 两点的连线方向即为隧洞的开挖方向。

采用全站仪进行坐标放样则更为方便。

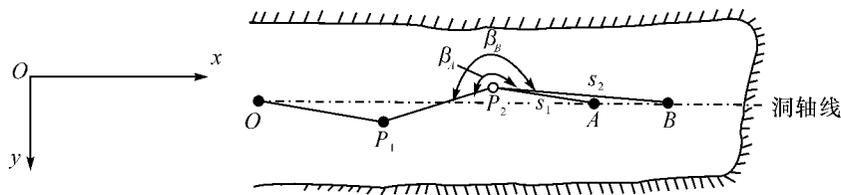


图 13-15

2. 串线法

串线法利用悬挂在洞顶板上 2~3 个中线点的垂球线,直接用肉眼来标定开挖方向(如图 13-16 所示)。先根据洞外已标定的中线方向点 E 和 F ,在 E 点安置经纬仪,照准 F 点,固定照准部,望远镜瞄向洞内,在已开挖的洞内顶板上根据经纬仪视线标定中线点 A 、 B 、 C ,并在 A 、 B 、 C 点上分别悬挂垂球,然后,以三条垂球线为根据,用肉眼标定方向,直接在开挖工作面上标定洞轴线的投影点。

用串线法标定洞中线的误差较大,因此, A 点至开挖面的距离不宜大于 30m,当工作面

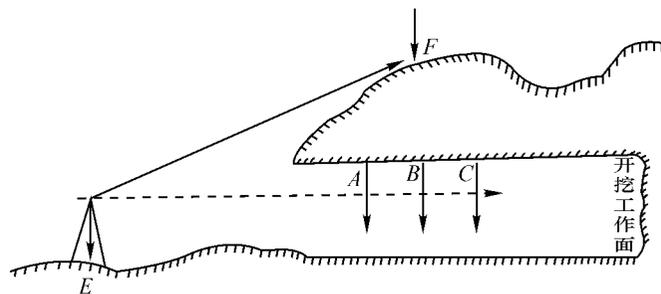


图 13-16

推进后,可用经纬仪将中线点的方向延伸,继续采用中线法指示开挖方向,为保证贯通精度,每掘进 100~200m,应根据洞内施工导线点来检查临时中线点的偏差,及时校正开挖的方向。

(二) 隧洞坡度的标定

为了保证隧洞在垂直方向的贯通和隧洞的坡度符合设计要求,在隧洞施工中,需要定出隧洞的开挖坡度。坡度的测设通常采用腰线法。

测设腰线较精确的方法是用水准仪进行测量,当隧洞坡度较大时,也可用经纬仪。如图 13-17 所示,首先根据洞外水准点的高程和洞口底板的设计高程,用高程放样的方法,在洞口点处测设 M 点,该点是洞口底板的设计高程点,然后,从洞口开始,向洞内测设腰线。

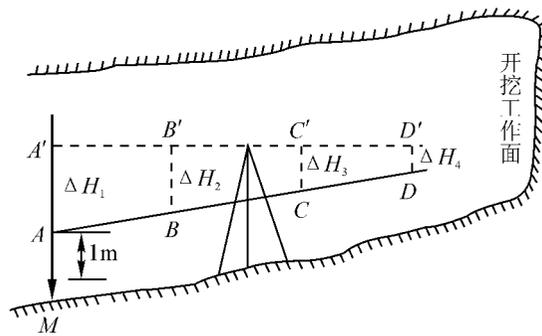


图 13-17

设隧洞口底板的设计高程 H_M 为 150.25m,隧洞底板的设计坡度 i 为 +5‰,腰线距底板的高度为 1.0m,要求每隔 5m 在侧墙上标定一个腰线点。

具体工作步骤如下:

(1) 放样洞底板起点:根据洞口水准点放样洞口底板的高程,得 M 点。

(2) 标定视线高程点:在洞内适当的地方安置水准仪,以 M 点为后视,测量 M 点尺子的读数 a ,设 $a=1.523\text{m}$,若以 M 点桩顶为隧洞设计高程的起算点, a 即为仪器高。从洞口点 M 开始,在两边侧墙上每隔水平距离 5m 用红油漆标定视线高程点 B' 、 C' 和 D' 。

(3) 计算垂距:腰线距底板的高度为 1.0m,所以 $\Delta H_1=1.523-1.0=0.523(\text{m})$,由于洞轴线设计坡度为 +5‰,腰线每隔 5m 升高 $5 \times 5‰=0.025(\text{m})$,所以 $\Delta H_2=1.523-(1+5 \times 5‰)=0.498(\text{m})$, $\Delta H_3=1.523-(1+10 \times 5‰)=0.473(\text{m})$, $\Delta H_4=1.523-(1+15 \times 5‰)=0.448(\text{m})$ 。

(4) 标定腰线点:从洞口点的视线高处向下垂直量取 ΔH_1 ,得洞口处的腰线点 A ,从 B' 、 C' 和 D' 点分别垂直向下量取 ΔH_2 、 ΔH_3 和 ΔH_4 得 B 、 C 和 D 腰线点。用红油漆把 4 个腰线点 A 、 B 、 C 、 D 连为直线,即得洞口附近的一段腰线。同法,可将腰线延伸。

习 题

1. 简述土坝坝身控制测量的方法。

2. 如何放样土坝的清基开挖线？
3. 如何放样坝体边坡线？
4. 如何放样下游溢流面？
5. 隧洞施工放样的主要内容是什么？
6. 如何进行一井定向？
7. 简述标定隧洞中线的方法。
8. 设隧洞口底板的设计标高 H_B 为 65.28m, 隧洞底板的设计坡度 i 为 $+7\%$, 腰线距底板的高度为 1.0m, 要求每隔 5m 在侧墙上标定一个腰线点。试计算测设数据并简述测设方法。

第十四章 工业与民用建筑施工测量

第一节 施工控制测量

建筑施工测量必须遵循“从整体到局部”、“先控制后碎部”的原则,因此在施工前,需要在建筑场地上建立统一的施工控制网。施工控制网主要用于建筑物的施工放样和变形监测。

在勘测阶段所建立的测图控制网,在施工放样时仍可以使用,但勘测阶段所建立的控制网,主要是为满足测图的需要。这时建筑物的设计位置尚未确定,测图控制网无法考虑满足施工的测量要求,而且由于施工现场的施工,原来布置的测图控制点往往会被破坏或因建筑物的修建而无法通视,因此在施工以前,应在建筑场地重新建立施工控制网,以供建筑物施工阶段和运行管理阶段使用。

相对于测图控制网来说,施工控制网具有控制范围小、精度要求高、控制点密度大、使用频繁等特点。

施工控制网分为平面控制网和高程控制网。

一、平面控制网

施工控制网一般布设成正方形或矩形的网格,称为建筑方格网。当建筑物的结构比较简单时只需布设一条或几条基线作为平面控制,即建筑基线。当建筑物比较复杂时,可布设成导线。

(一) 施工坐标系与测图坐标系的转换

施工坐标系(也称建筑坐标系)是供建筑物施工放样时使用的直角坐标系,其坐标轴与建筑物的主轴线一致或平行。当施工坐标系与测量坐标系不一致时,两者之间需要进行坐标换算。

如图 14-1 所示:设 x_0y_0 为测量坐标系, $x'_0y'_0$ 为施工坐标系, x_0, y_0 为施工坐标系的原点在测量坐标系中的坐标, α 为施工坐标系的纵轴在测量坐标系中的方位角。设施工坐标系中 P 点的坐标为 (x'_p, y'_p) ,则可按下式将其换算为测量坐标 (x_p, y_p) :

$$\left. \begin{aligned} x_p &= x_0 + x'_p \cos\alpha - y'_p \sin\alpha \\ y_p &= y_0 + x'_p \sin\alpha + y'_p \cos\alpha \end{aligned} \right\} \quad (14.1)$$

若已知 P 点的测量坐标,则可按下式将其换算为施工坐标。

$$\left. \begin{aligned} x'_p &= (x_p - x_0) \cos\alpha + (y_p - y_0) \sin\alpha \\ y'_p &= -(x_p - x_0) \sin\alpha + (y_p - y_0) \cos\alpha \end{aligned} \right\} \quad (14.2)$$

(二) 建筑方格网

1. 建筑方格网的设计

建筑方格网的布设方案应根据建筑物设计总平面图上的建(构)筑物、道路及各种管线的布设情况,并结合现场的地形情况拟定。设计时先选定建筑方格网的主轴线,后设计其他方格点。方格网可设计成正方形或矩形,当场区面积较大时,常分两级。首级可采用“十”字形、“口”字形或“田”字形,然后再加密方格网(如图 14-2 所示)。当场区面积不大时,可布置成全面网。

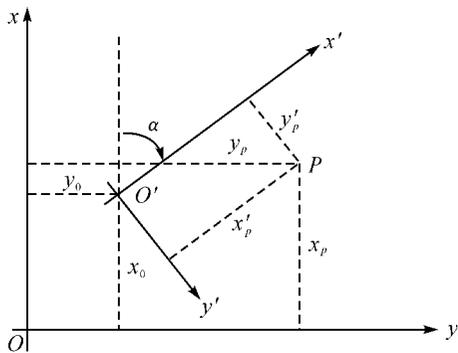


图 14-1

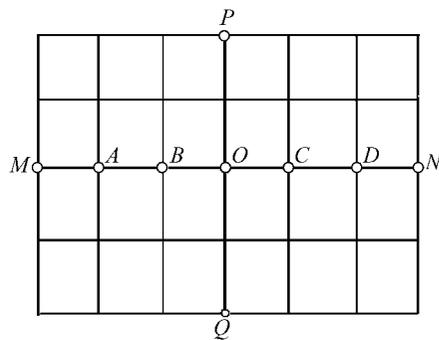


图 14-2

方格网布设时应考虑以下几点:

- (1) 方格网的主轴线应布设在场区的中部,并与拟建主要建筑物的基本轴线平行。主轴线的定位点应不少于 3 个,有一个应是纵、横轴线的交点。
- (2) 方格网的边长一般为 100~200m,并尽可能为 50m 的整数倍,边长的相对精度一般为 1/10 000~1/20 000。
- (3) 纵横轴线要正交,交角为 90° ,纵、横轴线的长度以能控制整个建筑场地为度。
- (4) 方格网的边长应保证通视且便于测距和测角,放样后的主轴线点位应进行角度测量,检查直线度,测定交角的测角中误差,不应超过 $2.5''$,直线度的限差应在 $180^\circ \pm 10''$ 以内。

2. 建筑方格网主轴线的测设

建筑方格网主轴线的点位是根据测图控制点来测设的。首先应将测图控制点的测量坐标换算成施工坐标。

如图 14-3 所示, M_1 、 M_2 、 M_3 为测量控制点, A 、 O 、 B 为主轴点。用坐标反算算出放样元素 β_1 、 d_1 、 β_2 、 d_2 、 β_3 、 d_3 ,然后用极坐标法放出三主点的概略位置 A' 、 O' 、 B' ,并标定下来。

由于存在误差,致使三点不在同一条直线上(如图 14-4 所示),因此在中间点 O' 安置经纬仪(或全站仪),精确测定 β 角。如果它和 180° 之差不超过 $\pm 10''$,则认为此三点成一条直线;否则,应进行调整。调整时,各主轴线点应在 A 、 O 、 B 的垂线方向移动同一改正值 δ ,使三点成一条直线。

$$\delta = \frac{ab}{2(a+b)} \frac{1}{\rho} (180^\circ - \beta) \quad (14.3)$$

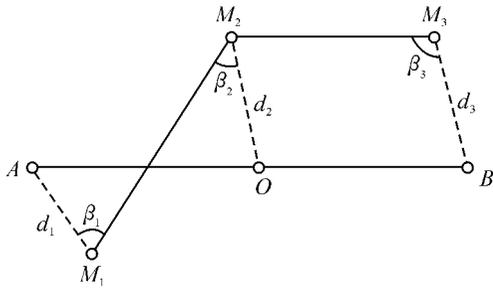


图 14-3

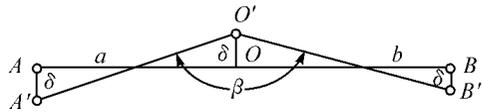


图 14-4

式(14.3)中, a 为 OA 的长度, b 为 OB 的长度。

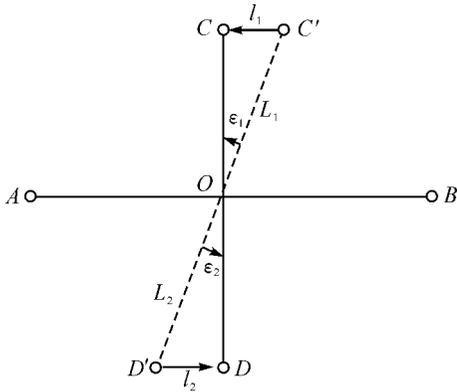


图 14-5

定好 A 、 O 、 B 三个主点后(如图 14-5 所示), 将仪器安置在 O 点, 瞄准 A 点, 分别向左、右转 90° , 测设出另一主轴线 COD , 同样定出其概略位置 C' 和 D' , 再精确测出 $\angle AOC'$ 和 $\angle AOD'$, 分别算出它们与 90° 之差 ϵ_1 和 ϵ_2 , 并计算出改正值 l_1 和 l_2 , 调整 C' 、 D' 的位置。

$$l_i = L_i \frac{\epsilon''}{\rho''} \quad (14.4)$$

式中, L_i 是 OC' 或 OD' 的距离。

C 、 D 两点定出后, 还应观测改正后的 $\angle COD$, 它与 180° 之差也应在限差范围之内。然后精密丈量出 OA 、 OB 、 OC 、 OD 的距离, 若超过限差, 应进行

调整, 最后标出各点点位。

3. 建筑方格网的详细测设

主轴线测设好后, 分别在主轴线端点上安置仪器, 均以 O 点为起始方向, 分别向左、右测设出 90° 角, 这样就交会出田字形方格网点。为了进行校核, 还要安置仪器于方格网点上, 测量其角值是否为 90° , 并测量各相邻点间的距离, 看它是否与设计边长相等, 误差均应在允许范围之内。此后再以基本方格网点为基础, 按测角交会或导线测量的方法加密方格网中其他各点。

(三) 建筑基线

建筑基线是施工控制的基准线。通常建筑基线可布置成直线形、L 字形、十字形和 T 字形(如图 14-6 所示)。建筑基线应靠近建筑物并与其主要轴线平行, 建筑基线主点间应相互通视, 边长为 $100 \sim 400\text{m}$, 基线点应不少于三个, 点位应便于保存。建筑基线的测设方法一般采用直角坐标法。基线点间距离与设计值相比较, 其不符值不应大于 $1/10\,000$, 否则应进行必要的点位调整。

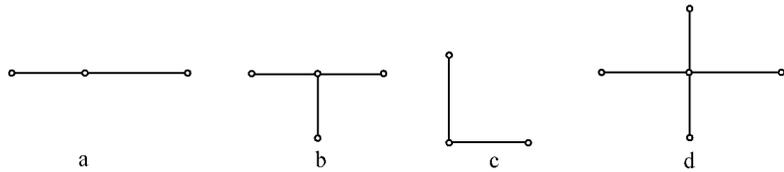


图 14-6

二、高程控制测量

建筑场地上的高程控制采用水准网,一般布设成两级,首级为整个场地的高程基本控制,应布设成闭合路线,尽量与国家水准点联测,水准点应布设在不受施工影响、无振动、易于永久保存的地方,并埋设成永久性标志。以首级控制为基础,布设成闭合、附合水准路线的加密控制,加密点的密度应尽可能满足安置一次仪器即可测设出所需的高程点,其点可埋设成临时标志,也可在方格网点桩面上中心点旁边设置一个突出的半球标志。

在一般情况下,首级网采用四等水准测量方法建立,而对连续生产的车间、下水管道或建筑物间高差关系要求严格的建筑场地上,则需采用三等水准测量的方法测定各水准点的高程。加密水准网根据测设精度的不同要求,可采用四等水准或图根水准的技术要求进行施测。

第二节 民用建筑施工测量

民用建筑施工测量,就是按照设计要求,将民用建筑物的平面位置和高程标定在实地上的测量工作。民用建筑可分为单层、多层和高层,由于其结构特征不同,放样方法也不相同,但放样过程基本相同。

民用建筑的施工测量主要包括建筑物的定位、建筑物细部轴线测设、基础施工测量及主体施工测量。

一、建筑物的定位测量

建筑物的定位测量就是在实地标定建筑物图廓主要轴线的�作。

根据施工现场情况及设计条件,建筑物的定位可采用以下几种方法:

(一) 根据施工现场已有测量控制点测设

当建筑物附近有导线点、三角点等已知测量控制点时,可根据已知控制点和建筑物各角点的设计坐标(总平面设计图上标注或直接从总平面图上量取)。用极坐标法或角度交会法测设建筑物的位置。

(二) 根据建筑方格网测设

如建筑场区内布设有建筑方格网,可根据附近方格网点和建筑物角点的设计坐标用直角坐标法测设建筑物的位置。

(三) 根据建筑红线测设

建筑用地要经规划部门审批并由土管部门在现场直接放样出来。建筑用地边界点的连

线称为建筑红线(也叫规划红线)。各种房屋建筑必须建造在建筑红线的范围之内与建筑红线相隔一定距离的地方,放样时,也就根据实地已有的建筑用地边界线(建筑红线)来测设。

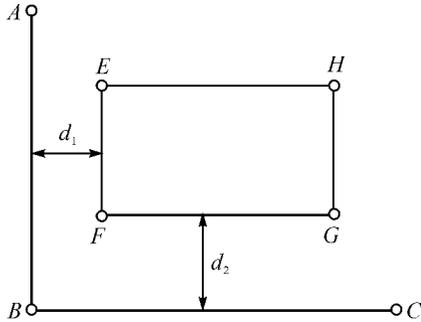


图 14-7

如图 14-7 所示, A 、 B 、 C 为建筑用地边界点, E 、 F 、 G 、 H 为拟建房屋角点, 建筑物与建筑红线之间的设计距离分别为 d_1 、 d_2 , 这时就可根据 A 、 B 、 C 的已知坐标及 E 、 F 、 G 、 H 的设计位置用直角坐标法来测设 E 、 F 、 G 、 H 的实地位置。

有时, 建筑红线与建筑物边线不一定平行或垂直, 这时可用极坐标法、角度交会法或距离交会法来测设。

(四) 根据与现有建筑物的关系测设

在建筑区进行改建、扩建建筑物或新建建筑物时, 一般设计图上都绘出了所建建筑物与附近原有建筑物的相互关系。此时, 可以根据两者之间的关系测设。测设方法可根据两者之间的具体情况采用极坐标法、方向线交会法和直角坐标法等。

建筑物定位后, 应进行检核, 并经规划部门验线, 才能进行施工。

如图 14-8 所示的几个例子, 图中绘有斜线的是现有建筑物, 没有斜线的是新设计的建筑物。

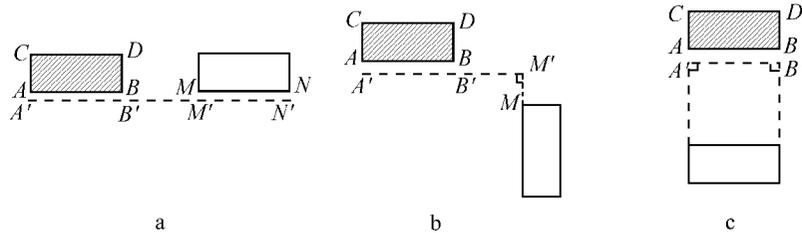


图 14-8

二、建筑物细部轴线的测设

建筑物的细部轴线测设就是根据所测设的轴线角点桩(简称角桩)详细测设建筑物各轴线的交点桩(或称中心桩)。建筑物定位后, 由于施工时基础的开挖, 各角桩及中心桩均要被破坏。为恢复各轴线的位置, 在挖槽前要把各轴线引测到开挖范围以外安全的地方, 引测的方法一般采用龙门板法和轴线控制桩。

(一) 龙门板的设置

在建筑物施工时, 沿房屋四周钉立的木桩叫龙门桩。钉在龙门桩上的木板叫龙门板。龙门桩应钉设在基槽开挖以外约 $1.0 \sim 1.5\text{m}$ 处。龙门桩要钉得牢固、竖直, 桩的外侧面应与基槽平行。

将建筑物室内(或室外)地坪的设计高程称为地坪标高。设计时常以建筑物底层室内地

坪标高为高程起算面,也称“ ± 0 标高”。将建筑物 ± 0 标高线测设到每个桩上。把龙门板的顶面对准龙门桩上 ± 0 标高线,再将其钉在桩上,龙门板的顶面高程为 ± 0 标高。龙门板钉好后,将经纬仪安置在角桩上,瞄准另一角桩,根据视线方向将轴线投影在龙门板上,并钉小钉表示,称为轴线钉。

龙门板应注记轴线编号。龙门板使用方便,但占地大,在机械化施工时,一般设置控制桩。

(二) 控制桩的设置

就是在轴线延长线上测设轴线控制桩。如果附近有已建的建筑物也可将轴线投设在建筑物的墙上,并用红三角“ \blacktriangle ”来标记。

三、基础施工测量

建筑物 ± 0 以下部分称为建筑物的基础。目前应用最为普遍的是桩基础(如图 14-9 所示)。桩基础的作用在于将上部建筑结构的荷载传递到深处承载力较大的持力层中。

桩基础施工中的测量工作主要有:桩的平面位置的测设、灌入深度的测设。

(一) 桩位的测设

根据轴线控制桩或龙门板上的轴线钉,将建筑物各轴线投测到地面上,经轴线检查无误后,再根据桩位平面图测设每个轴线上各桩的平面位置。由于桩机移动时,会破坏地面上钉设的木桩,通常可采用在桩位上用钢钎打约 200~500mm 深的孔,在孔中灌入白灰以保存桩位。在测设时,要标注桩位的尺寸。

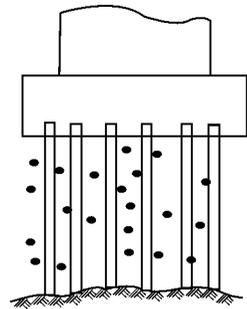


图 14-9

(二) 灌入深度的测设

根据施工场地上已测设的 ± 0 标高,测定桩位的地面标高,通过桩顶设计标高、设计桩长即可计算出该桩应灌入的深度。

四、主体施工测量

建筑物主体施工测量的主要任务是将建筑物的轴线及标高正确地向上引测。随着高层建筑越来越多,这项测量工作显得非常重要。

(一) 楼层轴线投测

建筑物轴线测设的目的是保证建筑物各层相应的轴线位于同一竖直面内。建筑物的基础工程完工后,用经纬仪将建筑物主轴线及其他中心线精确地投测到建筑物的底层。投测建筑物的主轴线时,应在建筑物的底层或墙的侧面设立轴线标志,以供上层投测之用。轴线投测方法主要有:经纬仪投测法、激光铅垂仪投测法等。

1. 经纬仪投测法

经纬仪投测法:将经纬仪安置于定位主轴线的控制桩或引桩上,用盘左、盘右位置分别照准主轴线标志,仰起望远镜,向楼板或柱边缘投测轴线,并取盘左、盘右两个盘位投测的中点为结果,即为所投测主轴线上的一点。

同法,在建筑物另一侧投测另一主轴线点,两点的连线即为楼层的定位主轴线。

2. 激光铅垂仪投测法

激光铅垂仪是将激光束导至铅垂方向用于竖向准直的一种仪器,使用时,将激光铅垂仪安置在底层辅助轴线的预埋标志上,当激光束指向铅垂方向时,只需在相应楼层的垂准孔上设置接收靶即可将轴线从底层传至高层。

利用激光铅垂仪投测高层建筑物轴线,使用较方便,且速度快、精度高。由于激光的方向性好、发散角小、亮度高等特点,激光铅垂仪在高层建筑的施工中得到了广泛的应用。

(二) 楼层标高传递

楼层高程的传递通常使用水准测量法和全站仪测高法。

1. 水准测量法

水准仪传递标高方法同第十二章第二节“空间点高程的测设”方法。

2. 全站仪测高法

使用全站仪,利用三角高程测量的方法,将地面上已知点的高程传递到各楼层上,再测量出各楼层的标高。

第三节 工业厂房施工测量

工业厂房由于层数、跨度和结构不同,施工方法也不同。目前,使用较多的是金属结构及装配式钢筋混凝土结构单层厂房,其施工放样的主要工作包括厂房柱列轴线测设、基础施工测量、构件安装测量及设备安装测量等。

一、厂房柱列轴线的测设

对于结构简单的厂房可以采用民用建筑施工放样的方法测设,对于大型的、结构复杂的厂房一般根据厂房矩形控制网来测设。

图 14-10 为一单跨、六列柱子的厂房柱列平面图。测定厂房矩形控制网后,即可根据施工图上设计的柱间距和跨度,用钢尺沿矩形控制网各边采取内分法测设出各柱列轴线控制桩的位置(如图 14-10 所示), $1-1'$ 、 $2-2'$ 、 $3-3'$ 、 \dots 、 $E-E'$ 、 $F-F'$,这些轴线共同构成了厂房细部测设和施工的依据。

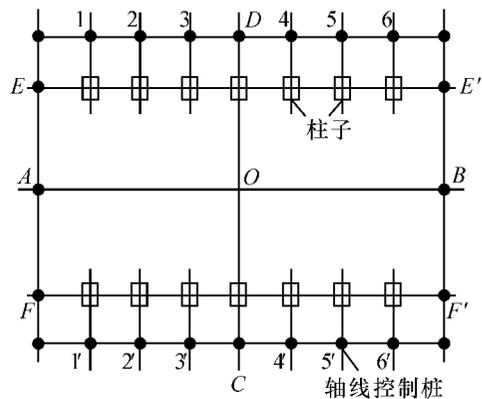


图 14-10

二、基础施工放样

(一) 柱基放线

根据柱轴线控制桩定出各柱基的位置,设置基坑开挖的边线并用白灰标定出来以便开挖。

(二) 基坑整平

当基坑挖到一定深度后,在坑壁四周离坑底的设计高程 $0.3\sim 0.5\text{m}$ 处设置几个水平桩

作为基坑修理和清底的标高依据。并在坑底设置垫层桩,使桩顶为垫层设计高程(如图 14-11 所示)。

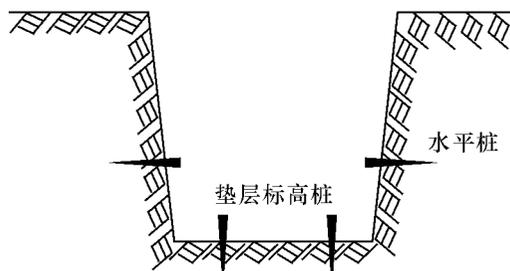


图 14-11

三、构件安装测量

构件安装测量主要包括柱子安装测量、吊车梁安装测量、吊车轨道安装测量。

(一) 柱子安装测量

柱子安装测量的精度要求:

- (1) 柱脚中心线应对准柱列轴线,其偏差不得超过 $\pm 5\text{mm}$ 。
- (2) 牛腿面高程与设计高程一致,其误差不得超过 $\pm 5\text{mm}$ 。
- (3) 柱子的垂直度,其偏差不得超过 $\pm 3\text{mm}$,当柱高大于 10m 时,垂直度可放宽。

在柱子吊装前,应根据轴线控制桩将柱列轴线投测到基础顶面上,并且用红油漆标出“▲”标记(如图 14-12 所示)。同时在杯口内壁测设一条距杯底的设计高为一个整分米的标高线,并在柱子的侧面弹出柱中心线。吊装时,柱子插入基础杯口内后,使柱子上的轴线与基础上的轴线对齐,用两架经纬仪分别安置在互相垂直的两条柱列轴线附近,对柱子进行竖直校正(如图 14-13 所示)。校正方法是:经纬仪安置在离柱子的距离约为 1.5 倍柱高处。先瞄准柱脚中线标志“▲”,固定照准部并逐渐抬高望远镜,若柱子上部的标志“▲”在视线上,则说明柱子在这一方向上是竖直的。否则,应进行校正,使柱子在两个方向上都满足铅直度要求。

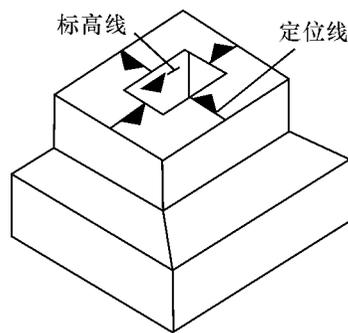


图 14-12

在实际工作中,常把成排柱子都竖起来,这时可把经纬仪安置在柱列轴线的一侧,使得安置一次仪器就能校正。

校正用的经纬仪必须经过严格的检查和校正,照准部水准管气泡要严格居中,要避免日照影响校正精度,校正最好在阴天或早晨进行。

柱子的垂直度校正好后,要检查柱中心线是否仍对准基础定位线。

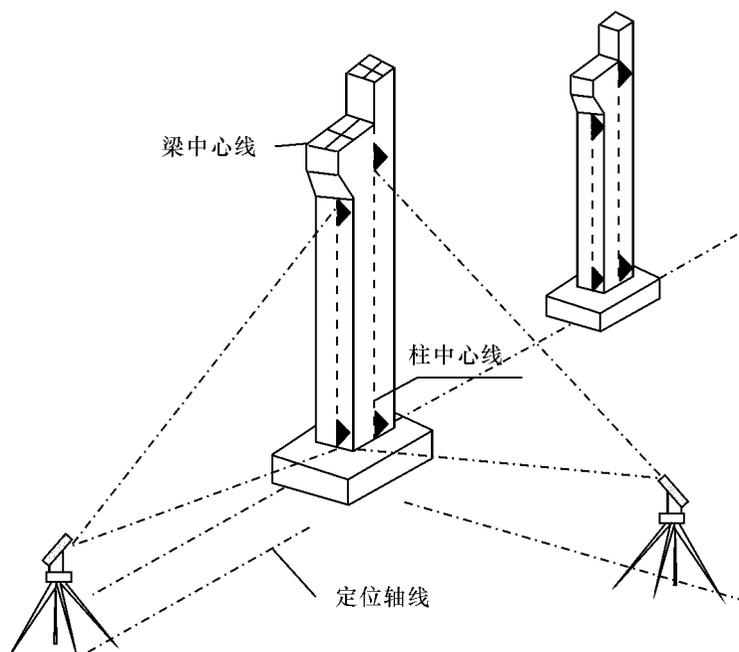


图 14-13

(二) 吊车梁安装测量

吊车梁安装前,先弹出吊车梁顶面中心线和两端中心线,并在一端安置经纬仪瞄准另一端,将吊车轨道中心线投测到牛腿面上,并弹以墨线。吊装时,使吊车梁端中心线与牛腿面上的中心线对齐。吊装完成后,应检查吊车梁面的标高,可先在地面上安置水准仪,将+500mm 标高线测设在柱子侧面上,再用钢尺从该线起沿柱子侧面向上量出至梁顶面的高度,检查梁面标高是否正确。然后在梁下用铁板调整梁面高程,使之符合要求。

(三) 吊车轨道的安装测量

这项工作主要是将吊车轨道中心线投测到吊车梁上,由于在地面上看不到吊车梁的顶面,通常采用平行线法。

如图 14-14 所示,首先在地面上从吊车轨道中心线向厂房中心线方向量出长度 $a(1\text{m})$,

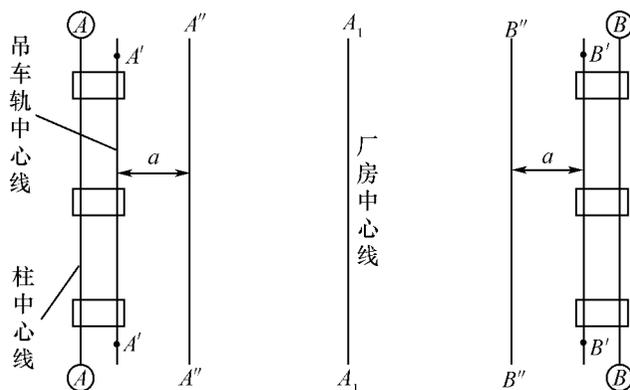


图 14-14

得平行线 $A''A''$ 和 $B''B''$ 。然后安置经纬仪于平行线的一端点 $A''(B'')$, 瞄准另一端点 $A''(B'')$, 固定照准部, 仰起望远镜投测。此时另一人在梁上移动横放的小木尺, 当 1m 刻划线对准视线时, 木尺的零刻划线与梁面的中心线应该重合。如不重合应予以改正, 可用撬杠移动吊车梁, 使梁中心线与 $A''A''(B''B'')$ 的距离为 1m。

吊车轨道按中心线就位后, 再将水准仪安置在吊车梁上, 水准尺直接放在轨道面上, 根据柱子上的标高线, 每隔 3m 检测一点轨面标高, 并与其设计标高比较, 误差应在 $\pm 3\text{mm}$ 以内。还要用钢尺检查两吊车轨道间的跨距, 与设计跨距相比, 误差不得超过 $\pm 5\text{mm}$ 。

第四节 建筑物的变形观测

为保证建筑物在施工、使用和运行中的安全, 常要对建筑物进行变形观测。变形观测的目的主要是测定建筑物的变形值, 监测建筑物施工和运营期间的稳定性并且根据观测的位移数据, 分析其变形原因, 总结变形规律, 同时积累技术资料, 为以后同类建筑物的设计和施工积累经验。变形观测的内容主要包括: 沉降观测、水平位移观测、倾斜观测和裂缝观测等。

一、沉降观测

建筑物在垂直方向上的位移称为沉降。建筑物上能反映建筑物沉降的点称为沉降观测点(简称观测点)。测定观测点的高程随时间而变化的工作叫沉降观测。

(一) 水准点和沉降观测点的布设

为了测定观测点的沉降, 在建筑物附近, 既便于观测, 又比较稳定的地点埋设工作基点。至于工作基点本身的高程是否发生变化, 要由离建筑物较远的水准基点来检测。水准基点是沉降观测的基准点, 它本身应具有一定的稳定性, 为了保证水准基点高程的正确性和便于检核, 水准基点一般不得少于三个。水准基点必须设置在沉降范围以外, 埋设在原状土层(至少在冻土层以下 0.5m) 或基岩上。水准基点和观测点之间的距离应适中, 相距太远会影响观测精度, 相距太近又会影响到水准点的稳定性, 通常水准基点和观测点之间的距离以 60~100m 为宜。

进行沉降观测的建(构)筑物上应埋设沉降观测点。观测点数量和位置应能全面反映建筑物的沉降情况。建筑物的四角、柱子和设备基础、沉降缝两侧、基础形状和地质条件变化处都应设点, 此外还需沿建筑物外墙每 10~15m 布设一点, 或每隔 2~3 根柱子的柱基上布设一点。常见的观测点如图 14-15 所示, 图 14-15a 为墙身和柱上的观测点, 图 14-15b 为基础上的观测点。

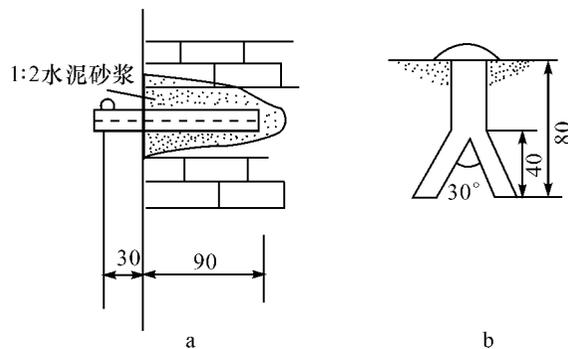


图 14-15

(二) 沉降观测的一般规定

1. 观测周期

沉降观测的时间和次数应根据工程的性质、工程的进度和地基情况等决定。首次观测应在观测点埋设稳固后、建(构)筑物主体开工前进行,首次观测的高程值是以后各次观测数据的比较依据,因此,精度要求较高,一般用精密水准测定。

在建筑物主体施工过程中,一般每浇筑 1~2 层观测一次;建筑物竣工后,应进行连续观测,按沉降量的大小和速度确定观测周期,一般每月观测一次,如果沉降速度减缓,可改为 2~3 个月观测一次,以后观测周期可根据建筑物沉陷的具体情况而定。

2. 观测方法

沉降观测一般采用一、二、三等水准测量的方法。对于多层建筑物的沉降观测,可采用 S₃ 级水准仪用普通水准测量方法进行;对于精密设备及其厂房、高层建筑物的沉降观测,则应采用二等水准测量方法进行。为了保证精度,观测时视线长度一般不超过 50m,前后视距要尽量相等。

3. 沉降观测的工作要求

沉降观测是一项较长期的连续观测工作,为了保证成果的正确性,应尽可能做到固定观测人员,固定观测仪器,使用固定的水准基点,按规定的日期、方法及既定的路线、测站进行观测。

(三) 沉降观测成果整理

每次观测之后,应检查记录中的数据和计算是否准确,精度是否合格,然后计算各沉降观测点的高程。最后将观测点的高程、观测日期和荷载情况记入沉降量统计表。并计算相邻两次观测之间的沉降量和累计沉降量,为了更清楚地表示建筑物的沉降情况,需要画出各沉降观测点的沉降、荷载、时间关系曲线图。

二、水平位移观测

建筑物的平面位置随着时间而移动叫建筑物的水平位移。常用观测水平位移的方法有:基准线法、极坐标法、前方交会法等。下面说明基准线法观测水平位移的基本方法。

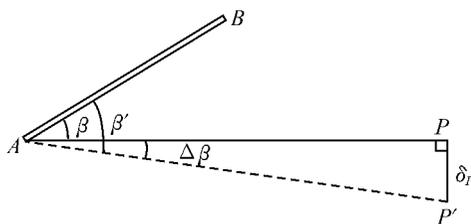


图 14-16

有些建筑物只要求测定某特定方向上的位移量,如大坝在水压力方向上的位移量,这种情况可采用基准线法进行水平位移观测。观测时,先在位移方向的垂直方向上建立一条基准线(如图 14-16 所示),A、B 为控制点,P 为观测点。

只要定期测量出观测点 P 与基准线 AB 的角度变化值 $\Delta\beta$,其位移量可按下列式计算:

$$\delta_P = D_{AP} \frac{\Delta\beta'}{\rho''} \quad (14.5)$$

式中, D_{AP} 为 A、P 两点的水平距离。

采用极坐标法时,其边长应采用电磁波测距仪或钢尺精密量距,采用测角前方交会法时,交会角应在 $60^\circ \sim 120^\circ$ 之间,最好采用三点交会。

三、倾斜观测

测量建筑物倾斜率随时间而变化的工作叫倾斜观测。一般在建筑物立面上设置上、下两个观测标志,通过测定两个标志的高差 h 和两个标志中心位置的水平距离 D 来计算倾斜率。即:

$$i = \frac{\Delta h}{D} \quad (14.6)$$

倾斜观测常用的方法有以下几种。

(一) 水准仪观测法

建筑物的倾斜观测可以利用在精密水准仪进行沉降观测的基础上进行,计算一段时期基础两标志点的沉降量之差 Δh ,再根据两点间的距离水平 D ,即可计算出基础的倾斜度 i 。如果知道建筑物的高度 h ,则可计算出建筑物顶部的倾斜位移值 δ 为:

$$\delta = ih = \frac{\Delta h}{D} h \quad (14.7)$$

(二) 经纬仪投点法

用经纬仪把上标志中心投影到下标志附近,量取它与下标志中心的距离,即得倾斜值。具体方法是:

如图 14-17a 所示,在离建筑物大于 1.5m 墙高的地方 M 点安置经纬仪,瞄准墙上观测点 A ,放平望远镜,在墙面上投设出与 A 点位于同一铅垂面内的 A' 点,做好标记,并测出 AA' 的高差 h 。然后将经纬仪移到与原观测方向大约成 90° 角的方向上。同法,投得 A'' 点。则 $A'A''$ 即为 A 点的倾斜位移值。 A' 、 A'' 两点连线的倾斜度为:

$$i = \frac{A'A''}{h} \quad (14.8)$$

如图 14-17b 所示,如果将 A 点选在建筑物某个拐角的棱上,分别在建筑物两个墙面延长线上的 M 、 N 两点安置经纬仪进行上述观测,以 MA' 方向为 x 轴, NA' 方向为 y 轴,则可得建筑物在这两个方向的倾斜位移值 δ_y 、 δ_x ,若建筑物两墙面互相垂直,则建筑物该角顶部的总倾斜量 δ 为:

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \quad (14.9)$$

相对于 x 轴正向的倾斜方向方位角 θ 为:

$$\theta = \arctan \frac{\delta_y}{\delta_x} \quad (14.10)$$

若建筑物两墙面不垂直,则可根据其夹角合成总倾斜量和倾斜方向。

(三) 小角法

用经纬仪测出上、下两标志中心的水平角 β ,由于倾斜值一般不会太大,所以水平角值很小,根据经纬仪到标志的水平距离 D ,即可推算出经纬仪视线垂直方向的倾斜值 ΔD :

$$\Delta D = \frac{\beta}{\rho} D \quad (14.11)$$

(四) 前方交会法

用前方交会法测量上、下两处水平截面中心的坐标,从而推算独立建筑物在两个坐标轴方向的倾斜值。这种方法常用于水塔、烟囱和高耸建筑物的倾斜观测。

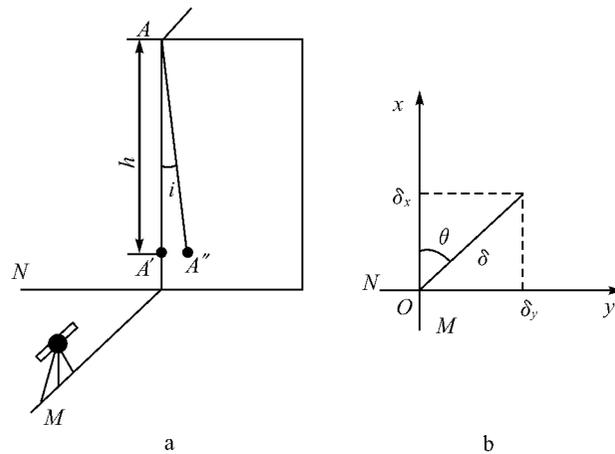


图 14-17

四、裂缝观测

测定建筑物上裂缝的长度、宽度、深度的观测叫裂缝观测。为了观测裂缝的发展变化,需要在裂缝处设置标志,常用的标志有石膏板标志和白铁皮标志。

下面介绍白铁皮标志的裂缝观测方法。具体方法是:用两块大小不同的矩形白铁皮,使其边缘相互平行,部分重叠地分别固定在裂缝两侧。固定后,将白铁皮的端线相互投到另一块的表面上,用红油漆画成“▲”标记(如图 14-18 所示)。如果裂缝继续发展,则白铁皮端线与“▲”标记逐渐离开,定期量取两组端线与标记之间的距离,并取其平均值,即为裂缝在某段时间内的发展情况。

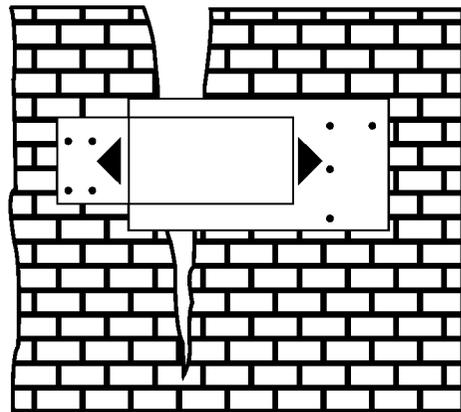


图 14-18

第五节 竣工测量

由于建(构)筑物在施工过程中设计的变更等原因,设计总平面图与竣工总平面图一般不会完全一致。为了确切地反映工程竣工后的现状,为工程验收和以后的管理、维修、扩建、改建及事故处理提供依据,需要及时进行竣工测量并编绘竣工总平面图。

一、竣工测量

在每项工程完成后,必须由施工单位进行竣工测量,提供工程的竣工测量成果,作为编制竣工总平面图的依据。竣工测量主要是测定许多细部点的坐标和高程,因此图根点的布

设密度要大一些,细部点的测量精度要高一些,一般应精确到厘米。

竣工测量时,应采用与原设计总平面图相同的平面坐标系统和高程系统,竣工测量的内容应满足编制竣工总平面图的要求。

二、竣工总平面图的编绘

(一) 绘制前的准备工作

(1) 编绘竣工总平面图前,应收集汇编相关的重要资料,如设计总平面图、施工图及其说明、设计变更资料、施工放样资料、施工检查测量及竣工测量资料等。

(2) 竣工总平面图的比例尺、图幅大小、图例符号及注记应与原设计图一致,原设计图没有的图例符号,可使用新的图例符号。

(3) 绘制图底坐标方格网:为能长期保存竣工资料,应采用质量较好的聚酯薄膜等优质图纸,在图纸上精确地绘出坐标方格网或购买印制好的方格网,按“测图前的准备工作”中的要求进行检查,合格后方可使用。

(4) 展绘控制点:以图底上绘出的坐标方格网为依据,将施工控制网点按坐标展绘在图上。相邻控制点间距离与其实际距离之差,应不超过图上 0.3mm。

(5) 展绘设计总平面图:在编绘竣工总平面图之前,应根据坐标格网,先将设计总平面图的图面内容按其设计坐标,用铅笔展绘于图纸上,作为底图。

(二) 竣工总平面图的编绘

竣工测量后,应提供该工程的竣工测量成果。若竣工测量成果与设计值之差不超过所规定的定位容许误差时,按设计值编绘;否则应按竣工测量资料编绘。

编绘时,将设计总平面图上的内容按设计坐标用铅笔展绘在图纸上,以此作为底图,并用红色数字在图上表示出设计数据。每项工程竣工后,根据竣工测量成果用黑色绘出该工程的实际形状,并将其坐标和高程标注在图上,黑色与红色之差即为施工与设计之差。随着施工的进展,逐步在底图上将铅笔线绘成黑色线。经过整饰和清绘,即成为完整的竣工总平面图。

三、竣工总平面图的附件

为了全面反映竣工成果,便于管理、维修和日后的扩建或改建,下列与竣工总平面图有关的一切资料,应分类装订成册,作为竣工总平面图的附件保存。

- (1) 建筑场地及其附近的测量控制点布置图及坐标与高程一览表;
- (2) 建筑物或构筑物沉降及变形观测资料;
- (3) 建筑场地原始地形图及设计变更文件资料;
- (4) 工程定位、检查及竣工测量资料。

习 题

1. 为什么要建立施工控制网?
2. 施工坐标系的坐标与测量坐标系的坐标应如何进行换算?
3. 施工平面控制测量有几种形式?布设建筑方格网时应遵循什么原则?

-
4. 建筑物的定位测量有几种方法？简述其各种方法。
 5. 设置龙门板的作用是什么？如何设置？
 6. 简述楼层投测的几种方法。
 7. 建筑物变形观测的目的是什么？
 8. 建筑物变形观测的内容有哪些？
 9. 沉降观测的一般规定是什么？
 10. 简述倾斜观测的几种方法。
 11. 为什么要进行竣工测量？
 12. 如何编绘竣工总平面图？

第十五章 线路测量

第一节 线路测量工作概述

线路测量包括渠道、公路、铁路、输电线路以及供水、供气、输油等各种用途的管道工程测量工作。各种线路测量的程序和方法大致相同。

线路测量工作贯穿于线路工程建设的全过程,从线路的规划设计、勘测设计、工程施工到线路竣工后的运营管理,每一阶段都有相应的测量工作。线路测量在各个阶段的工作内容为:

(1) 规划阶段:收集区域内各种比例尺地形图、断面图和有关资料。必要时,可测绘中比例尺的地形图,以便在图上规划线路方案。

(2) 勘测设计阶段:大比例尺的带状地形图的测绘,沿规划线路进行平面控制测量和高程控制测量工作,在实地标定中线以及进行纵、横断面测量。

(3) 施工阶段:主要是根据施工设计图纸及有关资料进行施工放样工作。

(4) 工程竣工运营管理阶段:主要是竣工验收、测绘竣工平面图和断面图,还要监测工程的运营状况,评价工程的安全性。

其中,勘测设计阶段的测量任务最集中,一般又分为初测和定测。初测,就是在所选定的规划线路上进行控制测量和带状地形图的测绘,为线路的设计提供有关资料;定测,是将设计线路中线标定到实地的测量工作,以便为工程施工提供依据。定测的主要工作内容有:中线测量、纵断面测量和横断面测量,本章着重加以介绍。

第二节 中线测量

中线测量是把路线设计的中线位置在实地标定出来。中线测量的主要工作有:测设路线的交点及转向角的测定、测设直线段的里程桩和转点桩、曲线的测设等。

一、测设路线的交点、转点和测定转向角

路线方向的转折点称为交点,交点是测设线路中线的控制点。当中线的直线段太长或通视受阻时,需要设置一些点传递直线方向,这些点称为转点。通常交点至转点或转点至转点间的距离在 200~300m 之间,不能太短或太长。在道路测设时,线路通常不会是一条平面直线,线路由一方向转到另一方向,两方向间的夹角称为转向角(如图 15-1 中的 α 角)。转向角是计算曲线要素的依据。

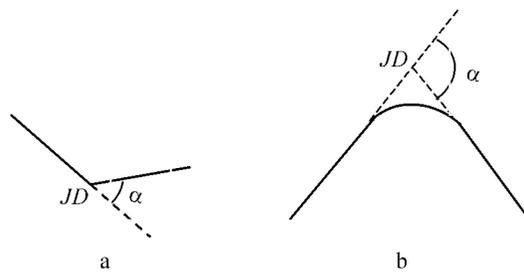


图 15-1

(一) 交点的测设

根据现场的实际情况,交点的测设有以下几种方法。

1. 根据导线点测设

根据线路设计阶段布置的导线点的坐标以及道路交点的设计坐标计算放样数据,按极坐标法、角度交会法、距离交会法等测设出交点的位置。

2. 穿线法测设

穿线法是根据图上定线的线路位置在实地测设交点的位置。它是利用图上的已知导线点(或已知地形点)与图上定线的直线段之间的角度和距离关系,在图上图解出测设数据,然后到实地依已知的导线点(或地形点)测设出线路的直线段中线,再将相邻的直线延长相交,定出交点的位置(如图 15-2 所示),具体方法如下:

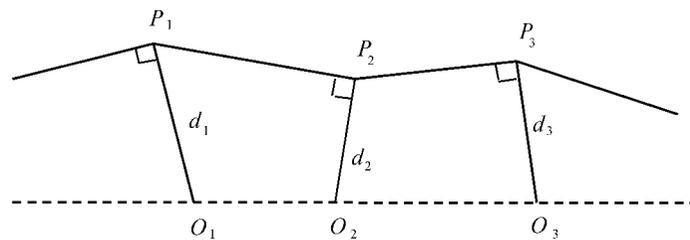


图 15-2

(1) 图上量支距:在设计中线附近有已知的导线点 P_1 、 P_2 、 P_3 , 设 O_1 、 O_2 、 O_3 为设计图上定线的线路直线段的临时定线点。以导线点为垂足,在图上量取各导线点至设计中线的垂直距离 d_1 、 d_2 、 d_3 。

(2) 实地放点:在导线点上根据量得的距离 d_1 、 d_2 、 d_3 , 放样出定线点 O_1 、 O_2 、 O_3 。

(3) 穿线:由于放样误差,定线点 O_1 、 O_2 、 O_3 可能不在同一直线上,选定出一条尽可能多的穿过定线点的直线,在该直线上打两个转点桩,然后取消各临时点,即定出了直线段的位置。

(4) 定交点:如图 15-3 所示,在实地定出直线 MN 和 O_5O_6 后,可将 MN 和 O_5O_6 直线延长相交

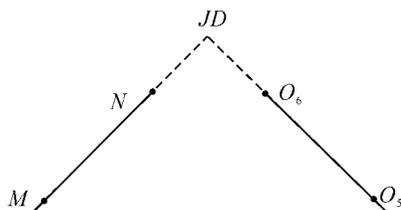


图 15-3

则可定出交点 JD 。

另外,还可以采用由踏勘人员在现场直接选定交点的位置,根据转点定出交点等方法。

(二) 转点的测设

当相邻两交点互相不通视时,需要在其连线上测设一个或数个转点。其测设方法如下。

1. 两交点间设转点

在图 15-4 中, JD_1 、 JD_2 互不通视,现欲在两点间测设一转点 ZD 。首先在 JD_1 、 JD_2 之间初定一点 ZD' 点。可将经纬仪(或全站仪)安置在 ZD' 上,用盘左、盘右分中法延长直线 JD_1-ZD' 至 JD_2' ,与 JD_2 的偏差为 f ,用视距法测定 ZD' 点与 JD_1 、 JD_2 的距离 a 、 b ,则 ZD' 应移动的距离 e 可按下式计算:

$$e = \frac{a}{a+b}f \tag{15.1}$$

将 ZD' 按 e 值移至 ZD 。在 ZD 上安置仪器,按上述方法逐渐趋近,直至符合要求为止。

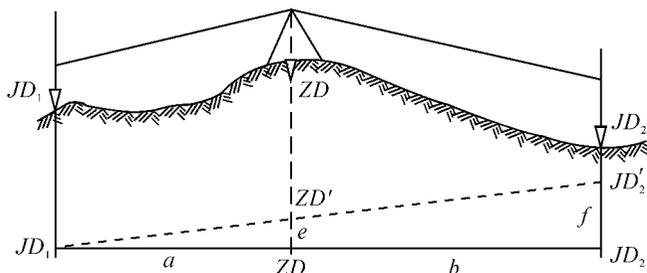


图 15-4

2. 两交点延长线上设转点

在图 15-5 中, JD_3 、 JD_4 互不通视,可在其延长线上初定转点 ZD' 。在 ZD' 上安置经纬仪(或全站仪),用正倒镜照准 JD_3 ,固定水平制动螺旋,俯视 JD_4 两次取中中得到中点 JD_4' 。 JD_4 与 JD_4' 的偏差值为 f ,用视距法测定 a 、 b ,则 ZD' 应移动的距离为:

$$e = \frac{a}{a-b}f \tag{15.2}$$

将 ZD' 按 e 值移动到 ZD ,同法,逐渐趋近,直到符合精度要求为止。

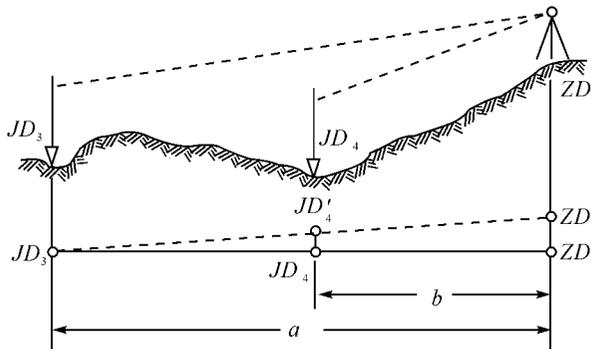


图 15-5

(三) 测定转向角

线路方向改变时,转变后的方向与原方向的夹角称为转向角(或称转角、偏角),用 α 表示。

如图 15-6 所示,要测定转向角 α ,通常是先测量出转折角 β 。转折角一般是线路前进方向的右角。当线路向右转时,转向角称为右偏角,此时 $\beta < 180^\circ$;当线路向左转时,转向角称为左偏角,此时 $\beta > 180^\circ$,所以转向角为:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{\text{右}} &= 180^\circ - \beta \\ \alpha_{\text{左}} &= \beta - 180^\circ \end{aligned} \right\} \quad (15.3)$$

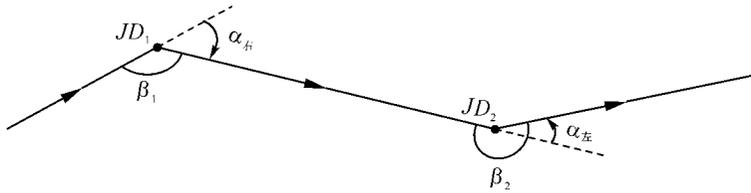


图 15-6

二、里程桩测设

路线的里程是指线路的中线点沿中线方向距线路起点的水平距离。里程桩是埋设在路线中线上标有水平距离的桩,里程桩又称中桩。为了测定线路的长度、标定中线位置和测绘纵横断面图,从线路起点开始,需沿线路方向在地面上设置里程桩。里程桩有整桩和加桩之分。

每隔某一整数设置的桩,称为整桩。整桩之间距离一般为 50m、30m 或 20m。在线路变化处要设立加桩:在线路穿越重要地物处(如铁路、公路、各种管线等)、地面坡度变化处、道路转向处设置曲线时均要设置加桩。

里程桩均按起点至该桩的里程进行编号,并用红油漆写在木桩侧面。例如某桩距线路起点的水平距离为 12 536.38m,则其桩号记为:12+536.38。加号前为公里数,加号后为米数。在公路、铁路勘测设计中,通常在公里数前加注“K”,例如 K3+200。

三、曲线测设

道路除了直线型外,还有曲线。设置曲线的目的就是当线路由一个方向转为另一个方向时,保证车辆的安全运行。道路曲线分为平面曲线和立面曲线。平面曲线可以由一个一定半径的圆弧构成的圆曲线,也可以是几个不同半径的曲线构成的复曲线。在此,主要介绍圆曲线的测设工作。

圆曲线的测设步骤是:先测设圆曲线的主要点,后测设圆曲线的细部点(如图 15-7 所示)。ZY 点为圆曲线的起点,称为直圆点。QZ 为圆曲线的中点,简称曲中点。YZ 点为圆曲线的终点,称为圆直点。ZY、QZ 和 YZ 三点称为圆曲线的主点。

(一) 圆曲线要素的计算

圆曲线的要素有圆曲线半径 R ,路线转向角 α ,切线长 T ,曲线长度 L ,外矢距 E 以及切

曲差 q (如图 15-7 所示)。

圆曲线半径 R 是纸上定线时由路线设计人员确定的。转向角 α 是定测时观测所得, 因此 R 和 α 为已知数据, 其他要素按下式计算, 即:

$$\left. \begin{aligned} \text{切线长: } T &= R \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \\ \text{曲线长: } L &= R\alpha \frac{\pi}{180^\circ} \\ \text{外矢距: } E &= R \cdot \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) \\ \text{切曲差: } q &= 2T - L \end{aligned} \right\} (15.4)$$

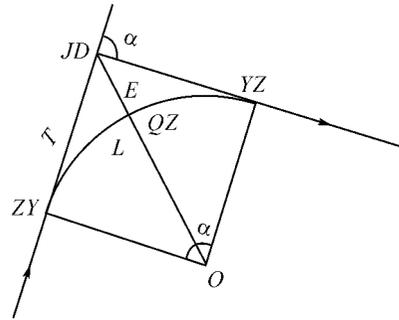


图 15-7

(二) 圆曲线主点里程的计算

为了测设圆曲线, 必须计算曲线主点的里程, 圆曲线主点的里程计算如下:

$$\left. \begin{aligned} \text{ZY 里程: } ZY_{\text{里程}} &= JD_{\text{里程}} - T \\ \text{YZ 里程: } YZ_{\text{里程}} &= ZY_{\text{里程}} + L \\ \text{QZ 里程: } QZ_{\text{里程}} &= ZY_{\text{里程}} + \frac{L}{2} \\ \text{计算检核: } YZ_{\text{里程}} &= JD_{\text{里程}} + T - q \end{aligned} \right\} (15.5)$$

(三) 曲线主点的测设

圆曲线的主点测设要素计算出来后, 就可以进行圆曲线主点的测设 (如图 15-7 所示), 测设方法如下:

(1) 测设圆曲线的起点 ZY 点: 安置经纬仪于 JD 点, 后视相邻交点方向, 沿此方向测设切线长 T , 在实地标定出 ZY 点。

(2) 测设圆曲线终点 YZ 点: 在 JD 点用经纬仪前视相邻交点方向, 沿此方向测设切线长 T , 在实地标定出 YZ 点。

(3) 测设圆曲线中点 QZ 点: 在 JD 点用经纬仪后视 ZY 点方向 (或前视 YZ 点方向), 测设水平角 $\left(\frac{180^\circ - \alpha}{2}\right)$, 定出路线转折角的角分线方向, 即曲线中点方向, 沿此方向量取外矢距 E , 在实地标定出 QZ 点。

例 15.1 某交点处转角为 $30^\circ 25' 36''$, 圆曲线设计半径 $R=150\text{m}$, 交点 JD 的里程为 $K4+542.36$, 计算圆曲线主点测设数据及主点里程。

解: (1) 主点测设数据的计算。

$$\left. \begin{aligned} \text{切线长: } T &= R \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = 40.79\text{m} \\ \text{曲线长: } L &= R\alpha \frac{\pi}{180^\circ} = 79.66\text{m} \\ \text{外矢距: } E &= R \cdot \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) = 5.45\text{m} \\ \text{切曲差: } q &= 2T - L = 1.92\text{m} \end{aligned} \right\}$$

(2) 主点里程的计算。

$$ZY \text{ 里程} = 4 + 542.36 - 40.79 = 4 + 501.57$$

QZ 里程 = 4 + 501.57 + 79.66/2 = 4 + 541.40

YZ 里程 = 4 + 541.40 + 79.66/2 = 4 + 581.23

检核计算为: YZ 里程 = 4 + 542.36 + 40.79 - 1.92 = 4 + 581.23

(四) 圆曲线细部点的测设

圆曲线主点测设后,即已完成了圆曲线的基本定位,但一条曲线只有主点还不够,还需要沿曲线加密曲线桩,详细地测设圆曲线的位置。

圆曲线细部点测设方法很多,线路勘测中常用的有偏角法、切线支距法、弦线支距法、弦线偏距法等常规方法。随着全站仪的普及,可自由灵活设站的极坐标法得到广泛应用。本章主要介绍偏角法和切线支距法。

1. 偏角法

在平面曲线测设中,用偏角和弦长确定曲线上各点在实地位置的方法叫偏角法。这种方法测设的数据是偏角值和弦长,所以偏角法的实质是极坐标法。

(1) 放样数据的计算。

如图 15-8 所示,圆曲线上弦与切线的夹角叫弦切角,也称偏角,偏角等于该弦所对的圆心角的一半,用 δ 表示。 l 为弧长, c 为弦长, φ 为圆心角,根据几何关系有:

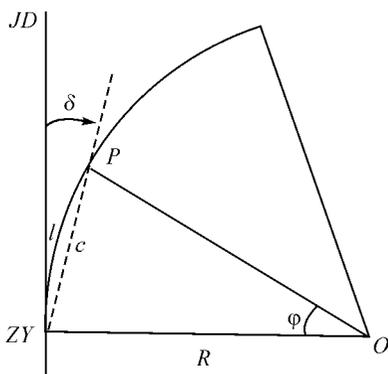


图 15-8

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \frac{l}{R}\rho \\ \delta &= \frac{1}{2}\varphi = \frac{l}{2R} \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{l}{2R}\rho \\ c &= 2R\sin\delta \end{aligned} \right\} \quad (15.6)$$

若把曲线分成 n 等份,并用 l 表示每整段弧的弧长, φ 表示整弧长所对的圆心角。则曲线上第 1 个细部点的偏角为:

$$\delta_1 = \frac{\varphi}{2} = \frac{l}{2R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (15.7)$$

其他细部点的偏角值为:

$$\left. \begin{aligned} \delta_2 &= 2 \cdot \frac{\varphi}{2} = 2\delta_1 \\ \delta_3 &= 3 \cdot \frac{\varphi}{2} = 3\delta_1 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ \delta_n &= n \cdot \frac{\varphi}{2} = n\delta_1 \end{aligned} \right\} \quad (15.8)$$

在施工中,为了便于观测和计算土石方量,一般要求细部点间的弧长取 5m、10m、20m、50m 等几种。但曲线的起点和终点的里程往往不是细部点弧长的整数倍,因此首尾就出现了不足细部点弧长所对应的弦,叫分弦(或破链)。

例 15.2 如图 15-9 所示,例 15.1 中如取细部点的桩距为 20m,计算偏角法放样细部

点时各点的测设数据,如表 15-1 所示。

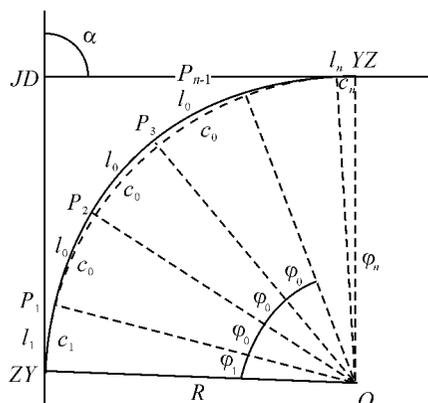


图 15-9

表 15-1 偏角法细部点测设数据计算表

曲线桩号	相邻桩点间弧长 (m)	偏角值 (° ' ")	相邻桩点间弦长 (m)
ZY4+501.57	9.43	0 00 00	9.43
P ₁ 4+510		1 48 04	
P ₂ 4+530	20	5 37 15	19.985
	20	9 26 26	19.985
P ₃ 4+550	20		13 15 37
P ₄ 4+570	11.23	15 24 18	
P ₅ 4+581.23			

(2) 测设方法:

① 安置经纬仪(或全站仪)于 ZY 点,盘左瞄准 JD 方向,并使水平度盘读数为零(0°00'00")。

② 转动照准部,测设偏角 $\delta_1 = 1^\circ 48' 04''$,得 P₁ 点所在的弦长方向,以 ZY 点为圆心、弦长 $c_1 = 9.43\text{m}$ 为半径画弧,与已测设方向的交点即为中桩点 P₁ 的位置。

③ 继续测设偏角 $\delta_2 = 5^\circ 37' 15''$,以 P₁ 点为圆心、弦长 $c_2 = 19.985\text{m}$ 为半径画弧,与所测设方向的交点即为中桩点 P₂ 点的位置。

④ 同法继续测设,直至测设出 YZ 点,并与测设主点所得到的 YZ 点位检核,如不重合,应在允许偏差之内。

用偏角法测设圆曲线时,如果曲线较长,为了缩短视线长度,提高测设精度,可从 ZY 点和 YZ 点分别向 QZ 点测设,在 QZ 点处与主点测设出的 QZ 点进行检核,其闭合差不应超过:半径方向(横向)0.1m,切线方向(纵向) $\pm L/1\ 000$ 。

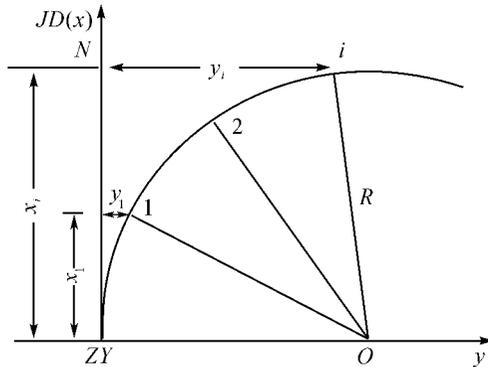


图 15-10

2. 切线支距法

切线支距的实质是直角坐标法。它是
以直圆点 ZY 或圆直点 YZ 为原点,以切线
方向为 x 轴,以通过原点的曲线半径为 y
轴,利用曲线上各细部点的坐标值测设曲线
(如图 15-10 所示)。

圆曲线上距 ZY(YZ) 点的弧长为 l 的任
一点 i 的坐标计算公式为:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= R \sin \frac{l_i}{R} \\ y_i &= R \left(1 - \cos \frac{l_i}{R} \right) \end{aligned} \right\} \quad (15.9)$$

测设方法为:

- (1) 以 ZY(YZ) 为起点,沿 JD 的方向分别测设水平距离 x_i ,得垂足 N 点。
- (2) 在各垂足点 N 沿垂线方向分别量取水平距离 y_i ,即得中桩点 i 。
- (3) 以各相邻点间的弦长进行点位测设的检核。

上述两种方法中,偏角法具有严密的检核,测设精度较高,测设数据简单、灵活,是最主要的常规方法,但测设过程中误差积累。切线支距法的优点是测设的各中桩点独立,误差不会累积,可用简单的量距工具作业,测设速度较快。若用目估确定直线方向,测设误差较大。实际工作中,采用哪种方法视仪器设备和现场的情况而定。

第三节 纵断面测量

测定中线上各中桩地面点高程的工作叫纵断面测量,纵断面测量又称线路水准测量。根据中桩高程的测量成果绘制的中线纵断面图是计算中桩填挖尺寸的依据。

线路水准测量分两步进行:即先进行基平测量,再进行中平测量。基平测量是沿线路方向设置水准点,并测定其高程,建立高程控制。中平测量是测定线路中线上的中桩点地面高程。中平测量路线通常附合于基平水准点。

一、高程控制测量(基平测量)

高程控制测量亦即基平测量,为满足纵断面测量和施工的需要,应沿线路方向设置一些水准点。一般 1~2km 布设一个永久性的水准点,300~500m 布设一个临时性的水准点。

水准测量时,首先应将起始水准点与附近国家水准点进行联测,并尽量构成附合水准路线。若不能引测国家水准点时,应选定一个与实地高程接近的假定高程起算点。水准测量的方法与第二章第三节相同。

二、纵断面测量方法

线路纵断面测量即中平测量,一般是以两相邻水准点为一测段,从一个水准点出发,

逐个测定线路上各中桩的地面高程，再附和到另一个水准点上。各测段的高差允许闭合差为 $50\sqrt{L}$ mm。观测时，在每一个测站上先读取后视点及前视点上的读数，这些前、后视点称为转点，转点读数至 mm。再读取前、后视点中间中桩尺子上的读数，这些中桩点称为间视点，间视点的读数取至 cm。视线长度不应大于 150m，水准尺应立于尺垫上或稳固的桩顶及岩石上。间视点视线也可适当放长，立尺应紧靠桩边的地面上(如图 15-11 所示)，纵断面测量记录表如表 15-2 所示。

(1) 水准仪安置于 1 站，后视水准点 BM_1 ，读取读数记入表 15-2 后视栏内。前视 $0+000$ ，读取读数记入表中前视读数栏内。

(2) 将仪器搬至 2 站，后视 $0+000$ 点读数，前视 $0+100$ 点读数，再间视点 $0+050$ 点读数，记录观测数据于表格内，完成第二站测量。

(3) 仪器搬到测站 3，后视 $0+100$ 点读数，前视 $0+200$ 点读数，再间视点 $0+150$ 点、 $0+172$ 点上的水准尺读数，记入表中读数栏内。

(4) 按上述方法，测量附和至另水准点为止。

(5) 计算各中桩的地面高程，采用视线高法计算，每一测站的各项计算可按下面的公式进行。

视线高程 = 后视点高程 + 后视读数

中桩高程 = 视线高程 - 间视读数

转点高程 = 视线高程 - 前视读数

纵断面是附和水准路线，由于测量过程中存在误差，需要进行平差计算。方法同第二章第四节。

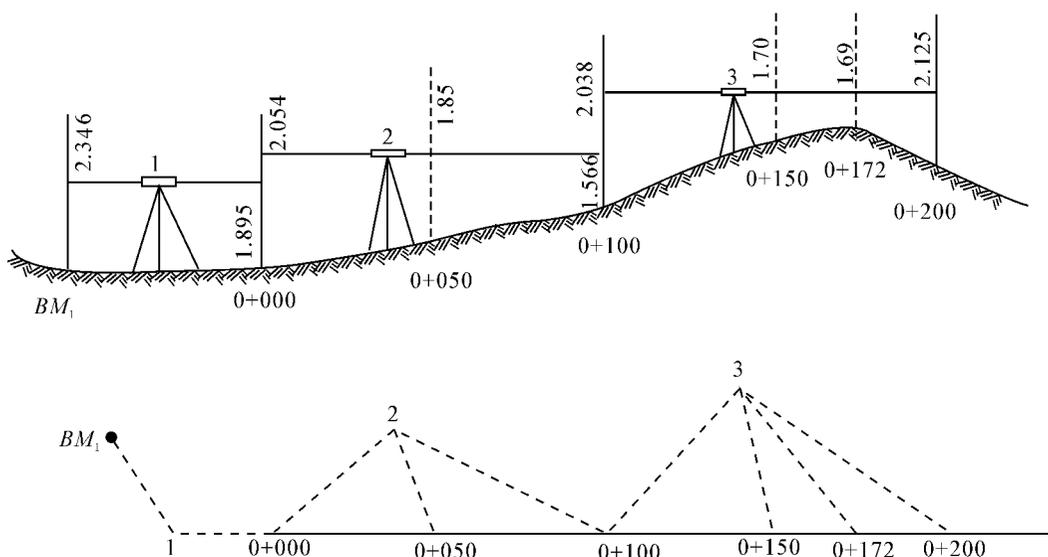


图 15-11

表 15-2 纵断面测量记录表

测站	点号	后视读数 (m)	间视读数 (m)	前视读数 (m)	视线高程 (m)	测点高程 (m)	备注
1	BM ₁	2.346			87.646	85.300	
	0+000			1.895		85.751	
2	0+000	2.054			87.805	85.751	
	0+050		1.85			85.955	
	0+100			1.566		86.239	
3	0+100	2.038			88.277	86.239	
	0+150		1.70			86.577	
	0+172		1.69			86.587	
	0+200			2.125		86.152	

三、纵断面图的绘制

纵断面图是表示线路中线方向地面高低起伏的图,它是根据中平测量的成果绘制的。纵断面图通常绘制在毫米方格纸上,纵轴表示高程,横轴表示水平距离(里程)。高程比例尺一般为水平比例尺的 10 倍或 20 倍。线路纵断面图的比例尺通常如表 15-3 所示。

表 15-3 线路纵断面图的比例尺

带状地形图	铁路		公路	
	水平	垂直	水平	垂直
1 : 1 000	1 : 1 000	1 : 100		
1 : 2 000	1 : 2 000	1 : 200	1 : 2 000	1 : 200
1 : 5 000	1 : 10 000	1 : 1 000	1 : 5 000	1 : 500

在纵断面图的下部通常注有地面高程、设计高程、设计坡度、里程、线路平面以及工程地质特征等资料。纵断面图的绘制可按下列步骤进行:

- (1) 打制表格:按照选定的里程比例尺和高程比例尺在毫米方格纸上打制表格。
- (2) 填写表格:根据纵断面测量成果填写里程桩号和地面高程、直线与曲线等相关说明。
- (3) 绘出地面线:首先选定纵坐标的起始高程,选择要恰当,使绘出的地面线位于图上适当位置。然后根据中桩的里程和高程,在图上按比例尺依次定出中桩的地面高程,再用直线将相邻点连接起来,就得到地面线。
- (4) 标注线路设计坡度线:根据设计要求,在坡度栏内注记坡度方向,用“/”、“\”、“—”分别表示上坡、下坡和平坡。坡度线之上注记坡度值,以千分数表示;坡度线之下注记该坡度段的水平距离。
- (5) 计算设计高程:当线路的纵坡确定后,即可根据设计纵坡和两点间的水平距离,由一点的高程计算另一点的设计高程。

设设计坡度为 i , 起算点高程为 H_0 , 推算点高程为 H_P , 推算点至起算点水平距离为 D 。则,

$$H_P = H_0 + iD \quad (15.10)$$

式中, 上坡时 i 为正, 下坡时 i 为负。

(6) 绘制线路设计线: 根据起点高程和设计坡度, 在图上绘出线路设计线。

(7) 计算各桩的填挖尺寸: 同一桩号的设计高程与地面高程之差, 即为该中桩的填土高度(正号)或挖土深度(负号)。通常在图上填写专栏并分栏注明填挖尺寸。

(8) 在图上注记有关资料: 除上述内容外, 还要在图上注记有关资料, 如水准点、交叉处、桥涵、曲线等。

图 15-12 为一线路的纵断面图示例。

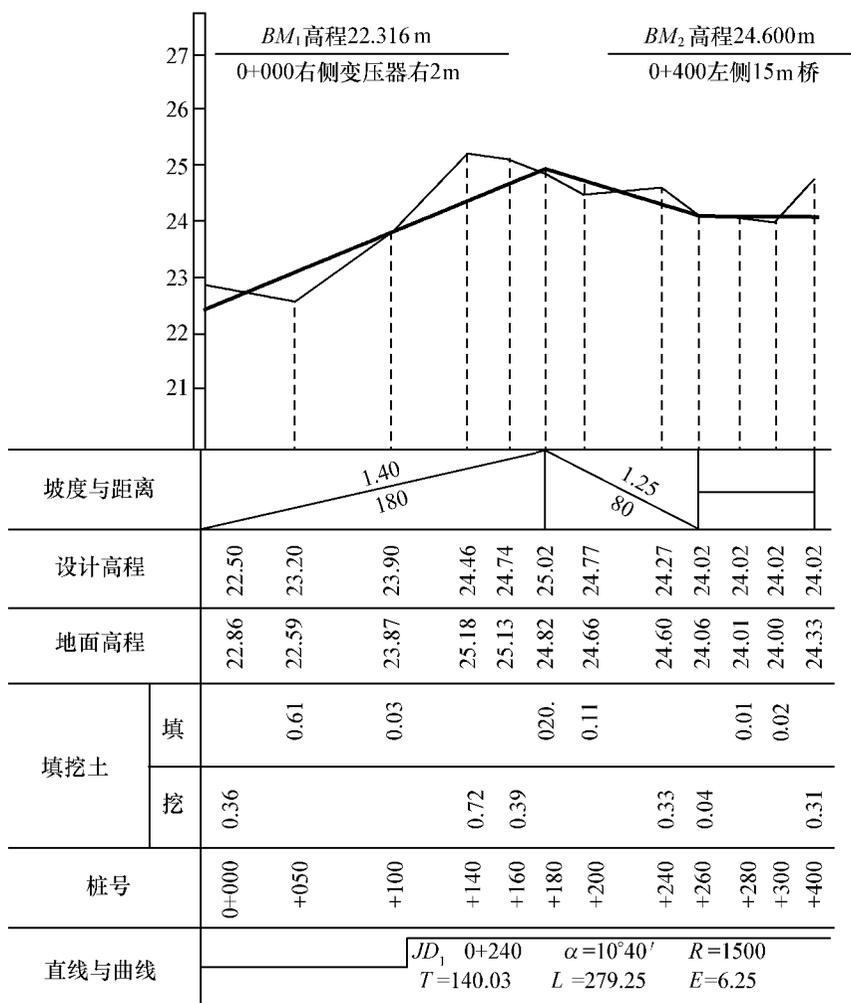


图 15-12

第四节 横断面测量

垂直于线路中线方向的断面称为横断面。对横断面的地面高低起伏所进行的测量工作称为横断面测量。

线路上所有的里程桩一般都要进行横断面测量。根据横断面测量成果可绘制横断面图,横断面图是计算土石方量的主要依据,还可以供路基设计、施工放样时使用。

一、确定横断面方向

横断面的方向,通常可用十字架(也叫方向架)、经纬仪和全站仪来测定,方向架确定横断面方向(如图 15-13 所示),将方向架置于所测断面的中桩上,用方向架的一个方向照准线路上的另一中桩,则方向架的另一方向即为所测横断面方向。

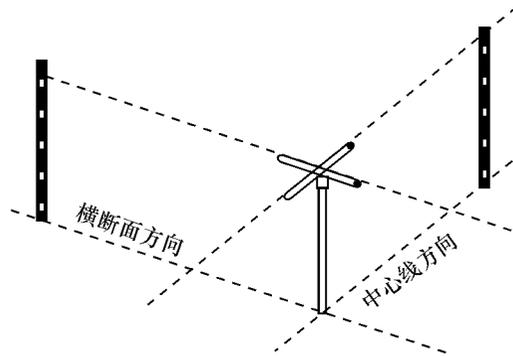


图 15-13

用经纬仪确定横断面方向:在需测定的横断面的中桩上安置经纬仪,瞄准中线方向,测设 90° 角,即得所测横断面方向。

用全站仪测量横断面时,除与经纬仪同法外,还可将全站仪自由设站,根据坐标值确定横断面的方向。

二、横断面测量的方法

横断面上中桩的地面高程已在纵断面测量时测出,只要测量出横断面方向上各地形特征点至中桩的平距和高差,就可以确定其点位和高程。横断面测量的方法有以下几种:

(一) 水准仪皮尺法

此法适用于施测横断面较宽的平坦地区。如图 15-14 所示,水准仪安置后,以中桩地面高程点为后视,以中桩两侧横断面方向的地形特征点为前视,水准尺读数至厘米。用皮尺分别量出各特征点到中桩的水平距离,量至分米。记录见表 15-4,表中按线路前进方向分左、右侧记录,以分式表示前视读数和水平距离,高差由后视读数与前视读数求差得到。

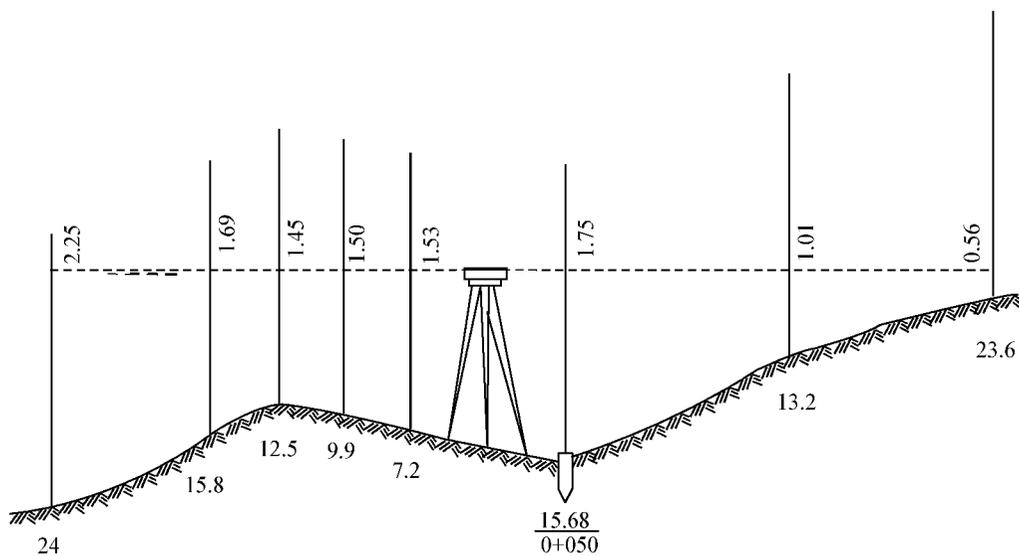


图 15-14

表 15-4

横断面测量记录表

前视读数(左侧) 水平距离	后视读数 桩号	(右侧)前视读数 水平距离
$\frac{2.25}{24}$ $\frac{1.69}{15.8}$ $\frac{1.45}{12.5}$ $\frac{1.50}{9.9}$ $\frac{1.53}{7.2}$	$\frac{1.75}{0+050}$	$\frac{1.01}{13.2}$ $\frac{0.56}{23.6}$

(二) 经纬仪视距法

将经纬仪安置于中桩上,可直接用经纬仪测定出横断面方向,用视距测量的方法测出各特征点与中桩间的平距和高差。此法适用于任何地形。

(三) 全站仪自由设站法

目前在横断面测量中,全站仪被广泛使用,用全站仪进行横断面测量时,全站仪可以自由安置在可观测到所测断面的控制点上,通过输入已知数据(已知控制点或已知方向)确定所测断面的坐标特征值(断面点的纵坐标或横坐标为定值;纵坐标或横坐标按一定规律变化),持棱镜者根据坐标值移动棱镜,当显示器显示的坐标值与断面点的坐标相符时,该点即为断面点,读取平距和高差。利用全站仪,结合中桩测设、纵断面测量一同施测横断面,精度更好、效率更高。

横断面测量的宽度,应根据道路的路基宽度、填挖深度、边坡率、地形情况以及有关工程要求而定。

三、横断面图的绘制

横断面图是根据横断面测量成果绘制而成的(如图 15-15 所示),绘图时,以中线地面高程为准,以水平距离为横坐标,以高程为纵坐标,将地面特征点绘在毫米方格纸上,依次连接各点即成横断面的地面线。

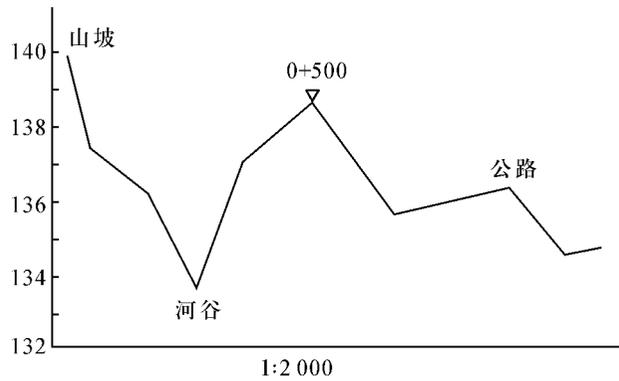


图 15-15

第五节 道路施工测量

道路施工测量的主要工作有恢复中线、测设施工控制桩、测设竖曲线、路基边桩测设等工作。

一、恢复中线测量

由于从路线勘测到开始施工的一段时间里,会有一部分桩点丢失或移动,为了保证路线中线位置准确可靠,施工前应根据原来定线条件恢复线路中线,将丢失的桩点恢复和校正好,以满足施工的需要。恢复中线的测量方法与中线测量相同。

二、施工控制桩的测设

在施工的开挖过程中,中桩的标志经常受到破坏,为了在施工中控制中线位置,就要选择在施工中既易于保存又便于引用桩位的地方测设施工控制桩。下面介绍两种测设施工控制桩的方法。

(一) 平行线法

如图 15-16 所示,在路基以外测设两排平行于中线的施工控制桩。此法多用地势较为平坦、直线段较长的路段。为了施工方便,控制桩的间距一般取 10~20m。

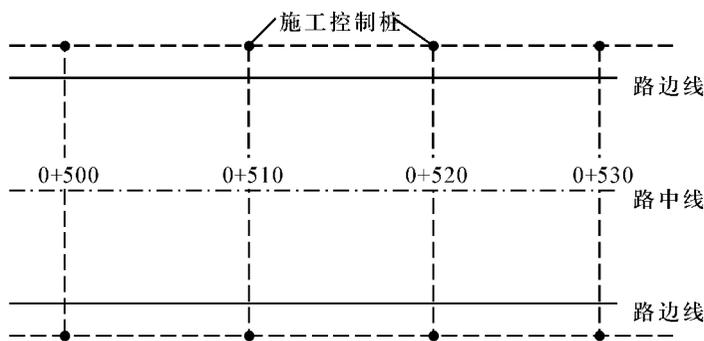


图 15-16

(二) 延长线法

延长线法是在道路转折处的中线延长线上以及曲线中点至交点的延长线上打下施工控制桩(如图 15-17 所示)。延长线法多用地势起伏较大、直线段较短的山区道路,主要是为了控制交点 JD 的位置,需要量出控制桩到交点 JD 的距离。

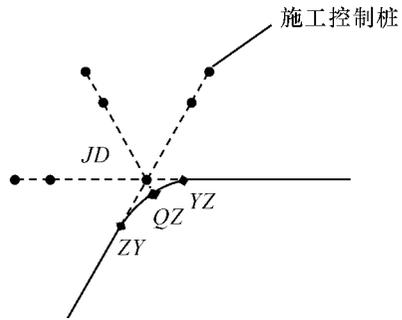


图 15-17

三、路基边桩的测设

测设路基边桩就是把路基两侧的边坡与原地面相交的坡脚点确定出来,边桩的位置由两侧边桩至中桩的平距来确定。常用的边桩测设方法如下:

(一) 图解法

图解法是直接在横断面图上量取中桩至边桩的平距,然后在实地用钢尺沿横断面方向丈量该长度并标定出来。此法在填挖土方量不大时使用较多。

(二) 解析法

解析法是根据路基填挖高度、边坡率、路基宽度和横断面地形情况,先计算出路基中桩至边桩的水平距离,然后在实地沿横断面方向按距离将边桩放出来。具体方法按下述两种情况进行:

(1) 平坦地段的边桩测设:图 15-18 为填土路堤,图 15-19 为挖方路堑。路基宽度为 B , m 为边坡率, h 为填挖高度, S 为路堑边沟顶宽。

路堤段坡脚桩至中桩的距离 D 为:

$$D = \frac{B}{2} + mh \tag{15.11}$$

路堑段坡顶桩至中桩的距离 D 应为:

$$D = \frac{B}{2} + S + mh \tag{15.12}$$

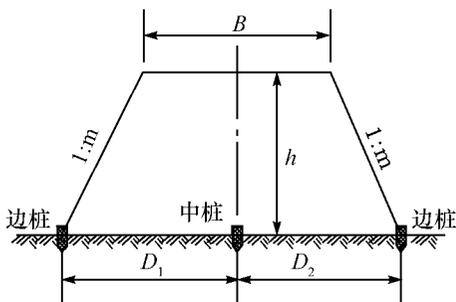


图 15-18

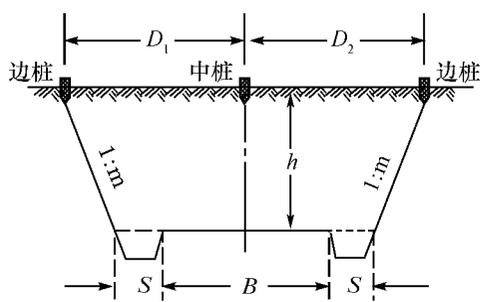


图 15-19

以上是断面位于直线段时求算 D 值的方法。若断面位于弯道上加宽时,按上述方法

求出 D 值后,还应在加宽一侧的 D 值中加入加宽值。

沿横断面方向,根据计算的坡脚(或坡顶)至中桩的距离 D ,在实地从中桩向左、右两侧测设出路基边桩,并用木桩标定。

(2) 倾斜地段的边桩测设:在倾斜地段,边桩至中桩的平距随着地面坡度的变化而变化。如图 15-20 所示,路基坡脚桩至中桩的距离 D_1 、 D_2 分别为:

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= \frac{B}{2} + m(h - h_1) \\ D_2 &= \frac{B}{2} + m(h + h_2) \end{aligned} \right\} \quad (15.13)$$

如图 15-21 所示,路堑坡顶桩至中桩的距离 D_1 、 D_2 分别为:

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= \frac{B}{2} + S + m(h + h_1) \\ D_2 &= \frac{B}{2} + S + m(h - h_2) \end{aligned} \right\} \quad (15.14)$$

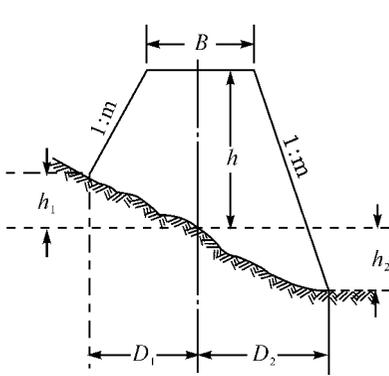


图 15-20

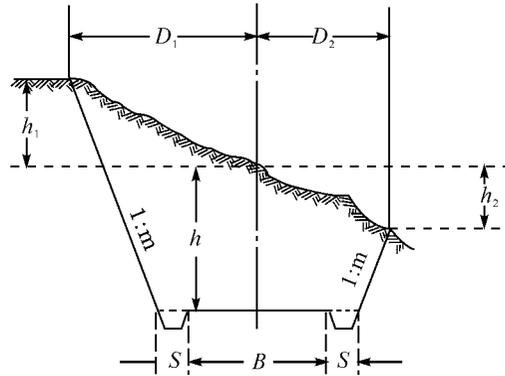


图 15-21

在式(15.13)及式(15.14)中, B 、 m 、 h 、 S 都是已知的,由于边坡未定, h_1 、 h_2 未知。实际工作中,可以采用“逐点趋近法”来测设标定。

四、竖曲线的测设

在路线纵坡变坡处,为了保障行车的安全和视距的要求,在竖直面内用圆曲线将两段纵坡连接起来,这种曲线称为竖曲线。竖曲线有凸形和凹形两种(如图 15-22 所示)。

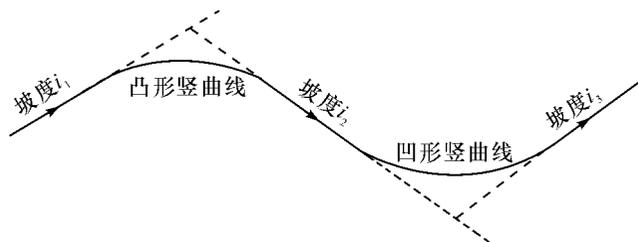


图 15-22

竖曲线的凸、凹与边坡点前后坡度 i 的正(上坡)、负(下坡)和大小有关。当 $i_{后} - i_{前} > 0$ 时,竖曲线为凸形;当 $i_{后} - i_{前} < 0$ 时,竖曲线为凹形。

(一) 竖曲线测设数据的计算

设路线变坡处前后坡度分别为 i_1, i_2 , 测设竖曲线时,根据路线纵断面设计的竖曲线半径 R 和 i_1, i_2 计算测设数据。如图 15-23 所示,竖曲线的切线长为 T 、曲线长为 L 、外矢距为 E 。

竖曲线测设元素的计算可用平面曲线计算公式:

$$\left. \begin{aligned} T &= R \tan \frac{\alpha}{2} \\ L &= R \frac{\alpha}{\rho} \\ E &= R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) \end{aligned} \right\} \quad (15.15)$$

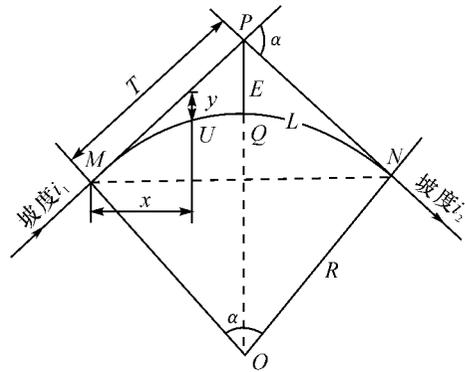


图 15-23

由于竖向转向角 $\alpha = (i_1 - i_2)$ 很小,则,

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2}$$

因此,竖曲线的各要素计算公式可近似为:

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{1}{2} R (i_1 - i_2) \\ L &= R (i_1 - i_2) \\ E &= \frac{T^2}{2R} \end{aligned} \right\} \quad (15.16)$$

在测设竖曲线细部点时,通常按直角坐标法计算出竖曲线上细部点 U 至曲线起点或终点的水平距离 x 及细部点 U 至切线的纵距 y ,由于 α 较小,所以 x 值与 U 点至曲线起点或终点的曲线长度很接近,故可用其代替,而 y 值可用下式表示:

$$y = \frac{x^2}{2R} \quad (15.17)$$

上式中, y 值在凸形曲线中为负号,在凹形曲线中为正号。

求出 y 值后,即可根据设计坡道的坡度,计算切线坡道在 U 点处的坡道高程,算得竖曲线上 U 点处的设计高程,从而根据 U 点的里程及设计高程测设出细部点。竖曲线上细部点的设计高程可用下式计算:

- 在凸形竖曲线内,
- 设计高程 = 坡道高程 - y
- 在凹形竖曲线内,
- 设计高程 = 坡道高程 + y

例 15.3 某凸形竖曲线, $i_1 = 1.50\%$, $i_2 = -1.25\%$, 变坡点桩号为 $2+580$, 高程为 18.25m , 竖曲线半径为 $R = 2000\text{m}$, 试计算竖曲线要素以及起终点的桩号和高程,并计算曲线上每 10m 间距里程桩的设计高程。

解:按上述公式算得: $T = 27.5\text{m}$, $L = 55\text{m}$, $E = 0.19\text{m}$

竖曲线起、终点的桩号和高程分别为:

起点桩号 = $2+580-27.5=2+552.5$

终点桩号 = $2+580+27.5=2+607.5$

起点坡道高程 = $18.25-27.5 \times 1.50\% = 17.84$

终点坡道高程 = $18.25-27.5 \times 1.25\% = 17.91$

竖曲线上细部点的设计高程计算结果如表 15-5 所示。

表 15-5 竖曲线细部点测设数据计算表

桩号	至起终点距离 (m)	纵距 y (m)	坡道高程	竖曲线高程	备注
2+552.5	0	0.00	17.84	17.84	起点 $i_1=1.50\%$
2+560	7.5	0.01	17.95	17.94	
2+570	17.5	0.08	18.10	18.02	
2+580	27.5	0.19	18.25	18.06	
2+607.5	0	0.00	17.91	17.91	终点 $i_2=1.25\%$
2+600	7.5	0.01	18.00	17.99	
2+590	17.5	0.08	18.13	18.05	
2+580	27.5	0.19	18.25	18.06	

(二) 竖曲线测设的步骤

- (1) 根据竖曲线设计坡度和设计半径计算竖曲线要素 T 、 L 和 E ；
- (2) 推算竖曲线上各点的里程桩号；
- (3) 根据竖曲线上细部点距曲线起点或终点的弧长(弧长近似等于水平距离 x)及式(15.17)计算细部点至切线的纵距 y ；
- (4) 由变坡点附近的里程桩测设变坡点,从变坡点起沿切线方向测设切线长 T ,即得竖曲线的起终点；
- (5) 自竖曲线的起(终)点,沿切线方向测设细部点的点位,然后观测各个细部点的地面高程,根据地面高程与设计高程的差值(即填或挖的高度)测设最终点位。

习 题

1. 线路测量的主要工作是什么？
2. 简述线路交点和转点测设的方法。
3. 某交点处转角为 $50^\circ 25' 30''$,圆曲线设计半径 $R=200\text{m}$,交点 JD 的里程为 $K5+458.58$,计算圆曲线主点测设数据及主点里程。如取细部点的桩距为 10m ,计算偏角法放样细部点时各点的测设数据。
4. 简述纵断面测量的方法及纵断面图的绘制方法。
5. 简述横断面测量的方法及横断面图的绘制方法。
6. 简述施工控制桩的测设方法。
7. 简述路基边桩的测设方法。
8. 某凹形竖曲线, $i_1=-1.5\%$, $i_2=+1.25\%$,变坡点桩号为 $2+380$,高程为 35.28m ,竖曲线半径为 $R=2000\text{m}$,试计算竖曲线要素以及起终点的桩号和高程,并计算曲线上每 10m 间距里程桩的设计高程。

参 考 文 献

1. 钟孝顺, 聂让. 测量学. 北京: 人民交通出版社, 1999
2. 王侗, 过静珺. 现代普通测量学. 北京: 清华大学出版社, 2001
3. 张坤宜. 交通土木工程测量. 北京: 人民交通出版社, 1999
4. 武汉测绘科技大学《测量学》编写组. 测量学. 北京: 测绘出版社, 1991
5. 陈丽华. 土木工程测量. 杭州: 浙江大学出版社, 2002
6. 刘志章. 工程测量学. 北京: 中国水利水电出版社, 1991
7. 张文春, 李伟东. 土木工程测量. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003
8. 张慕良. 水利工程测量. 北京: 水利电力出版社, 1994
9. 姜远文, 唐平英. 道路工程测量. 北京: 机械工业出版社, 2002
10. 丁云庆. 水利水电工程测量. 北京: 水利电力出版社, 1992
11. 杨俊, 赵西安. 土木工程测量. 北京: 科技出版社, 2003
12. 过静珺. 土木工程测量. 武汉: 武汉工业大学出版社, 2000
13. 王家贵等. 测绘学基础. 北京: 清华大学出版社, 2000
14. 李青岳. 工程测量学. 北京: 测绘出版社, 1984
15. 赵书玉, 黄筱英. 测量学. 北京: 人民交通出版社, 1998
16. 合肥工业大学等四所高校. 测量学. 北京: 中国建筑出版社, 1995
17. 顾孝烈. 测量学. 上海: 同济大学出版社, 1990
18. 中华人民共和国国家标准. 工程测量规范(GB 50026—93). 北京: 中国计划出版社, 1993
19. 工程建设标准规范分类汇编. 测量规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
20. 城市测量手册编写组. 城市测量手册. 北京: 测绘出版社, 1993