

全国交通中等职业技术学校通用教材

公路测量

CONGLU CELIANG

〔公路（高等级公路）养护专业用〕

周小安 主编

赵俊民 主审

人民交通出版社

交通中等职业技术学校通用教材

Gonglu Celiang

公路测量

[公路(高等级公路)养护专业用]

周小安 主编

赵俊民 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要包括:绪论、距离测量和直线定向、水准测量、角度测量、误差的基本知识、导线测量、地形测量、公路中线测量、公路纵横断面的测设、施工测量放样、光电测量仪器的应用。

本书是交通中等职业技术(技工)学校公路(高等级公路)养护专业教材,也可供广大公路干部职工岗位培训、公路技工等级培训使用或相关专业人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路测量 / 周小安主编. —北京: 人民交通出版社, 1999. 12
ISBN 7-114-03539-X

I. 公… II. 周… III. 道路测量-专业学校-教材 IV. U412.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 67929 号

交通中等职业技术学校通用教材

公 路 测 量

[公路(高等级公路)养护专业用]

周小安 主编

赵俊民 主审

责任印制: 张 凯 版式设计: 周 圆 责任校对: 张 捷

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 9.25 插页: 1 字数: 236 千

2000 年 3 月 第 1 版

2000 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3000 册 定价: 16.00 元

ISBN 7-114-03539-X

U · 02545

前 言

随着我国公路建设事业的迅猛发展,新技术、新工艺、新材料在工程中得到广泛应用。为了使技工学校的毕业生能更好地适应社会的需要,交通部交通中等职业技术学校教学指导委员会公路类(技工)学科委员会把不断提高教材质量和教学质量作为重点工作来抓,为此专门组织力量,对公路(高等级公路)养护专业配套教材进行了编审工作。

学科委员会根据交通系统技工学校公路(高等级公路)养护专业教学计划和教学大纲的要求,在教材编审中注意贯彻教材的思想性、科学性、先进性、启发性、正确性,充分体现技工学校突出技能训练的特点。

公路类(技工)学科委员会将出版公路(高等级公路)养护专业的教材有《公路工程识图》、《机械基础知识》、《微机应用基础》、《公路概论》、《公路养护机械》、《地质土质与筑路材料》、《工程力学》、《公路养护工程》、《公路养护管理》、《公路测量》,共十门配套教材。

本书共分十一章,主要包括:绪论

距离测量和直线定向、水准测量、角度测量、误差的基本知识、导线测量、地形测量、公路中线测量、公路纵横断面的测设、施工测量放样、光电测量仪器的应用。

第一、五、六、七、九章由江西省交通技工学校周小安讲师编写;第二、三章由江西省交通技工学校尹莉讲师编写;第四、八章由江西省交通技工学校肖志云讲师编写;第十、十一章由辽宁省交通技工学校王立宏高级讲师编写。全书由江西省交通技工学校周小安统稿并担任主编,陕西省交通技工学校赵俊民高级讲师主审,河南省交通技工学校翟站立讲师参审。

本教材由公路类(技工)学科委员会教材组委员担任责任编委。

本轮教材在编写时,得到很多技工学校、职工学校、公路部门的支持、帮助,并提出不少宝贵意见,同时还引用了前辈们已取得的众多成果,使本轮教材更为丰富、充实,在此特致诚挚的谢意。由于编写时间仓促,探索认知偏颇,发展预见不足,加之编者水平有限,难免存在缺点和错误,诚望读者批评指正。

交通职业技术学校教学指导委员会

公路类(技工)学科委员会

一九九九年五月十四日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 测量学的任务和分类.....	1
第二节 测量在公路建设中的作用.....	2
第三节 测量工作的基本原则.....	2
第四节 地面上点位的确定.....	3
第二章 距离测量和直线定向	6
第一节 概述.....	6
第二节 测距工具.....	6
第三节 直线定线.....	7
第四节 直线的一般丈量和精密丈量.....	8
第五节 直线定向	12
第六节 罗盘仪的构造和使用	15
第三章 水准测量	17
第一节 水准测量的原理	17
第二节 水准仪与水准尺	17
第三节 水准仪的安置与使用	20
第四节 普通水准测量	22
第五节 微倾式水准仪的检验与校正	27
第六节 自动安平水准仪	30
第四章 角度测量	32
第一节 角度测量的原理	32
第二节 光学经纬仪的基本构造	33
第三节 经纬仪的安置与角度观测方法	38
第四节 竖直角测量方法	40
第五节 光学经纬仪的检验与校正	43
第六节 角度测量注意事项	46
第五章 误差的基本知识	48
第一节 误差的分类	48
第二节 算术平均值	50
第三节 评定精度的标准	51
第六章 导线测量	55
第一节 概述	55
第二节 导线测量的外业	55
第三节 导线测量的内业	57

第七章 地形测量	64
第一节 概述	64
第二节 地形图的内容与要求	64
第三节 视距测量	69
第四节 平板仪的构造和使用	73
第五节 测图前的准备工作	75
第六节 碎部测量	76
第七节 地形图的拼接、检查和整饰	80
第八章 公路中线测量	82
第一节 交点和转点的测设	82
第二节 转角测定和里程桩的设置	84
第三节 圆曲线测设	86
第四节 复曲线	91
第五节 缓和曲线	92
第六节 公路中线的测量精度和展绘	99
第七节 高等级公路中线的测设方法	101
第九章 公路纵横断面的测设	105
第一节 概述	105
第二节 纵断面测量	105
第三节 纵断面图的绘制	108
第四节 横断面测量	111
第五节 横断面图的绘制	114
第六节 纵横断面设计简介	115
第十章 施工测量放样	127
第一节 概述	127
第二节 放样的基本工作	127
第三节 全站仪放样方法	130
第四节 路线施工测量	130
第五节 桥梁施工测量	133
第十一章 光电测量仪器的应用	135
第一节 GPS 技术简介	135
第二节 TPS 技术简介	136
第三节 全站仪基本操作	139
主要参考书目	142

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务和分类

测量学是一门研究地球形状和大小的科学。它一方面研究如何测定地球表面上某一区域的地物和地貌的形状、位置、大小和相对距离,用一定的比例关系绘制到图纸上,从而成为相似的图形,为经济建设、国防建设和科学研究提供资料;另一方面研究如何把图纸上设计的建筑物放样到实地上,作为施工的依据,并且观测建筑物在竣工后和使用中所产生的变形,为建筑技术的进一步发展提供科学的资料和研究手段。

根据测量研究的对象及应用,基本上可以分为以下几类。

一、大地测量学

大地测量学是研究在较大区域内建立国家大地控制网、测定地球的形状和大小、进行精密控制测量的技术与方法的学科。包括三角测量、精密导线测量、三边测量、水准测量、天文测量、重力测量、卫星大地测量、惯性测量、弧度测量、地球形状理论和各种大地测量计算等。它为测定地形图和大型工程测量提供基本的平面和高程控制,以及向空间科学技术、地壳升降、海陆变迁、地震预报、近代航天技术的发展和军事用途等提供重要资料。

二、普通测量学

普通测量学是研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术和应用方法的学科,是测量学的基础。主要研究内容有:图根控制网的建立、地形图的测绘及一般工程的施工测量。具体工作有距离测量、角度测量、定向测量、高程测量等数据的处理和绘图等。

三、地形测量学

地形测量学是将地表面上的地物、地貌的平面位置和高程测绘成地形图的理论、技术和方法的学科。包括图根控制网的建立、碎部测量、测量误差分析和地形图的使用等。

四、工程测量学

工程测量学是研究工程建设在勘测设计、施工和养护管理阶段所进行的各种测量工作的学科。包括工业建设测量、铁路测量、公路测量、桥梁测量、隧道测量及地下建筑物测量、水利工程建设测量、输电线路及输油管道测量等勘测设计阶段的控制测量、地形测量、高程测量和施工阶段的施工测量及设备安装测量、管理、使用阶段的变形观测和维修养护测量。

随着科学技术的发展,在工程测量中已广泛地应用电子计算机技术、红外线测距技术、激光技术、摄影测量和遥感技术等。

五、摄影测量学

摄影测量学是研究利用摄影手段或遥感技术来获取被测物体的信息,从几何和物理方面进行分析处理,绘制成地形图或数字模型的理论和方法的一门学科。它分为地面摄影测量、航空摄影测量、水下摄影测量和航天摄影测量。

六、海道测量学

海道测量学是研究对海岸、江河等海上水域、沿海地带和海底地貌进行测绘的理论、技术和方法的学科。

随着科学技术的迅猛发展,测量工作所涉及的领域和部门越来越多,测量学所研究的范围也就越来越广,其分支类别就会更细更多。

第二节 测量在公路建设中的作用

测量在国民经济建设和国防事业中起着十分重要的作用。在工业与民用建设中,当进行初步设计时需要地形图,而要把图纸上设计好的建筑物实施到地面上去,必须进行放样测量,在建筑物修筑中还要进行施工测量,建筑物竣工后还要进行竣工测量。在战争中,占据有利地形,如制高点,可居高临下射击敌人,需作战地图。作战部需根据详细的地形图来研究作战计画,拟定进攻路线。导弹的精确发射没有精密的测量就不可能命中。

在公路工程建设中,无论对于公路、桥梁或隧道,从勘测设计、施工到竣工都离不开测量工作。当新建一条公路,在踏勘过程中就要根据测量所取得的资料,如地形图等,进行选线,来确定一条最经济最合理的路线;路线方案确定后,要进行路线的详细测设,在这个阶段的测量工作有中线测量、路线纵横断面测量、桥涵水文测量和地形测量等,其基本任务是把路线位置标定在地面上,并且搜集设计路基、路面、桥涵及其它构造物等的资料,以便提供施工图纸;施工前应进行施工放样测量;施工过程中要经常通过测量来检查工程质量;工程竣工后,还要通过测量来检验竣工情况并编绘竣工图纸,以满足公路工程的使用、管理、维修和改建的需要。由此可见,测量工作在公路建设中占据着非常重要的地位。因此,测量对于公路专业的学生来说,是一门必须掌握的知识和技能。

第三节 测量工作的基本原则

地球表面的形状很复杂,我们把地表面的固定物体如房屋、道路、河流和森林等称为地物,而把地面上高低起伏的形态如山岭、丘陵、峡谷和陡崖等称为地貌,地物和地貌统称为地形。测量的任务就是要测定地形的位置并按一定的比例把它绘在图纸上;或者把图纸上的构造物按一定的比例测设到地面上。以怎样的基本原则进行以上的测量工作呢?图 1-1a)所示是一幢房屋的平面,其位置由房屋轮廓线的一些折线所组成,如果能确定四个角 1、2、3、4 各点的位置,那么这幢房屋在地面上的位置也就确定了。图 1-1b)所示是一条公路的其中一段,它的中线由直线和曲线组成,如果能测定它的直线、直线与曲线的衔接点和曲线上的点 1、2、3……的平面位置,这段公路在地面上的位置也就确定了。图 1-1c)所示为一小山头,当 1、2、3……等地面坡度变化点的平面位置及其高程测定后,这个小山头起伏变化情况就可以大致反映出

来了。

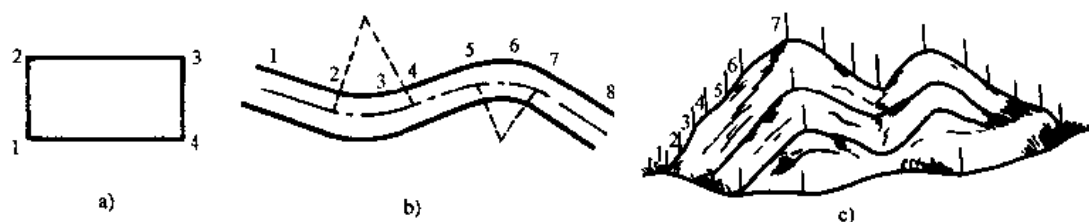


图 1-1

从上面几个例子中可以看出,地球表面上的地物和地貌的形状和大小的构成基本上是一些具有代表性的点,如图 1-1 中的各点,测量上把这些平面方向的转折点与坡度起伏的变化点叫做特征点。特征点也称为碎部点,测量主要是测定这些碎部点的平面位置和高程。当测定这些碎部点时,不论用何种测量方法和使用何种仪器,测量的成果都会有误差存在,为了提高测量精度,防止测量误差的传递和积累,在测量工作中,必须遵循在测量布局上“从整体到局部”,在精度上“由高级到低级”,在程序上“先控制后碎部”的测量原则。如图 1-2 所示,若要测定图上的山头以及周围的地形图,必须先选在测区范围内选择若干具有控制意义的点,如图 1-2 中山头周围的点 1、2、3、4、5、6 等作为控制点,用精密的仪器和较严密的测量方法测定这些控制点的位置和高程,这部分测量称为控制测定。然后再根据控制点的位置和高程测定其它碎部点的位置和高程,这部分测量称为碎部测量。

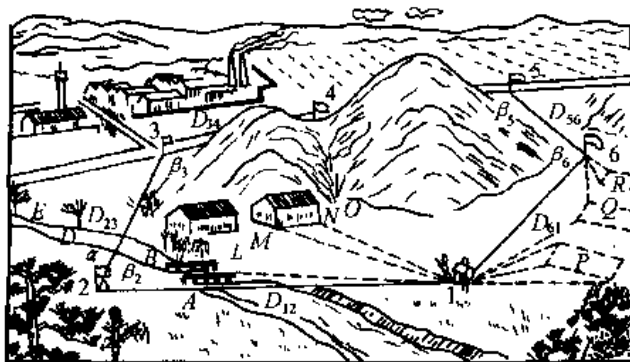


图 1-2

如图 1-2 中,可在控制点 1 上测定其周围的碎部点 L 、 M 、 N 等,在控制点 2 上测定其周围的碎部点 A 、 B 等,同样也可在其它控制点分别测定其周围的碎部点。可以看出,用这种先控制测量后碎部测量的方法可使所有碎部点具有同样的精度,不会因误差的传递和积累而使后测的碎部点的误差增大到不能容许的程度。

第四节 地面上点位的确定

测量的基本工作就是在一定的精度要求下采用适当的仪器和方法测定地面上构成地形的具有代表性的点,即特征点之间的点位关系。

地面上点位的确定,通常是以该点在球面或平面上的投影,以及该点到大地水准面的垂直距离(即高程)来表示其空间位置的。

一、点的地理坐标

当研究整个地球的形状、大小或大区域的测量工作时,可采用球面坐标系,它把整个地球置于一个坐标系中,以经度和纬度来确定地面点的绝对位置,称为地理坐标。

如图 1-3 所示, N 、 S 分别为地球两极,若连接两极,直线 NS 即为地球自转轴,又称地轴。地球自西向东绕该轴自转,通过地面上任意一点 P 与地轴组成的平面叫做 P 点的子午面,它

与地球表面的交线 NPK/S 称为 P 点的子午线或经线。经世界天文学会的决议,把通过英国伦敦格林尼治天文台原址 P_0 的子午面称为首子午面,相应的首子午面与地球表面的交线 NP_0K_0S 称为首子午线。通过地心 O 与地轴 NS 垂直的平面 WK_0KE 称为赤道平面,赤道平面与地球表面的交线称为赤道。

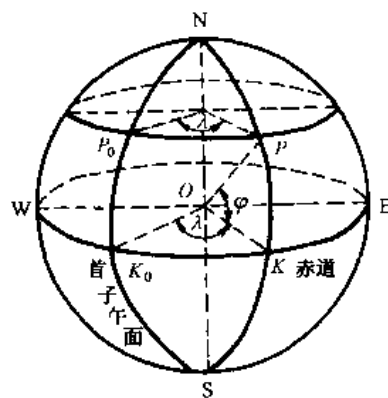


图 1-3

地面上一点的经度,即通过该点的子午面与首子午面所夹的二面角,一般用 λ 表示,自首子午线以东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为东经,以西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为西经。东经 180° 和西经 180° 同一条经线上,那就是 180° 经线。地面上一点的纬度,即通过该点的铅垂线和赤道平面所组成的角度称为该点的纬度,一般用 φ 表示,自赤道向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬,向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬,北纬 90° 为北极,南纬 90° 为南极。当一点的经纬度确定后,它的绝对位置也就确定了。例如:北京的地理坐标为:东经 $116^\circ 28'$,北纬 $39^\circ 54'$ 。

地理坐标是通过天文测量方法测定的,大地测量等常用到地理坐标。

二、平面直角坐标

在普通测量中,由于测区面积小,可以把部分球面看成平面。在平面上是用直角坐标来表示地面上一点的相对位置的,如图 1-4 所示。平面直角坐标是由两个互相垂直的坐标轴 X 和 Y 所构成。两轴线的交点 O 为坐标原点,规定南北方向的纵轴为 X 轴,自坐标原点向北为正,向南为负;东西方向的横轴为 Y 轴,自坐标原点向东为正,向西为负。地面上任意一点 A 在平面上的位置是由该点至纵、横坐标轴的垂直距离来确定的。 X_a 为 A 点的纵坐标,以 x 表示; Y_a 为 A 点的横坐标,以 y 表示。平面直角坐标中的 I、II、III、IV 四个象限是从北方向按顺时针方向编号的。

测量上的平面直角坐标与数学上规定的完全相反,因为测量工作中规定,所有直线的方向都是从纵轴北端顺时针方向来量度的,这样变换既不改变应用数学中的三角公式,又便于测量

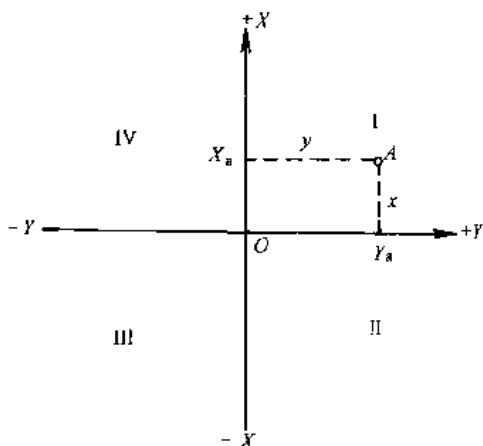


图 1-4

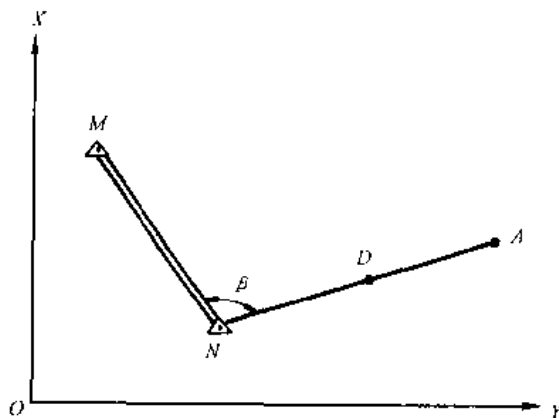


图 1-5

上的方向和坐标的计算。如图 1-5 所示,在实际工作中,并不能直接测出地面点 A 的坐标,而是观测水平角 β 和水平距离 D ,再根据已知点 M 、 N 的坐标和方向,推算出 A 点的坐标和 NA 的方向,以确定其平面位置。

平面直角坐标系的原点,有时是假定的。

三、点的高程

点的位置是空间位置,除确定它在球面或平面上的坐标外,在测量上还用高程来表示它的位置。为了使我国各地区、各部门的高程有一个统一的系统,以便于进行各种测图及各项工程建设,在全国范围内必须确定一个统一的基准面。通常采用大地水准面作为基准面。所谓水准面是假定海洋或湖泊的水面在静止状态下,穿过大陆和岛屿面成为一个闭合的曲面,在这个曲面上,任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面,这样的曲面称为水准面。我国 1956 年由青岛验潮站求出的黄海平均海面(即水准零点)作为高程的基准,然后又在青岛附近建立水准原点,水准原点用玛瑙标志标出,由花岗岩柱石牢固埋设在地质良好的基岩上,用精密水准测量与水准零点联测,求出水准原点高出水准零点 72.289m,这个水准原点称为青岛水准原点,规定我国计算高程的统一起算点。

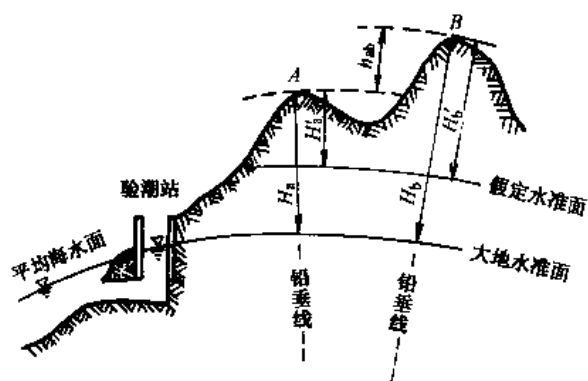


图 1-6

我国把通过水准零点的水准面称为大地水准面,如图 1-6 所示,地面上任意点到水准面的铅垂距离就是该点的高程,如果这个水准面是大地水准面,这个铅垂距离就称为绝对高程,也称为海拔。比如说,珠穆朗玛峰海拔为 8 848.13m,就是说它高出大地水准面 8 848.13m。在局部地区,也可以假定一个水准面作为高程的起算面,地面上一点到假定水准面的铅垂距离称为相对高程,也称假定高程。

两点高程之差称为高差,如图 1-6 中,地面点 A 的绝对高程为 H_a ,相对高程为 H'_a ;地面点 B 的绝对高程为 H_b ,相对高程为 H'_b ,A、B 两点的高差为 h_{ab} ,即:

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

在水准路线上,每隔若干公里设置一个精度相当高的水准点,作为高程的控制点。国家水准测量设置的为永久性水准点;工程水准测量设置的为临时性水准点。各个水准点都有精度相当高的绝对高程值。水准点用 BM 表示。

第二章 距离测量和直线定向

第一节 概 述

距离测量是公路中线测量中的基本内容之一。距离是指地面上两点间的水平距离,它需要用标志将点位固定下来。点的标志根据测量的具体要求和使用年限不同,可分为临时性的和永久性的两种。临时性的标志可用木桩打入地中,桩顶略高于地面,并在桩顶画一个十字或钉一钉子表示点的位置。如图 2-1a)所示。永久性的标志可用混凝土桩或大铁钉或石桩表示点位,如图 2-1b)所示。

为了远处能明显的看到目标,方便寻找,可在桩顶的点位上竖立标杆,杆顶端系一红白小旗,如图 2-2 所示。

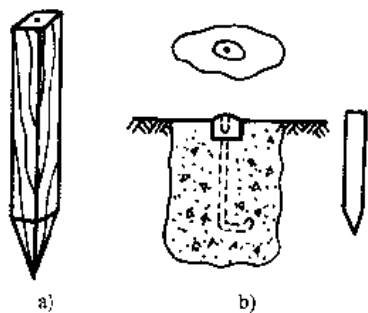


图 2-1

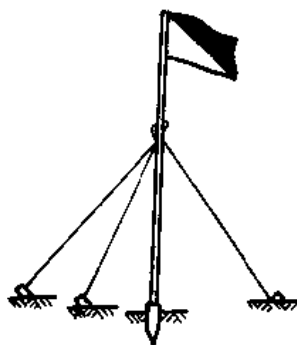


图 2-2

第二节 测距工具

常用的量距工具有钢尺、皮尺、测绳和花杆、测钎、垂球等,使用时可根据测量工作精度要求的不同进行选择。

钢尺又称钢卷尺,如图 2-3a)所示,由带状薄钢条制成,一般用于精度要求较高的量距工作中,长度有 20m、30m 和 50m 等几种。在尺的起点 10cm 内刻画至 mm,其它部分刻画至 cm,按尺的零点位置不同又分为端点尺和刻线尺两种,如图 2-4a)、b)所示。使用时要特别注意,以免发生错误。

皮尺又称布卷尺,形状同钢尺,如图 2-3b)所示,它是由细铜丝与棉麻线合织而成。现在也有用塑料制成的,尺的长度有 20m、30m 和 50m 等几种,一般刻画至 cm。皮尺的耐拉能力差,其伸缩较大,故常用于普通的低精度量距工作中。

测绳又名绳尺。它是用细金属丝外包线制成,长度有 50m 和 100m 两种,每米处包一金属片,注明米数。一般用于精度要求较低的测量工作中,如图 2-3c)所示。

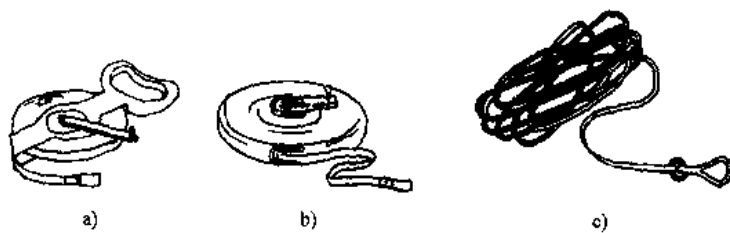


图 2-3

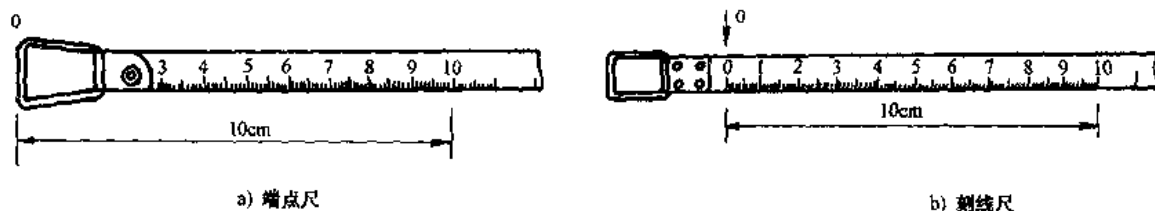


图 2-4

花杆又称标杆、测杆,长为 2m 或 3m,直径为 3cm ~ 4cm,用木杆或玻璃钢管、空心钢管制成。杆上按 20cm 间隔涂上红白漆,杆底为锥形铁脚,长约 10cm。它主要用于显示目标和直线定线,如图 2-5a)所示。

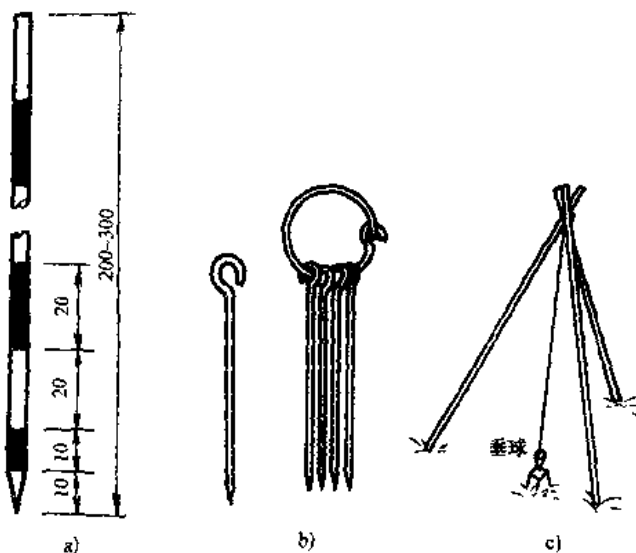


图 2-5

测杆由粗铁丝制成,如图 2-5b),长为 30cm 或 40cm。在丈量时用它来标定尺端点位置和计算所量过的整尺段数。

垂球又称铅垂,是由金属制成,如图 2-5c),是对点的工具。

第三节 直线定线

当两点间距较长或地势起伏很大时,可分成几段进行丈量,在两点连线方向上竖立一些标杆,把许多标杆定在已知直线上的工作称为直线定线。在实际操作时可根据精度高低,采用经纬仪定线和目估法定线。

一、两点间定线

如图 2-6 所示,设 A 、 B 为直线的两端点,需要在 A 、 B 间定出 1、2 两点,使其与 A 、 B 成一

直线。先在 A 、 B 点上竖立标杆,甲立于 A 点后由 A 端瞄向 B 点,单眼视线与标杆边缘相切,用手势指挥持标杆的乙移动,直至 A 、 1 、 B 三点在一条直线上,即标定①点。用同样的方法可以标定②点。

二、互不通视的两点间定线

如图 2-7 所示,设 A 、 B 两点在山头两侧,互不通视,定线时,甲持标杆选择靠近 AB 方向的①₁ 点立杆,①₁ 靠近 A 并能看见 B ,甲指挥乙将标杆定在 B ①₁ 线上得②₁ 点,②₁ 点必须靠近 B 并能看见 A ,然后乙指挥甲把杆移到 A ②₁ 上得①₂ 点。这样逐渐趋近,直到①在② A 直线上,②在① B 直线上为止。这时①、②两点就在 A 、 B 两点的连线上。

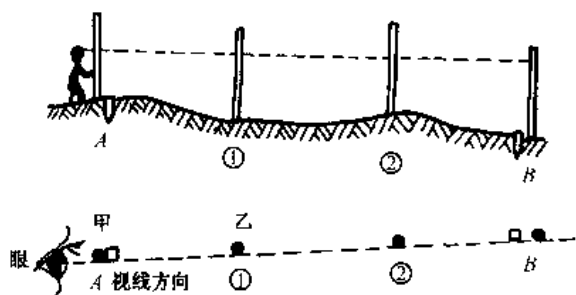


图 2-6

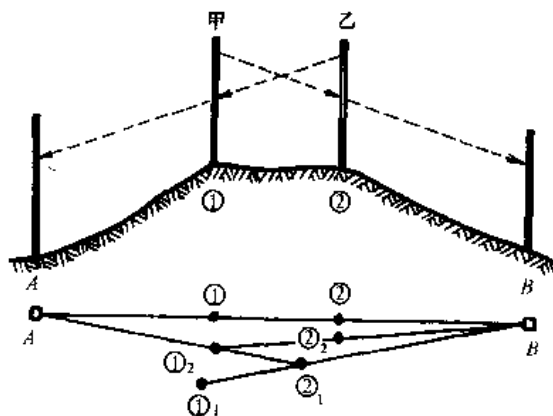


图 2-7

第四节 直线的一般丈量和精密丈量

一、一般丈量

1. 直线标定

丈量的距离一般都比整尺要长,一次不能量完,需要在直线方向上标定一些点,如图 2-8 所示,要丈量 A 、 B 两点间的距离,先标定直线。令甲站在 A 点,乙手持标杆沿前进方向走,走到约一整尺段立标杆,听从甲指挥,把杆立到 AB 直线上,做好记号得①点。然后继续前进用同样的方法可得其它各点。

2. 丈量方法

1) 平坦地区距离丈量

如图 2-9 所示,后尺手站在 A 点,手持尺的零端,前尺手拿着尺盒,并携带测钎,沿丈量方向前进,走到约一整尺段,两尺手蹲下,后尺手把零点对准 A 点,喊“预备”,前尺手把尺通过标定直线时做的记号,两人同时拉紧尺子,当尺拉稳后,后尺手喊“好”,这时前尺手把测钎对准尺末端整尺段处的刻画线垂直插入地面上,就量完一尺段。用同样的方法依次丈量其它各尺段,最后不足一整尺段时,由前尺手用尺上某整刻画线对准 B 点,后尺手

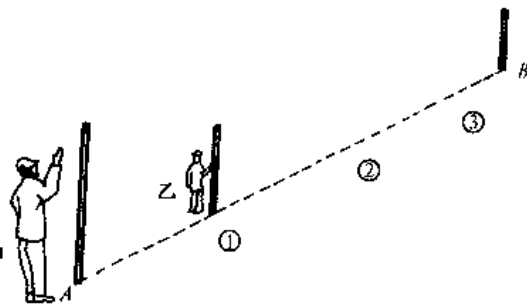


图 2-8

在尺的零端附近读数至 mm, 即得余长 Δl 。AB 间的距离(全长) D 为:

$$D = nl + \Delta l \quad (2-1)$$

式中: l ——整尺段的长度;

n ——丈量的整尺段数或后尺手中测针数;

Δl ——余长。

按着调转尺头, 从 B 至 A 进行返测, 它和从 A 至 B 进行的往测合称为一测回。在符合精度要求时, 取往返距离的平均值作为丈量结果的测回值。

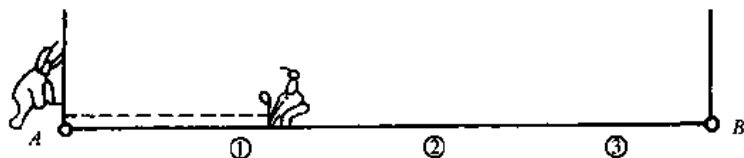


图 2-9

2) 山区的距离丈量

当山区的地面坡度不大时, 可将尺抬平丈量, 如图 2-10a) 所示, 分段量取水平距离, 最后计算总长。若地面倾斜的坡面均匀时, 可沿斜坡量出斜距 L , 然后计算出水平距离 D , 如图 2-10b) 所示。为了计算水平距离 D , 可测出倾斜角 α 或测出两点间的高差 h , 则水平距离 D 为:

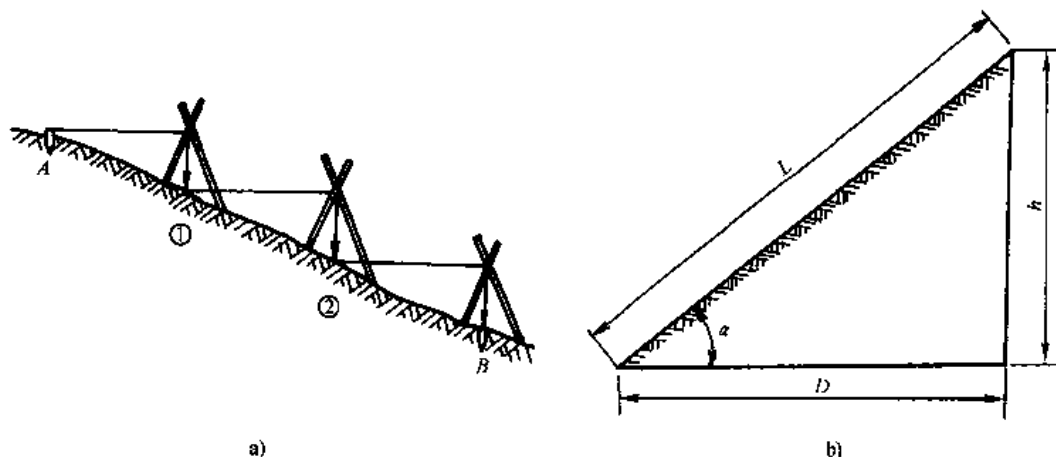


图 2-10

$$D = L \cos \alpha \quad (2-2)$$

或

$$D = \sqrt{L^2 - h^2} \quad (2-3)$$

二、精密丈量

1. 精密量距的方法

1) 清理场地

将沿丈量直线方向上的障碍物、杂草、土坎等影响丈量的障碍物清除掉。

2) 经纬仪定线

在丈量前, 根据丈量时所用的钢尺长度, 一般每一尺段要比钢尺全长略短一点打一木桩, 桩顶高出地面 20cm 左右, 在桩顶画出十字线或钉小钉。

3) 测量高差

精密丈量是沿桩顶进行的,但各桩顶不一定同高,须用水准仪测出相邻各桩顶间的高差。

4)精密丈量

(1)如图 2-11 所示 AB 直线,前尺手持尺零端至第一尺段的前点 1,将弹簧秤挂在尺前端,后尺手持尺的末端至 A 点。

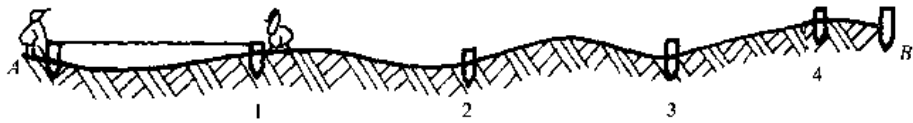


图 2-11

(2)用标准拉力(钢尺检定时的拉力)拉紧钢尺,使钢尺刻画紧贴桩顶的十字刻画线。

(3)当钢尺稳定后进行读数,记录者计算尺段长度。

(4)按上述方法再读两次,但每次须移动后尺的刻画(整 cm 刻画),三次丈量的长度最大较差不超过容许限差,取三次结果的平均值作为尺段的结果。每测完一尺段,用温度计读取一次温度。

(5)前、后尺手拉尺,其余人在中间托尺,前进至第二尺段,按前法继续丈量至 B 点,如此丈量一次称为往测。然后进行返测。记录计算见表 2-1。

精密量距记录计算表

表 2-1

地点: × × ×		标准拉力: 98N		丈量次数: 3		记录: × × ×			
日期: × × × × × × ×		标准温度: 20°C		前读尺: × × ×		计算: × × ×			
天气: × × ×		尺长改正数: + 2.5mm		后读尺: × × ×		校核: × × ×			
尺段 (起迄 点号)	次数	前尺 读数 (mm)	后尺 读数 (m)	尺段 长度 (m)	尺段平均 长度 (m)	温度 温度改正数 (mm)	高差 高差改正数 (mm)	尺长改 正数 (mm)	改正后 的尺段长度 (m)
A - 1	1	76.5	29.93	29.853 5	29.854 0	25.8°C + 2.1	- 0.152 - 0.4	+ 2.5	29.858 2
	2	65.5	29.92	29.854 5					
	3	86.0	29.94	29.854 0					
1 - 2	1	18.0	29.89	29.872 0	29.871 8	27.6°C + 2.7	- 0.174 - 0.5	+ 2.5	29.876 5
	2	9.0	29.88	29.871 0					
	3	27.5	29.90	29.872 5					
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4 - B	1	80.0	18.97	18.890 0	18.889 3	27.5°C + 1.6	+ 0.065 - 0.1	+ 1.6	18.892 4
	2	61.5	18.95	18.888 5					
	3	50.5	18.94	18.889 5					

2. 长度的计算

(1)计算尺段长度

尺段长度 d = 后尺读数 - 前尺读数

例如表 2-1 中 A-1 尺段的尺段长度为:

$$29.8535 = 29.93 - 0.0765$$

$$29.8545 = 29.92 - 0.0655$$

$$29.8540 = 29.94 - 0.086$$

$$\text{尺段平均长度 } \bar{d} = \frac{29.8535 + 29.8545 + 29.8540}{3} = 29.8540\text{m}$$

其它尺段长计算方法与上相同。

(2) 尺长改正

设钢尺的名义长度为 l_0 (30m), 检定后实际长为 l (30.0025m), 则每尺段的尺长改正数为:

$$\Delta l = \frac{l - l_0}{l_0} \times \bar{d} \quad (2-4)$$

表 2-1 中 A-1 尺段的尺长改正数为:

$$\Delta l = \frac{30.0025 - 30}{30} \times 29.8540 = 0.0025\text{m} = 2.5\text{mm}$$

其它尺段的尺长改正计算方法相同。

(3) 温度改正

设钢尺在检定时温度为 t_0 , 丈量时的温度为 t , 钢尺的膨胀系数为 α ($\alpha = 1.25 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$), 则每尺段温度改正数为:

$$l_t = \alpha(t - t_0)\bar{d} \quad (2-5)$$

表 2-1 中 A-1 尺段的温度改正数为:

$$l_t = 1.25 \times 10^{-5} \times (25.8 - 20) \times 29.8540 = 0.0021\text{m} = 2.1\text{mm}$$

其它尺段的温度改正计算方法相同。

4) 高差改正

如图 2-12 所示, 由于丈量每一尺段木桩的高度不同, 因而实际丈量为斜距长度 d (见图 2-12), 必须改正成水平距离 d' , 则:

$$h^2 = d^2 - d'^2$$

$$d - d' = \frac{h^2}{d + d'}$$

高差一般较小, d 和 d' 相差甚微, 故高差改正数为:

$$l_h \approx -\frac{h^2}{2d} (\because d > d' \therefore l_h \text{ 为负值}) \quad (2-6)$$

表 2-1 中 A-1 尺段的高差改正数为:

$$l_h \approx -\frac{(-0.152)^2}{2 \times 29.8540} = -0.0004\text{m} = -0.4\text{mm}$$

其它各尺段的高差改正数计算方法相同。

改正后的尺段长度 d'' 为:

$$d'' = \bar{d} + \Delta l + l_t + l_h \quad (2-7)$$

表 2-1 中 A-1 尺段改正后的尺段长度为:

$$d'' = 29.8540 + 0.0025 + 0.0021 + (-0.0004) = 29.8582\text{m}$$

其它各尺段长度计算方法相同。

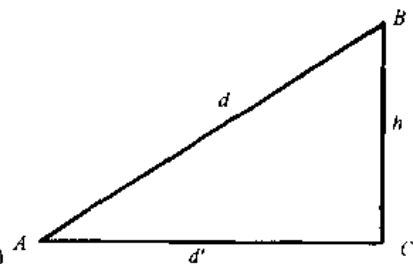


图 2-12

三、丈量精度

评定距离丈量的精度,是用相对误差来表示的,相对误差 f 为:

$$f = \frac{|D_{ab} - D_{ba}|}{\frac{1}{2}(D_{ab} + D_{ba})} \quad (f \text{ 化为 } \frac{1}{N} \text{ 的形式}) \quad (2-8)$$
$$= \frac{1}{(D_{ab} + D_{ba})/2 \mid \Delta D \mid}$$

在平坦地区,用钢尺丈量精度高于 $1/3000$,在山区也不应低于 $1/1000$,精密丈量当进行小区域控制测量时,经过各项改正后的量距精度应达到 $\frac{1}{40000} \sim \frac{1}{10000}$ 。

[例] 在山区丈量 AB 两点间的距离,往测 $D_{ab} = 286.58\text{m}$,返测 $D_{ba} = 286.44\text{m}$,计算 AB 间的距离及相对误差。

解:

$$\Delta D = 286.58 - 286.44 = 0.14\text{m}$$

$$\text{平均距离 } D = \frac{286.58 + 286.44}{2} = 286.51\text{m}$$

$$f = \frac{0.14}{286.51} = \frac{1}{2046} < \frac{1}{1000}$$

符合精度要求。

四、量距误差与注意事项

影响量距精度的因素较多,主要有定线误差、尺长误差、温度误差、倾斜误差、拉力不均匀误差、读数误差等等。

1. 定线误差

由于量距时没有准确地将尺子安放在待测距离的直线方向上,所测的距离是折线距离,使结果有偏差,因而在丈量前必须认真定线。

2. 尺长误差、温度误差和拉力误差

由于尺具有弹性,在受力和热胀冷缩时都会变形,从而影响丈量结果,所以应对此进行相应的改正,减少其影响。

3. 对准及读数误差

量距时应对点准确;读数时,要集中精力,避免把数字读错或颠倒。记录者不能听错、记错。

第五节 直线定向

一、基本方向线

确定直线与基本方向线之间的夹角,称为直线定向。用于直线定向的基本方向线有三种:真子午线、磁子午线、轴子午线。

1. 真子午线

通过地面上一点指向地球南北两极的方向线就是该点的真子午线,它可用天文观测获得。

2. 磁子午线

磁针静止时所指的方向,就是该点的磁子午线方向,它可用罗盘仪测定。

由于地球的磁南北极与地球南北极并不一致,地面上同一点的真、磁子午线不重合,其夹角称为磁偏角,用 δ 表示。当磁子午线在真子午线东侧,称东偏, δ 为正;磁子午线在真子午线西侧,称西偏 δ 为负,如图 2-13 所示。磁偏角 δ 是因地理位置不同而变化的。我国 δ 的变化范围大约在 $+6^\circ$ (西北地区)至 -10° (东北地区)之间。

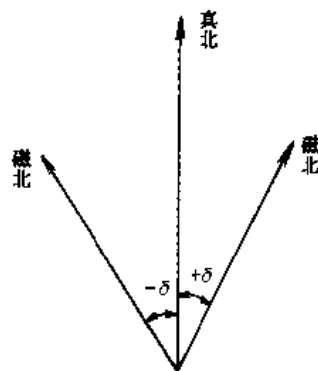


图 2-13

3. 轴子午线

坐标纵轴所指的方向,为轴子午线方向。由于地面上各点真子午线都是指向地球的南北两极,所以不同地点的子午线方向不是互相平行的,而磁子午线方向都是指向地球的磁南北极的,其不同点的磁子午线方向也是不平行的,这就给工作带来不便。因此,在普通测量中,一般均采用纵坐标方向作为标准方向。这样测区内地面各点的标准方向就都是互相平行的。以后各章有关定向问题,都以轴子午线为主。

二、方位角和象限角

方位角和象限角是直线定向的两种方法。

1. 方位角

如图 2-14 所示,由子午线北端顺时针方向量到某直线上的夹角,称为该直线的方位角,方位角的角值范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

由真子午线北端起算的方位角称为真方位角,用 A 表示。

由磁子午线北端起算的方位角称为磁方位角,用 A_m 或 A' 表示。

由轴子午线起算的方位角称为坐标方位角,用 α 表示。

设直线 AB 前进方向的正坐标方位角为 α_{AB} ,如图 2-15 所示,其相反方向(BA)的坐标方位角 α_{BA} 为反坐标方位角。同一直线正、反坐标方位角相差 180° ,即:

$$\alpha_{正} = \alpha_{反} \pm 180^\circ \quad (2-9)$$

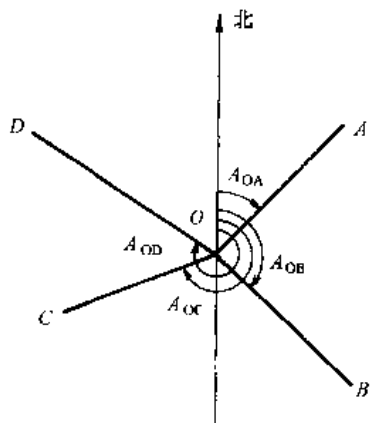


图 2-14

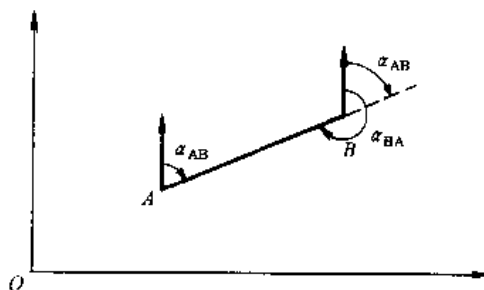


图 2-15

2. 象限角

如图 2-16 所示,由子午线的北端或南端顺时针或逆时针方向量到直线的锐角叫象限角,角值在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间,用 R 表示,并用 E、W、S、N 表示东西南北。

如图 2-16 所示,直线 OA 、 OB 、 OC 、 OD 的象限角为:

$$R_{OA} = N30^\circ E \quad \text{或} \quad R_{OA} = \text{北偏东 } 30^\circ$$

$$R_{OB} = S45^\circ E \quad \text{或} \quad R_{OB} = \text{南偏东 } 45^\circ$$

$$R_{OC} = S85^\circ W \quad \text{或} \quad R_{OC} = \text{南偏西 } 85^\circ$$

$$R_{OD} = N60^\circ W \quad \text{或} \quad R_{OD} = \text{北偏西 } 60^\circ$$

反象限角与正象限角注记方法有所不同,它们的角值相同,但方向相反。如图 2-16 中 OA 的反象限角 $R_{AO} = S30^\circ W$ 。

3. 方位角与象限角的关系

由于方位角与象限角都是依据基本方向线确定角度和方向的,因此两者可以互相换算,它们之间的关系如图 2-17 所示。

4. 公路导线方位角的计算

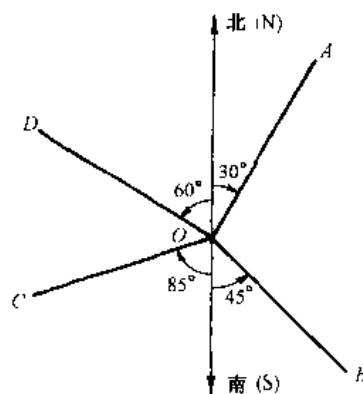


图 2-16

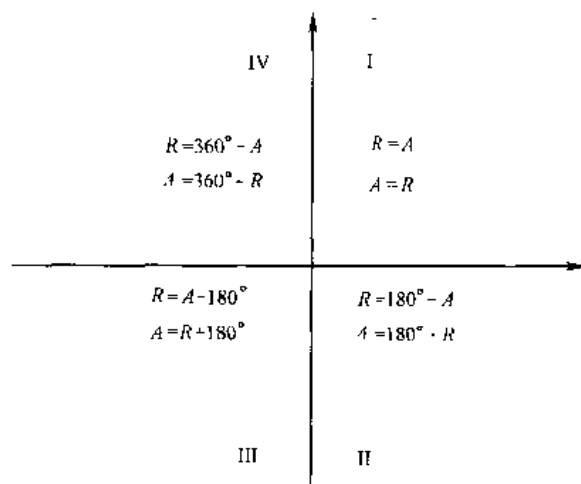


图 2-17

如图 2-18 所示,在低等级公路中线测量中,为了便于测定方向,起始边 AB 的方位角是用罗盘仪测定,其它各边均用推算的方法算出。推算公式为:

$$\left. \begin{aligned} A'_{\text{前}} &= A'_{\text{后}} + 180^\circ - \beta_{\text{右}} \\ A'_{\text{前}} &= A'_{\text{后}} - 180^\circ + \beta_{\text{左}} \end{aligned} \right\} \quad (2-10)$$

式中: $A'_{\text{前}}$ ——为未知边的磁方位角;

$A'_{\text{后}}$ ——为已知边的磁方位角;

$\beta_{\text{左}} \beta_{\text{右}}$ ——两条导线所夹的左、右角值。

上式中,当加 180° 减 $\beta_{\text{右}}$ 或加 $\beta_{\text{左}}$ 减 180° 不够减时,须加 360° ;如所得方位角大于 360° 时,应减去 360° 。

[例] 某公路中线测量资料如图 2-18 所示,试计算其它各边的磁方位角,并换算成象限角。

解:据公式(2-10)得:

$$A'_{BC} = A'_{AB} + 180^\circ - \beta_{\text{右}} = 60^\circ + 180^\circ - 140^\circ 15' = 99^\circ 45'$$

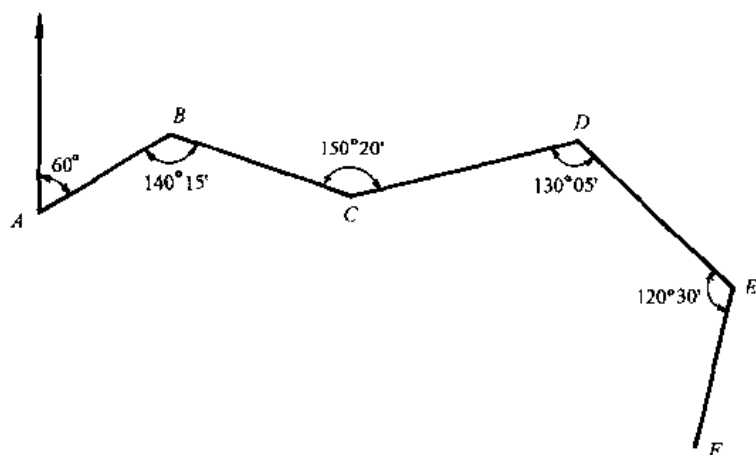


图 2-18

$$R_{BC} = 180^\circ - 99^\circ45' = 80^\circ15' \text{ 即 } R_{BC} = S80^\circ15'E$$

$$A'_{CD} = A'_{BC} - 180^\circ + \beta_{\text{左}} = 99^\circ45' - 180^\circ + 150^\circ20' = 70^\circ05'$$

$$R_{CD} = N70^\circ05'E$$

$$A'_{DE} = A'_{CD} + 180^\circ - \beta_{\text{右}} = 70^\circ05' + 180^\circ - 130^\circ05' = 120^\circ00'$$

$$R_{DE} = 180^\circ - 120^\circ00' = 60^\circ00' \text{ 即 } R_{DE} = S60^\circ E$$

$$A'_{EF} = A'_{DE} + 180^\circ - \beta_{\text{右}} = 120^\circ00' + 180^\circ - 120^\circ30' = 179^\circ30'$$

$$R_{EF} = 180^\circ - 179^\circ30' = 0^\circ30' \text{ 即 } R_{EF} = S0^\circ30'E$$

第六节 罗盘仪的构造和使用

一、罗盘仪的构造

罗盘仪是测定直线磁方位角或磁象限角的仪器,如图 2-19 所示。它主要由望远镜、罗盘盒和基座三部分组成。

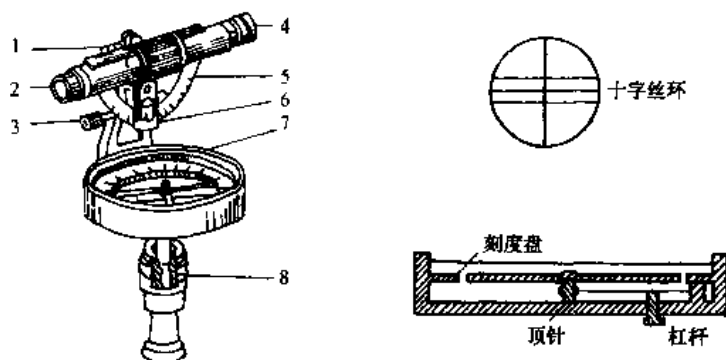


图 2-19

1-望远镜制动螺旋;2-目镜;3-望远镜微动螺旋;4-物镜;5-竖直度盘;6-竖直度盘指标;7-罗盘盒;8-球白

1. 望远镜

望远镜是用来照准目标用的设备,由物镜、目镜、十字丝组成。使用时转动目镜看清十字丝,用望远镜照准目标,转动对光螺旋看清目标,并以十字丝交点对准目标。望远镜一侧附有

竖直度盘,可测竖直角。

2. 罗盘盒

罗盘盒盒内磁针安在度盘中心顶针上,可自由转动,为减少顶针的磨损,不用时用磁针制动螺旋将磁针升起,固定在玻璃盖上。刻度盘一般刻有 1° 或 $30'$ 的分画,每隔 10° 有一注记,按逆时针方向由 $0^\circ \sim 360^\circ$,或按逆时针或顺时针方向从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 以南端或北端为起点注记,盘内注有 N(北)、S(南)、E(东)、W(西)字。盒内水准器用来使度盘水平。

3. 基座

它是球臼结构,安在三脚架上,松开球臼接头螺旋,转动罗盘盒使水准气泡居中,再旋紧球臼接头螺旋,此时度盘就处于水平位置。

我国位于北半球,由于磁针两端受地球两个磁极引力的不同影响,则磁针北端往下倾斜,为了使磁针水平,常在磁针南端加上几圈细铜丝。

二、罗盘仪的使用

用罗盘仪测定某一直线的磁方位角或象限角的方法是:

(1)安置罗盘仪于直线的一端,进行对中、整平。对中是使罗盘仪三脚架上挂的垂球对准直线上的点,整平是使度盘水平。

(2)松开磁针固定螺旋,使它自由转动。

(3)用望远镜瞄准直线的另一端点,待磁针静止时,读出磁针北端(是当望远镜的物镜在刻度圈 0° 的上方或有 N(北)的上方时,读磁针北端的读数;反之读南端)所指的盘度读数。

三、使用罗盘仪的注意事项

(1)借用罗盘仪时,应作简单的测试,比如检查磁针的磁力是否有足够的强度。两次分别瞄准同一点,读数之差以不超过 $30'$ 为宜,否则说明磁力不足,应对磁针充磁。另外应检查各组成部分是否正常。

(2)罗盘仪不能在高压线、铁矿区、铁路旁等使用。

(3)罗盘仪使用完毕后,应将磁针升起,固定在顶盖上,以免磁针磨损。

第三章 水准测量

第一节 水准测量的原理

水准测量是高程测量的一种,它的原理是利用水准仪的水平视线,在已知高程点和未知高程点上竖立水准尺并读取读数,测定两点间的高差,从而可由已知点的高程推算出未知点的高程。

如图 3-1 所示,欲测点 A 、 B 间的高差 h_{AB} ,先在 A 、 B 两点间安置水准仪,在 A 、 B 两点上各立水准尺,设水准仪的水平视线对 A 点的水准尺读数为 a ,对 B 点水准尺读数为 b ,则 A 、 B 两点的高差为:

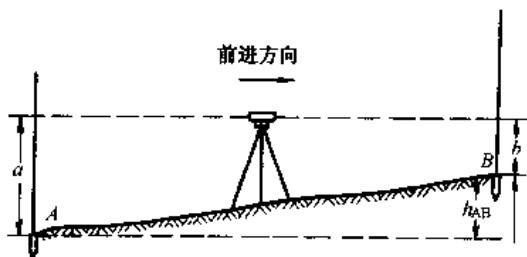


图 3-1

$$h_{AB} = a - b \quad (3-1)$$

通常水准测量是由已知高程点推算未知高程点。如图 3-1 所示, A 点为已知程点,向未知高程点 B 点前进,所以 A 为后视点, a 为后视读数; B 为前视点, b 为前视读数。由此可见,两点间的高差等于后视读数减前视读数。如果后视读数大于前视读数,则高差为正,表示 B 点高于 A 点;反之则 B 点低于 A 点。

测得两点的高差后,若已知 A 点的高程为 H_A ,则 B 点的高程 H_B 可按式计算,即:

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (3-2)$$

第二节 水准仪与水准尺

水准仪是水准测量的主要仪器,按其精度有 $DS_{0.5}$ 、 DS_1 、 DS_3 、 DS_{10} 、 DS_{20} 几种等级。“D”表示大地;“S”是水准仪的汉语拼音字头;0.5、1、3、10、20 表示该仪器的精度,即每公里往、返水准测量误差,以 mm 为单位。其中 DS_3 水准仪为普通工程使用的水准仪。

一、微倾式水准仪的构造

如图 3-2 所示,水准仪主要由望远镜、水准器、基座组成。水准仪的望远镜只能绕竖轴在水平方向转动,但为了观测时方便起见,在仪器构造上安置了一个能使望远镜作上下微小转动的微倾螺旋,所以又称微倾式水准仪。

1. 望远镜

望远镜由物镜、目镜和十字丝三个主要部分组成,其主要作用是看清远处的目标并提供一条照准读数用的视线。

图 3-3 是内对光望远镜构造图。目标经过物镜和对光凹透镜的作用,在镜筒内造成倒立

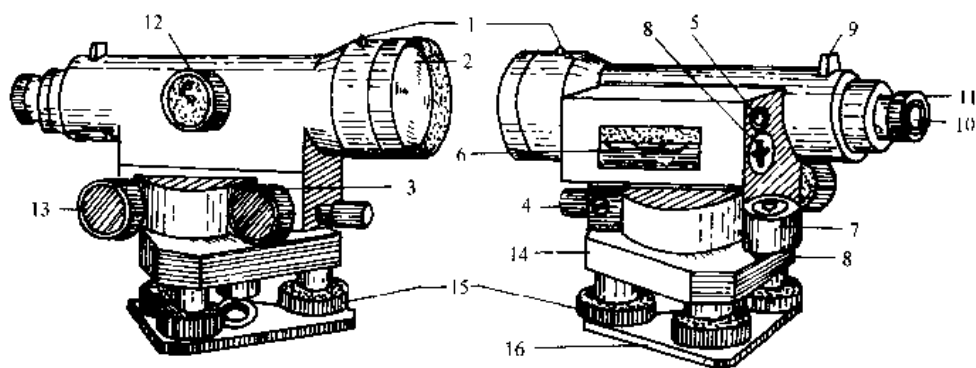


图 3-2

1-准星;2-物镜;3-微动螺旋;4-制动螺旋;5-符合水准器观察镜;6-水准管;7-水准盒;8-校正螺丝;9-

照门;10-目镜;11-目镜对光螺旋;12-物镜对光螺旋;13-微倾螺旋;14-基座;15-脚螺旋;16-连接板

的、缩小的实像。转动对光螺旋,即调节对光凹透镜,可以使目标倒像清晰地反映到十字丝平面上。目镜的作用是放大,人们通过目镜看到的是倒立的小实像和十字丝一起放大的虚像。十字丝的作用是提供照准目标的标准。

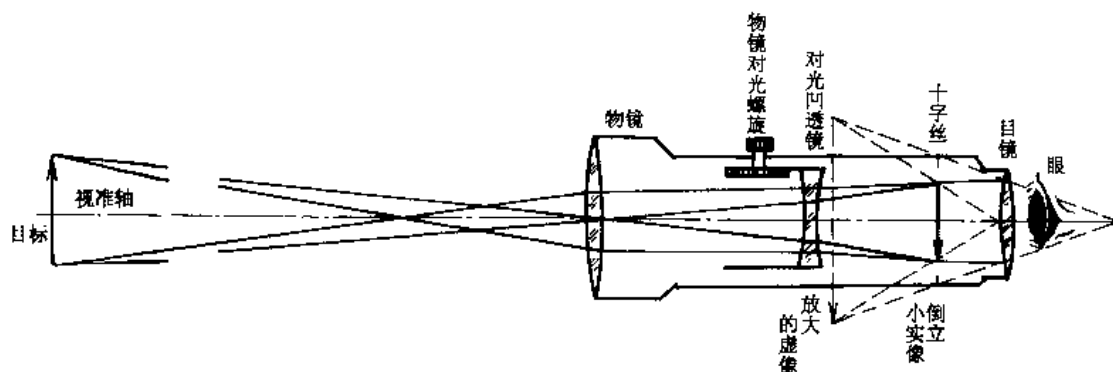


图 3-3

为了提高望远镜成像的质量,物镜、目镜、对光透镜由多块透镜组合而成。物镜与对光透镜组合后的等效焦距与目镜等效焦距之比,称望远镜的放大率。它既能鉴别望远镜的质量,又能反映望远镜的分辨能力,一般水准仪望远镜的放大率为 15~30 倍,高精度的可达 40~50 倍。

十字丝是在玻璃片上刻线后,装在十字丝环上,用校正螺丝固定在望远镜的镜筒上。如图 3-4 所示,十字丝的交点和物镜光心的连线称视准轴。十字丝上下两种短线称视距丝,由上丝和下丝在水准尺上的读数可求得仪器距立尺点的距离。

为了控制望远镜的水平转动,使视准轴精确地对准目标,水准仪都装有制动螺旋和微动螺旋。拧紧制动螺旋时,望远镜在水平方向不转动,但可以通过微动螺旋使望远镜在水平方向做微小的转动。当制动螺旋松开时,微动螺旋就失去了作用。有些仪器是靠摩擦制动,无制动螺旋而只有微动螺旋。

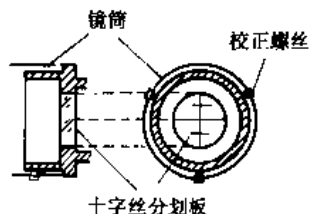


图 3-4

2. 水准器

水准器是用来使望远镜的视准轴处于水平位置。由于置平的精度不同,水准器分为水准管和圆水准器两种。

1) 水准管

如图 3-5 所示,水准管是由玻璃圆管制成,其内壁磨成一定半径的圆弧,管壁上有刻线,管内装有酒精和乙醚混合液,密封后留有气泡。

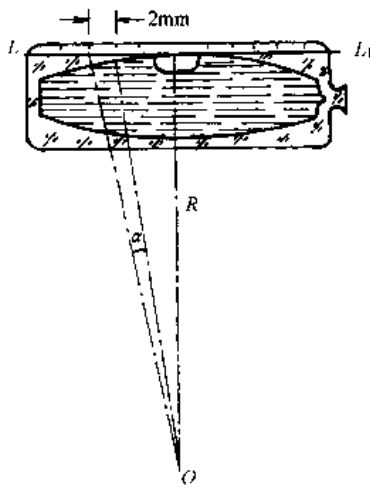


图 3-5

水准管圆弧中点称水准管零点,过零点与内壁圆弧相切的直线称水准管轴,如图 3-5 中的 LL_1 。水准管气泡居中时,水准管处于水平位置。从零点向两侧刻有 2mm 间隔的分画线,2mm 分画线间的圆弧所对的圆心角,称为水准管的分画值,用 α 表示。常用测量仪器水准管的分画值为 $10''$ 、 $20''$,分别用 $10''/2\text{mm}$ 、 $20''/2\text{mm}$ 表示。 DS_3 型水准仪上水准管的分画值为 $20''/2\text{mm}$ 。

用校正螺丝将水准管轴安装成与视准轴平行,当调节微倾螺旋使水准管气泡居中时,水准管轴水平,视准轴也就处于水平位置。

为了提高人眼观察水准管气泡居中的精度,在水准仪水准管的上方安装一组棱镜,如图 3-6,借助于棱镜的反射作用,把气泡两端的影像折射到望远镜旁的观察窗内,当气泡两端的像对合成一圆弧时,表示气泡居中。

2) 圆水准器

如图 3-7 所示,将圆柱形的玻璃盒装在框盒内,同水准管一样,玻璃盒内装有酒精或乙醚,玻璃盒顶内壁为球面形,中央刻有一个小圆圈,它的中心是圆水准器的零点。通过零点和球心的连线 $L'L_1$ 称为圆水准轴。当气泡居中时,圆水准轴就处于铅垂位置。圆水准器的分画值一般为 $5'/2\text{mm} \sim 10'/2\text{mm}$ 。与水准管相比,它的分画值大得多,灵敏度低得多,故一般用于水准仪的粗略整平,使水准仪的纵轴大致处于铅垂位置,以便能使用微倾螺旋使水准管精确居中。

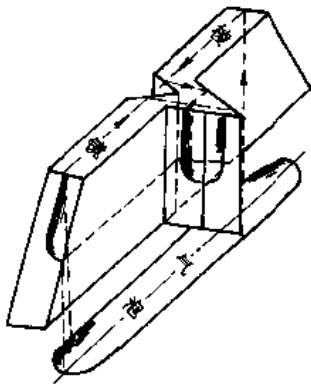


图 3-6

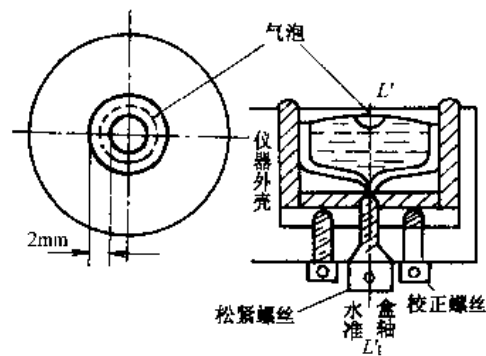


图 3-7

用校正螺丝将水准盒轴安装成与仪器竖轴相互平行,当调节脚螺旋使水准盒气泡居中时,竖轴就处于铅垂位置,仪器就概略水平了。

3) 基座

基座主要是由轴座,脚螺旋和连接板组成。仪器上部通过竖轴插入轴座内,由基座承托;整个仪器用连接螺旋与三脚架连接。

二、水准尺

水准尺是与水准仪配合进行水准测量的工具。它是由于干燥优质木材或玻璃钢制成,长度从 2m 到 5m 不等,根据它们的构造可分为直尺、折尺、塔尺三种。直尺中又分单面分画尺和双面分画尺两种,如图 3-8 所示。

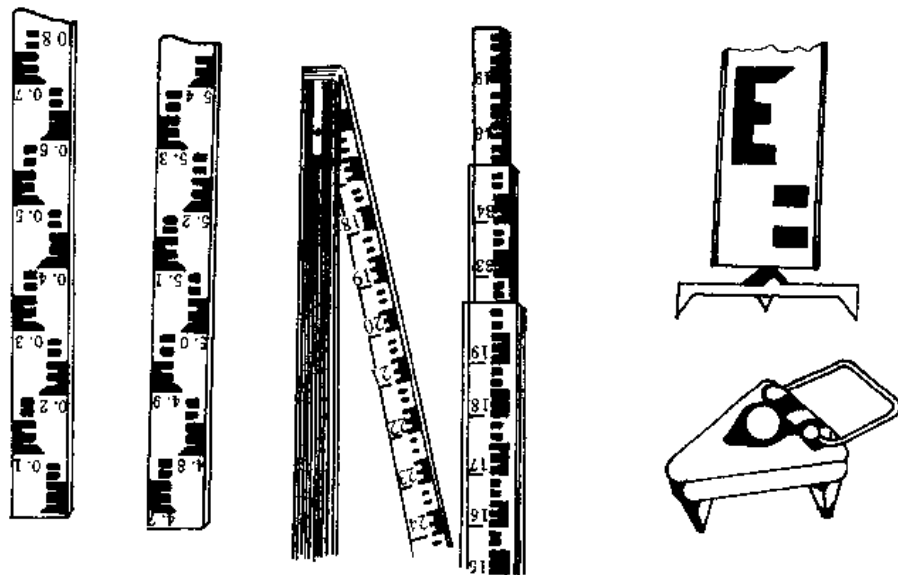


图 3-8

水准尺尺面每隔 1cm 或 0.5cm 涂以黑白或红白相间的分格,每 10cm 处注有阿拉伯数字。超过 1m 的注记加红点,如 6 表示 1.6m,6 表示 2.6m。也有用 1.6、2.6 字样表示的。双面刻画有正字或倒字,它有黑面尺和红面尺两面。黑面尺尺底是从零开始,而红面尺的尺底是从某一数值如 4 678mm(或 4 787mm)开始。利用两面尺的零点位置差可以对水准读数进行校核。

在使用水准尺时,为防止观测过程中水准尺下沉而影响读数,应在尺下地面上放尺垫并踩实,如图 3-8 所示。

第三节 水准仪的安置与使用

首先在测站上张开三脚架,高度适合观测者观测,架顶大致水平,然后将水准仪用连接螺旋安装在三脚架上。

进行水准测量时的操作程序为:粗平、瞄准、精平、读数。

一、粗 平

粗平是调节仪器脚螺旋使圆水准气泡居中,以达到水准仪的竖轴近似垂直,视线大致水平的目的。具体的操作方法是:先将三脚架两只铁脚踩入土中,观测者操纵三脚架的一条腿前、后、左、右移动,直到圆水准气泡基本居中时,固定这条腿不动,然后调节三个脚螺旋使气泡完全居中。如图 3-9a),中间为圆水准器,虚线圆圈代表气泡所在位置,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,即图 3-9b)的实线圆圈所在的位置,再按图 3-9b)中箭头所指的方向,用左手转动脚螺旋③,使气泡居中。水准气泡移动的方向

向始终与左手大拇指转动脚螺旋的方向一致,两手转动方向应是相对的。

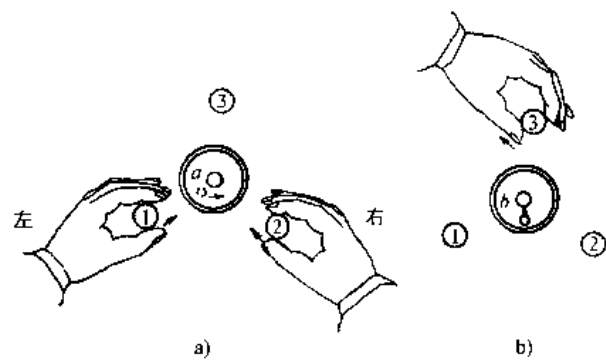


图 3-9

二、瞄 准

瞄准就是通过望远镜镜筒外的缺口和准星瞄准水准尺,使其在镜筒内清晰地看到水准尺和十字丝。具体的操作方法是:先转动目镜对光螺旋,使十字丝的成像清晰,然后用望远镜的缺口和准星瞄准水准尺,转动物镜对光螺旋,当在望远镜内看到水准尺影像时,即将制动螺旋拧紧,转动微动螺旋,使十字丝竖丝瞄准尺面的中央。在上述操作过程中,由于目镜、物镜对光不精细,目标影像平面与十字丝平面未严格重合,当眼睛靠近目镜上下微微晃动,物像随着眼睛的晃动而上下移动,这说明存在视差,如图 3-10a)所示。消除视差的方法是仔细、反复交替地调节目镜和物镜对光螺旋,使十字丝和目标影像在同一平面内且都十分清晰,直到没有相对移动的现象为止,如图 3-10b)所示。

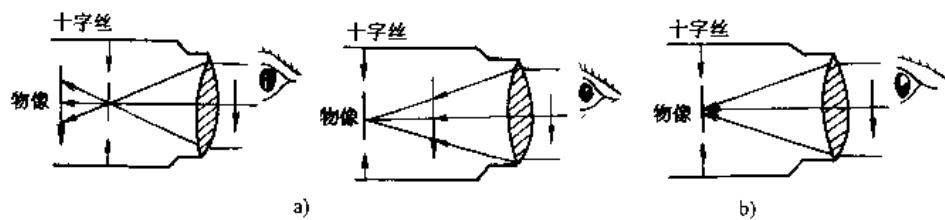


图 3-10

三、精 平

精平就是调节微倾螺旋使符合水准气泡居中,从而得到一条严格的水平视线。图 3-11a)为气泡居中 b)、c)为气泡不居中。调节的规律是:左半侧水准管气泡影像的移动方向与微倾

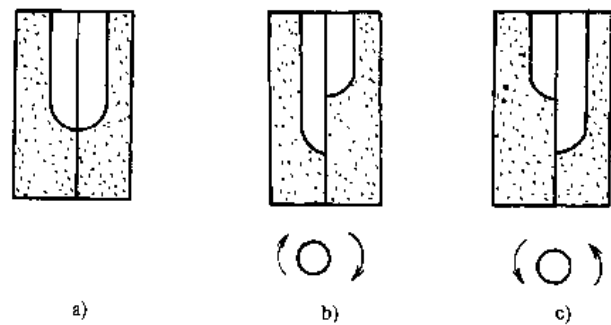


图 3-11

螺旋转动方向一致。即按图中所示的箭头方向转动微倾螺旋,使气泡居中。应注意的是,当转动仪器后,水准管气泡又会产生微小的偏差,因此每瞄准一次水准尺,都应转动微倾螺旋,使水准管的气泡重新居中后,才能在水准尺上读数。

四、读数

水准仪经精平后,应立即用十字丝中丝在水准尺上读数。读数时要按由小到大的方向,先估读出 mm 数,然后再读 cm、dm、m 数,如图 3-12 所示,水准尺上的读数为 0.725m。读数前应检查符合水准气泡是否居中,以保证在水平视线上读数。

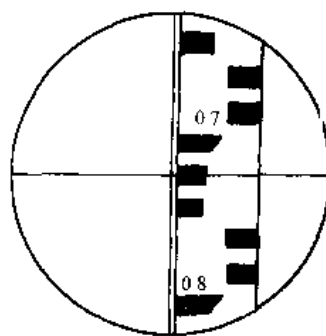


图 3-12

第四节 普通水准测量

一、普通水准测量的方法

水准测量中,要测定两点间的高差,当两点相距很远或高差很大时,必须把两点间距分成若干段,使每段都按基本方法进行水准测量,然后依次推算高差和计算高程,如图 3-13 所示。

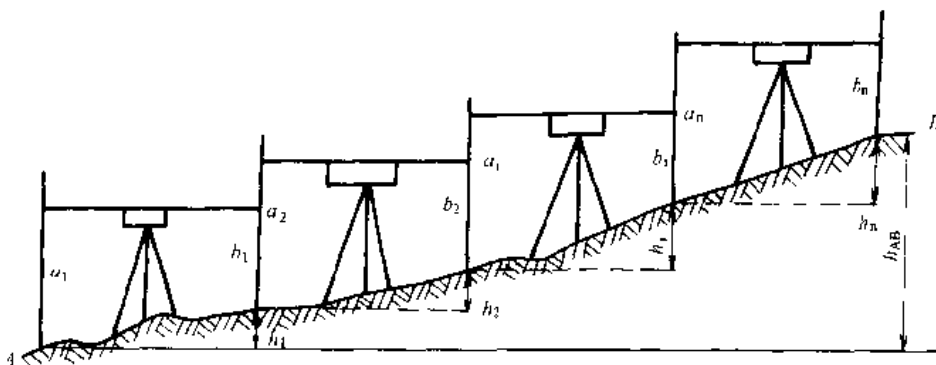


图 3-13

$$\begin{aligned} h_{AB} &= h_1 + h_2 + \cdots + h_n = \sum h \\ &= (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + \cdots + (a_n - b_n) \\ &= (a_1 + a_2 + \cdots + a_n) - (b_1 + b_2 + \cdots + b_n) \end{aligned} \quad (3-3)$$

$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i \quad (3-4)$$

若 A 点高程 H_A 为已知,则 B 点高程 H_B 为:

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (3-5)$$

在分段水准测量中,高程是依次由 1、2...等点传递过来的,这些传递高程的点称为转点,用 ZD 表示。转点既有前视读数,又有后视读数,转点直接影响到水准测量的精度,因此,转点

要选在坚实、凸起、明显的位置,若在一般地面上,应放尺垫并踩实。

图 3-14 是一段水准测量施测示意图。表 3-1 是水准测量记录表格式。测量记录是如实反映外业观测成果的依据,为保证测量记录的正确性和原始性,记录本不能誊抄和涂改。如外业错记时,画去错记数字,在其画去的上方写上正确数字,不得使用橡皮擦改。

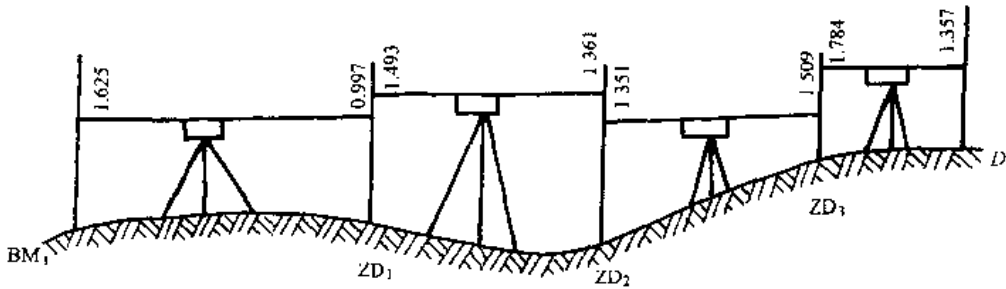


图 3-14

水准测量记录表

表 3-1

工程名称: BM ₁ ~ D			日期: × × × × 年 × 月 × 日		观测: × × ×	
仪器型号: DS ₃ ~ 722295			天气: × ×		记录: × × ×	
测点	后视读数 (m)	前视读数 (m)	高 差(m)		高程 (m)	备 注
			正	负		
BM ₁	1.625		0.628		48.040	高程已知
ZD ₁	1.493	0.997	0.132		48.668	
ZD ₂	1.351	1.361		0.158	48.800	
ZD ₃	1.784	1.509			48.642	
D		1.357	0.427		49.069	
Σ	6.253	5.224	1.187	0.158		
Σ a - Σ b	+ 1.029		Σ h = + 1.029		+ 1.029	

表中高差及高程的计算可按式(3-1)和式(3-2)进行。例如 BM₁ 与 ZD₁ 的高差 $h_1 = 1.625 - 0.997 = 0.628$, ZD₁ 的高程为 $H_{ZD_1} = BM_1 + h_1 = 48.040 + 0.628 = 48.668$, 其它依此类推。为防止计算错误,计算结果要用式(3-4)和式(3-5)进行校核,如上表 $\Sigma h = \Sigma a - \Sigma b = 1.029$, $H_D = H_{BM_1} + \Sigma h = 48.040 + 1.029 = 49.069$, 与上述推算结果相符,说明计算正确,如不符,则应找原因重新计算。这种计算只能反映计算是否正确,不能反映施测的精度。

二、水准测量的精度

水准测量连续性很强,一个测站的误差或错误对整个水准测量成果都有影响。为了保证各个测站工作的正确性,可采用以下方法进行校核。

1. 测站校核法

1) 变换仪器高法

即在一个测站上用不同的仪器高度测出两次高差,测得第一次高差后,改变仪器高度,(至少 10cm),然后再测一次高差,当两次所测高差之差不大于 5mm 时,则认为观测值符合要求,取其平均值为最后结果。若大于 5mm 则要重测。

2) 双面尺法

即仪器高度不变,而用水准尺的红面高差和黑面高差进行校核。两次高差结果也不能大于 $\pm 5\text{mm}$ 。

2. 成果校核

测量成果都是在相互比较中来鉴别的,通过比较可以计算出全线闭合差。闭合差在允许误差范围之内时,认为精度合格,成果可用;超过允许误差时,应查明原因进行重测,直到符合要求。一般工程水准测量高差容许闭合差为:

$$f_{h容} = \pm 30\sqrt{L}\text{mm} \text{ 或 } \pm 8\sqrt{n}\text{mm} \quad (3-6)$$

式中: L ——水准路线长度, km;

n ——测站数。

前者用于平坦地区,后者用于山地。

水准路线布设形式不同,其校核的方法也不同。水准路线主要有如下几种,如图 3-15 所示。

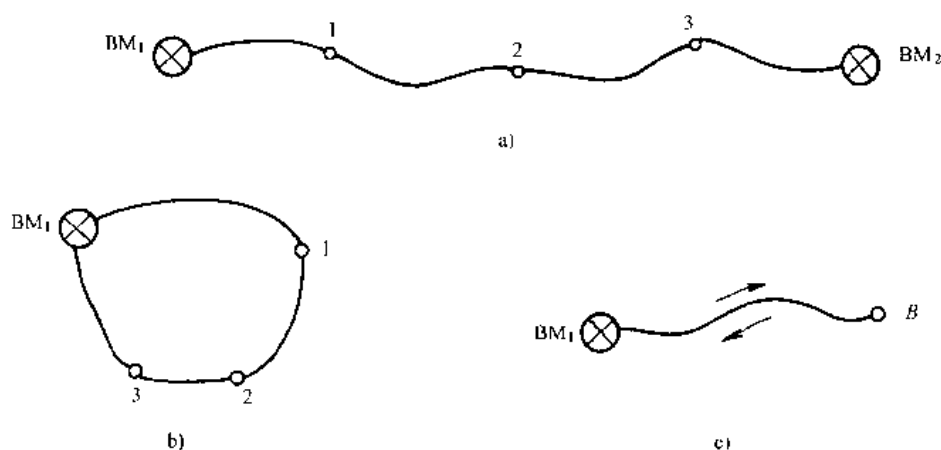


图 3-15

1) 附合水准路线

如图 3-15a), 自一个已知高程水准点连续测定若干所求点后, 继续向前施测到另一已知水准点, 称为附合水准路线。实测的终点对起点的高差与两已知高程点高差的差称为高差闭合差。即:

$$f_h = \sum h_{测} - (H_{终} - H_{起}) \quad (3-7)$$

2) 闭合水准路线

如图 3-15b), 从一个已知高程水准点开始, 测定若干所求点之后, 继续施测回到原已知点, 使水准路线成一个闭合, 称为闭合水准路线。高差的代数和理论上应等于零, 由于测量存在误差而不为零, 其数值称为高差闭合差。即:

$$f_h = \sum h_{测} \quad (3-8)$$

3) 往返水准路线

从已知水准点起到所求点是沿同一路线进行往测和返测, 称为往返水准路线, 如图 3-15c) 所示。往返测的高差其绝对值应相等, 而符号相反。实测往返高差的绝对值之差称高差闭合差。即:

$$f_h = |h_{往}| - |h_{返}| \quad (3-9)$$

若 $f_h \leq f_{h容}$, 应将闭合差按规定调整到各点的高程上去。

往返水准测量记录记算示例见表 3-2。

水准测量记录表

表 3-2

测点	后视 (m)	前视 (m)	高 差(m)		高程 (m)
			+	-	
BM ₁	1.486		0.717		126.508 (H ₁)
ZD ₁	1.701	0.751	0.863		
ZD ₂	1.227	0.838		0.776	
ZD ₃	0.680	2.003		1.832	
ZD ₄	0.700	2.503		1.101	
B		1.801		1.101	
Σ	5.776	7.905	1.580	3.709	
$h_{往} \quad \Sigma a - \Sigma b = -2.129 \quad \Sigma h_{往} = -2.129$					
B	2.004		1.330		
ZD ₅	2.200	0.674	1.494		
ZD ₆	1.712	0.706	0.703		
ZD ₇	0.735	1.009		0.888	
ZD ₈	0.608	1.623		0.500	
BM ₁		1.108		0.500	
Σ	7.259	5.120	3.527	1.388	
$h_{返} \quad \Sigma a - \Sigma b = 2.139 \quad \Sigma h_{返} = 2.139$					

$$f_h = |h_{往}| - |h_{返}| = |-2.129| - |2.139| = -0.010\text{m} = -10\text{mm}$$

$$f_{h容} = \pm 8 \sqrt{n} = \pm 8 \sqrt{10} = \pm 25\text{mm}$$

$$f_h < f_{h容}$$

精度符合要求。

$$\text{则: } h_{平均} = -\frac{|h_{往}| + |h_{返}|}{2} = -\frac{|-2.129| + |2.139|}{2} = -2.134 (\text{以往测符号为准})$$

B 点的高程为:

$$H_B = H_1 + h_{平均} = 126.508 - 2.134 = 124.374\text{m}$$

3. 高差闭合差的调整

按测站数计算或按长度计算高差闭合差。在同一水准路线上, 可认为观测条件大致相同, 则闭合差的调整可按测站数或按路线长度成正比进行分配, 其符号与闭合差相反。设某一测段高差改正数 V_i 为:

$$V_i = -\frac{f_h}{[n]} n_i \quad (3-10)$$

或

$$V_i = -\frac{f_h}{[L]} L_i \quad (3-11)$$

式中: $[n]$ ——测站数总和;

n_i ——某一测段的测站数;

$[L]$ ——水准路线总长度, km;

L_i ——某一测段前、后视距离之和。

按测站数调整高差闭合差和高程计算如图 3-16 所示, 并参见表 3-3; 按路线长度调整高差闭合差和高程计算如图 3-16, 并参见表 3-4。

按测站数调整高差闭合差及高程计算表

表 3-3

测段编号	测点	测站数 (个)	实测高差 (m)	改正数 (m)	改正后高差 (m)	高程 (m)	备注
1	H_A	12	2.785	-0.010	2.775	36.345	$H_B - H_A = 2.694$ $f_h = \sum h_{测} - (H_B - H_A)$ $= 2.741 - 2.694$ $= 0.047$ $[n] = 54$ $V_i = -\frac{f_h}{[n]} n_i$
2	BM_1	18	-4.369	-0.016	-4.385	39.120	
3	BM_2	13	1.980	-0.011	1.969	34.735	
4	BM_3	11	2.345	-0.010	2.335	36.704	
4	H_B					39.039	
Σ		54	2.741	-0.047	2.694		

按路线长调整高差闭合差及高程计算表

表 3-4

测段编号	测点	距离 (km)	实测高差 (m)	改正数 (m)	改正后高差 (m)	高程 (m)	备注
1	H_A	2.1	2.785	-0.011	2.774	36.345	$f_h = \sum h - (H_B - H_A)$ $= 0.047$ $[L] = 9.1$ $V_i = -\frac{f_h}{[L]} L_i$
2	BM_1	2.8	-4.369	-0.014	-4.333	39.119	
3	BM_2	2.3	1.980	-0.012	1.968	34.736	
4	BM_3	1.9	2.345	-0.010	2.335	36.704	
4	H_B					39.039	
Σ		9.1	2.741	-0.047	2.694		



图 3-16

三、水准测量注意事项

(1) 保证前、后视线长度基本相等, 控制视线长度, 消除视线不水平的误差。

当仪器的视准轴不平行于水准管轴时, 管水准气泡居中, 水准管轴水平, 但视准轴处于倾斜位置, 这种误差对一根尺的读数来讲, 仪器距水准尺愈远误差愈大; 对两点的高差来讲, 如果

把仪器安置在距两点等远处,虽然在前、后视读数中都存在误差,但它们在数值上是相等的,而符号是相反的,这样在计算高差时完全可以抵消掉。

在水准测量施测过程中,由于观测者眼睛的分辨能力有限,使水准气泡未严格居中,这种误差的大小与水准管的灵敏度和视线长度有关。当水准管的分画值为 $20''/2\text{mm}$ 时,若气泡偏离中央 1mm ,当视线长度为 $80\text{m} \sim 100\text{m}$ 时,对读数的影响为 $4\text{mm} \sim 5\text{mm}$,符合测量精度要求。因此,在作水准观测时必须严格检查气泡的居中情况,把视线长度控制在 $80\text{m} \sim 100\text{m}$ 范围内。

(2)视线高度保证在 0.3m 以上,以消除地球曲率、大地折光、阳光照射和气温变化等引起的误差。

如图 3-17 中, AB 在同一水准面上, AB' 为过 A 点的水平线,则 $BB' = \Delta h$ 即为地球曲率的影响。由于空气密度距地表面越高越小,所以,过 A 点的水平视线通过不同密度的空气的折射,形成向下弯曲的曲线 AB'' , $B'B''$ 即为大地折光影响。这时实际读数要比视线水平时的读数小一个数值,这个数值称为大气折光误差。大气折光误差约为地球曲率误差的 $1/7$ 。综合上述两项可知:地球曲率和大气折光的总影响为:

$$f = \frac{D^2}{2R} - \frac{1}{7} \times \frac{D^2}{2R} = 0.43 \frac{D^2}{R} \quad (3-12)$$

当视线长度 D 为 $80\text{m} \sim 100\text{m}$ 时, $f = 0.6\text{mm} \sim 0.7\text{mm}$ 。此数值很小,在水准施测过程中,以采取前、后视线长度相等为宜,一般视线长度在 $80\text{m} \sim 100\text{m}$ 左右。

由于太阳的照射,使仪器局部温度升高,影响视线水平。温度升降引起地面空气密度发生变化,使仪器视线折射和跳动;在风力较大时,仪器受风力影响致使视线跳动等。因此,应尽量选择在温度、气流比较稳定时或阴天进行观测;夏天中午前后成像极不稳定时不宜观测。在精度要求较高时,视线高应保证在 0.3m 以上,以减少折光影响。在强烈的太阳光下观测,应使用测伞遮挡阳光。

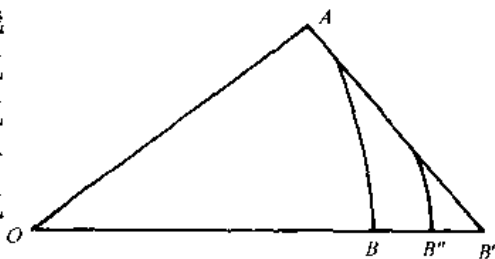


图 3-17

(3)检查塔尺接头处和水准尺尺底,读数时水准尺要竖立铅直,克服因水准尺原因而引起的误差。

(4)仪器安置时应踏牢脚架和减少观测中在仪器周围来回走动,选择坚实处作转点或使用尺垫,消除仪器和转点下沉引起的误差。

(5)严格消除视差和准确估读小数,严格执行操作规程,细心工作,消除读数误差,克服测量中容易造成的错误。

第五节 微倾式水准仪的检验与校正

一、水准仪轴线应满足的条件

水准仪在出厂前,虽然对各轴线的几何关系都曾进行严格的检验与校正,但经过长途搬运和一定时期的使用,各轴线的几何关系逐渐产生变化。因此,要定期对仪器进行检验与校正。尤其是在使用前要进行检验,即使是新出厂和质量很好的仪器都不能例外。因为各轴线间几何关系一旦发生变化,会直接影响到测量成果。

如图 3-18 所示,水准仪各轴线间应满足的条件是:圆水准器的轴线平行于竖轴,即 $L'L' // VV$,十字丝的横丝垂直于竖轴,水准管轴平行于视准轴,即 $LL // CC$ 。

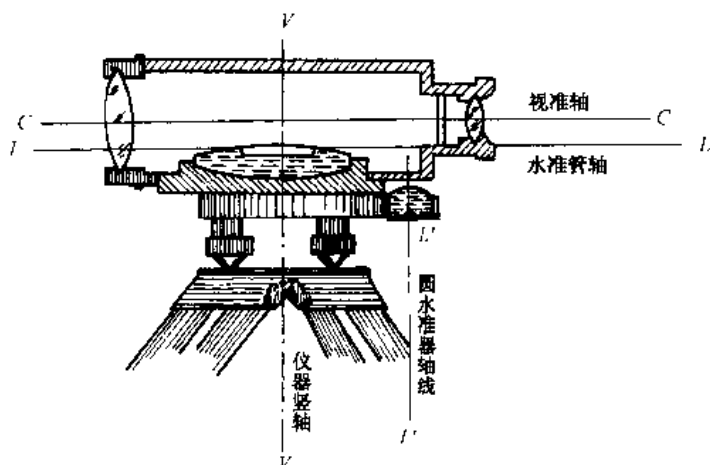


图 3-18

二、水准仪的检验与校正

1. 圆水准器的检验与校正

目的:使圆水准轴平行于水准仪的竖轴,即 $L'L' // VV$ 。

检验:如图 3-19a),先转动脚螺旋使圆水准器气泡居中,然后将仪器绕竖轴旋转 180° ,如果气泡偏离,如图 3-19b),说明 $L'L'$ 不平行于 VV ,需校正。

校正:如图 3-19c),旋转脚螺旋使气泡向中央移动一半,然后用拨针拨动圆水准器底下的三个校正螺丝(如图 3-7),使气泡居中。

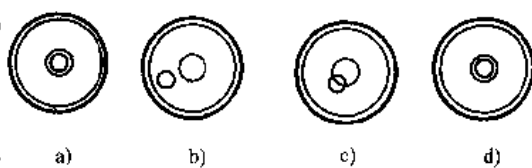


图 3-19

在拨动三个校正螺丝时,应先稍松一下松紧螺丝(如图 3-7),然后拨校正螺丝。顺时针拨动校正螺丝,校正螺丝升高,气泡向校正螺丝位置移动,反时针拨动则气泡离开,最后旋紧松紧螺丝。检验校正必须反复数次,直到仪器转动到任何方向气泡都居中为止。

检校原理:如图 3-20a),假设圆水准轴不平行于仪器竖轴,两者的交角为 α ,转动脚螺旋使

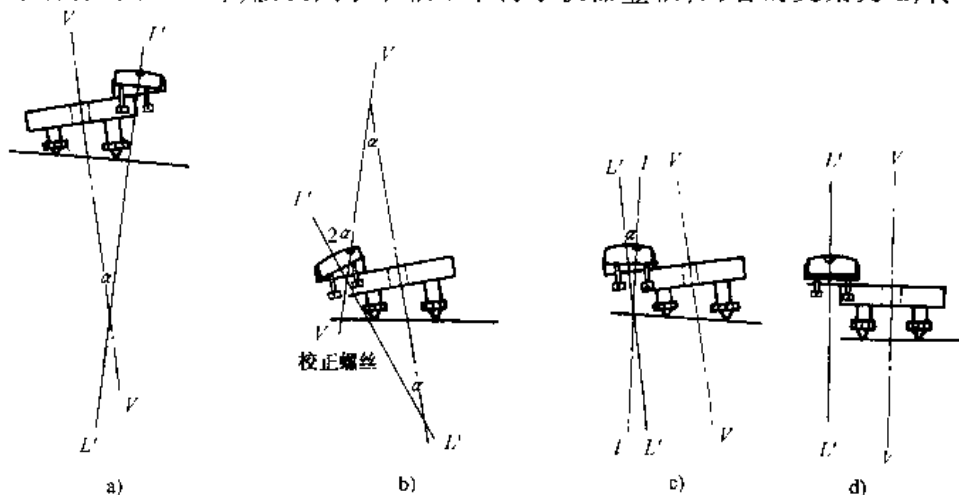


图 3-20

圆水准器气泡居中,圆水准器轴 $L'L'$ 处于铅垂位置,而仪器的竖轴对铅垂线倾斜了 α 角。将仪器绕竖轴旋转 180° ,由于仪器旋转时是以 VV 为旋转轴,即 VV 轴的空间位置是不动的,但水准器从竖轴的右侧转到竖轴的左侧,水准器中的液体受重力的作用,气泡处于最高处,圆水准器轴对竖轴线倾斜 2α 角,这样圆水准器轴就倾斜了 2 倍 α 角,造成气泡中点偏离零点,如图 3-20b)。旋转脚螺旋使气泡向中心移动偏距的一半,这时的仪器竖轴位于铅垂方向,如图 3-20c)。然后再拨圆水准器上的校正螺丝使气泡居中,这样就消除了圆水准轴与竖轴之间的交角,如图 3-20d),使两轴相互平行。

2. 十字丝横丝的检验与校正

目的:当水准仪整平后,十字丝横丝应水平,即横丝应垂直于仪器的竖轴。

检验:整平水准仪后,用十字丝交点瞄准一个明显的目标 P 点,固定制动螺旋,转动微动螺旋,如图 3-21a), P 点偏离横丝,表示十字丝横丝不垂直仪器竖轴,需要校正。

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 3-21b)。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。

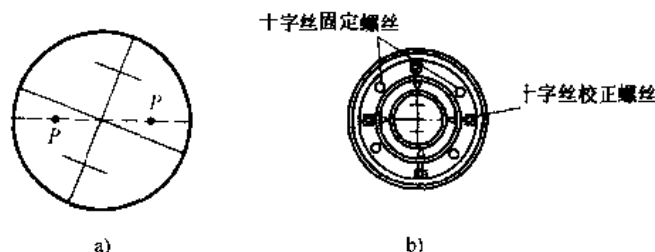


图 3-21

3. 水准管轴平行于视准轴的检验与校正

目的:使水准管轴平行于望远镜视准轴,即 $LL \parallel CC$ 。

检验:首先选择在平坦地面上相距 150m 的 A 、 B 两点,分别放上尺垫或打入木桩并竖立水准尺,先将水准仪安置在两点中间,经精平后,分别对 A 、 B 两点水准尺读数 a_1 、 b_1 ,则高差 $h = a_1 - b_1$;然后将水准仪安置于距 B 尺约 2m 处,先读取尺近 B 的读数为 b_2 ,因仪器离 B 点很近,两轴不平行误差可忽略不计,计算视线水平时远尺 A 的正确读数 a_2 为:

$$a_2 = b_2 + h \quad (3-13)$$

望远镜照准 A 点水准尺,转动微倾螺旋,将横丝对准读数 a_2 ,此时视准轴应处于水平位置,如果水准管气泡居中,说明两轴线是互相平行的,否则应进行校正。

校正:转动微倾螺旋使横丝对准 A 尺的正确读数,视准轴已处于水平位置,若水准管气泡偏离中央(如图 3-22 所示时),用校正针拨动水准管上、下校正螺丝,拨动时应先松后紧,以免损坏螺丝,直到气泡符合为止。

4. 水准管轴与视准轴交叉误差的检验与校正

目的:为了进行三、四等水准测量,还需检验水准管轴和视准轴在水平投影面上的投影是否平行。如果是平行的,仪器绕视准轴左右倾斜时,水准管气泡应保持居中状态或等远地偏向一侧。

检验:在距水准尺 50m 处安置仪器,使一个脚螺旋在望远镜照准水准尺的方向上,如图 3-23。转动微倾螺旋使水准管气泡居中,读出水准尺读数。将脚螺旋①按图 3-23 所示方向转动两周,使仪器向一侧倾斜,然后转动脚螺旋②,使水准尺读数仍保持不变。此时观察气泡两端是否符合或偏离情况。然后再反向转动脚螺旋,在水准尺读数保持不变的情况下使气泡恢复

居中的位置。用同样的方法使仪器向另一侧倾斜,在保持原读数不变的情况下,观察气泡符合或偏离的情况。

在仪器向两侧倾斜时,若气泡总保持符合或同方向偏离,说明无交叉误差,反之则说明有交叉误差,异向偏离超过 1mm 时,应进行校正。

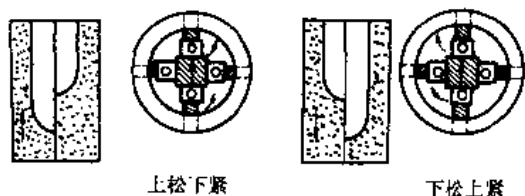


图 3-22

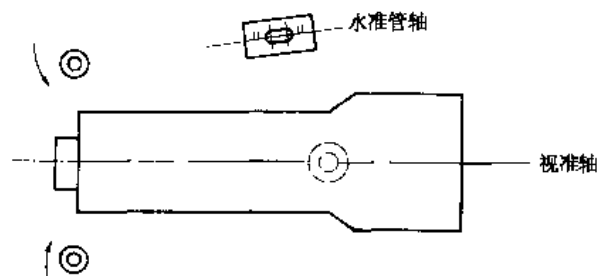


图 3-23

校正:在上述检验的基础上,拨动水准管左右两个校正螺丝,使气泡符合或同向偏离。

上述前三项是水准仪检验与校正的主要内容,第四项一般情况下可以不做,如需要做时应放在第三项检验校正之前,总的检验次序不能颠倒。

第六节 自动安平水准仪

自动安平水准仪不是利用水准管的水准轴,而是借助于一种特殊的装置,能自动使视线水平。图 3-24 是我国生产的 DSZ₃ 型自动安平水准仪。常规水准测量中,先要使用圆水准器使水准仪粗平,读数之前还要用微倾螺旋使仪器精平,特别是精平在观测中花费不少时间,由于观测时间的延长,受温度变化、风力影响、仪器下沉等的影响随之增加。而使用自动安平水准仪进行水准测量,只需要用圆水准器进行粗平水准仪,便可在望远镜中读数,这不仅操作简便,且提高了测量工作的效率。

一、自动安平的原理

如图 3-25 所示,视准轴水平时在水准尺上的读数为 a ,当视准轴倾斜一个小角度 α 时,

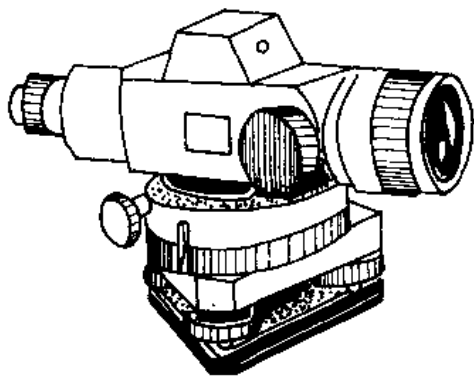


图 3-24

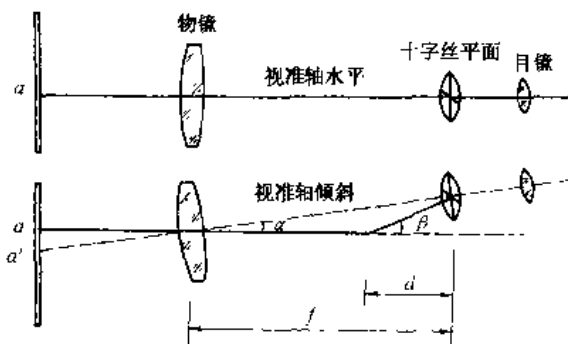


图 3-25

视准轴读数为 a' ,显然 a' 不是水平视线的读数。为了使十字丝横丝的读数仍为水平视线的读数 a ,在望远镜的光路上加一个补偿器 k ,使通过物镜中心的水平视线经过补偿器的光学原件后偏转一个 β 角,仍成像在十字丝中心。由于 α 角和 β 角都是很小的角值,如能满足下列条

件:

$$f\alpha = d\beta \quad (3-14)$$

即能达到补偿的目的。式中 d 为补偿器到十字丝的距离, f 为物镜到十字丝的距离。

二、补 偿 器

补偿器的结构型式较多,如图 3-24 所示是我国生产的 DSZ₃ 型自动安平水准仪,采用悬挂一组棱镜,借助于重力作用,以达到补偿的目的。为使悬挂的棱镜组迅速稳定下来,还安装有阻尼装置。图 3-26 所示为该仪器的结构剖面图,在对光透镜和十字丝分画板之间安装一个补偿器,这个补偿器由固定在望远镜上的屋脊棱镜 4 以及用金属丝悬吊的两块直角棱镜 3 和 5 组成。当望远镜倾斜时,直角棱镜在重力摆作用下,使望远镜做相反的偏转运动,并且借助于阻尼器 8 的作用,很快平静下来。

当视准轴水平时,水平光线进入物镜 1 后经过第 1 个直角棱镜 3 反射到屋脊棱镜 4 上,在屋脊棱镜内作三次反射后,到达另一直角棱镜 5,再反射一次到达十字丝交点。

图 3-27a) 所示,视线倾斜 α 角,直角棱镜也随之倾斜,这时补偿器未发挥作用,水平光线进入第一个棱镜后,沿虚线前进,最后反射出的水平光线并不通过十字线交点 A ,而是通过 B ,如图 3-27b) 所示。当直角棱镜在重力作用下偏转时,水平视线进入棱镜后,沿粗线所示方向前进,最后偏离原虚线方向 β 角。这个 β 角的大小,就是要求补偿器起作用时,恰好使水平光线通过十字丝交点 A ,即得到水平视线。

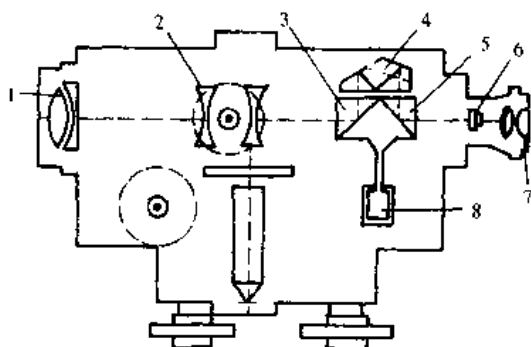


图 3-26

1-物镜;2-调焦镜;3、5-直角棱镜;4-屋脊棱镜;6-十字丝分画板;7-目镜;8-阻尼器

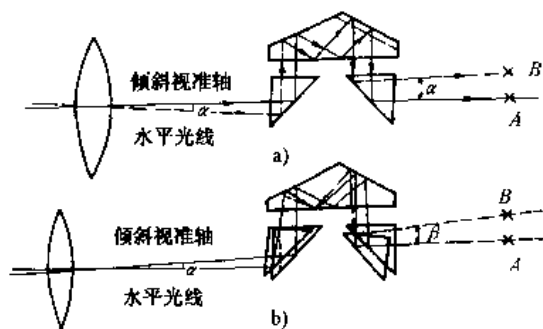


图 3-27

三、自动安平水准仪的使用

自动安平水准仪的操作方法和一般水准仪的操作方法一样,当自动安平水准仪经过圆水准器的粗平后,观测者在望远镜内观察警告指示窗是否全部呈绿色,若没有全部呈绿色,不能对水准尺读数,必须再调整圆水准器,直到警告指示窗全部呈绿色后,即视线在补偿器范围内,方可进行测量。

自动安平水准仪若长期未使用,则在使用前应检查补偿器是否失灵,可以转动脚螺旋,如果警告指示窗两端能分别出现红色,反转脚螺旋红色能消除,并由红转为绿,说明补偿器摆动灵敏,阻尼器没有卡死,可以进行水准测量。

第四章 角度测量

角度测量是测量的基本工作之一。它分为水平角的测量和竖直角的测量。测量水平角是为了确定地面点的平面位置,测量竖直角是为了求得地面点的间接高程。

第一节 角度测量的原理

一、水平角的测量原理

水平角就是相交的两条直线之间的夹角在水平面上的投影。在图 4-1 中, A 、 O 、 B 为地面上的任意点,从 O 出发的两条方向线 OA 、 OB 沿铅垂方向投影到水平面 P 上得 Oa 、 Ob ,则 $\angle aOb$ 就是 $\angle AOB$ 的水平角 β ,也就是通过直线 OA 与 OB 所做两个竖直面所夹的两面角。

为了测出水平角,可以设想在通过 O 点的铅垂线上,水平安置一个度盘,其圆心 O' 在通过 O 点的铅垂线上,设 OA 、 OB 两方向线在度盘上的投影为 a_1 和 b_1 ,则:

$$\text{水平角} \quad \beta = b_1 - a_1 \quad (4-1)$$

二、竖直角的测量原理

在一个竖直面内视线和水平线的夹角称为竖直角,如图 4-2 所示。视线在水平线之上称为仰角,符号为正;视线在水平线以下称为俯角,符号为负。竖直角用 α 表示。

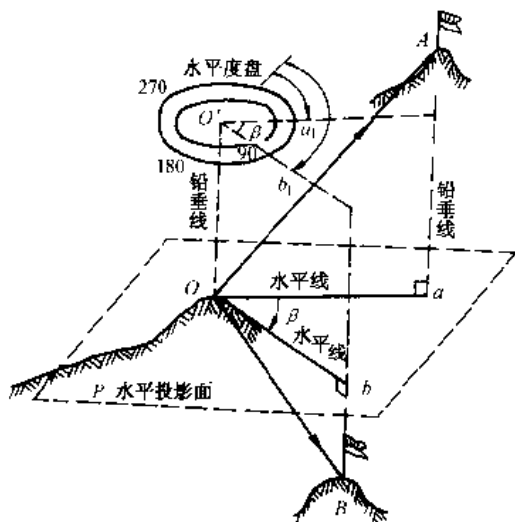


图 4-1

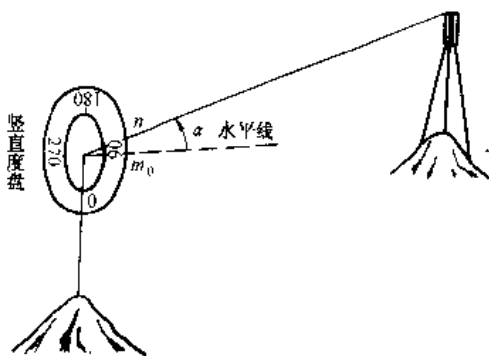


图 4-2

为了测量出竖直角的大小,在经纬仪横轴一端安置一竖直度盘,度盘与望远镜固定联结,一起转动,设照准目标时指标的读数为 n ,水平视线读数为 m_0 ,则:

$$\text{竖直角} \quad \alpha = n - m_0 \quad (4-2)$$

第二节 光学经纬仪的基本构造

经纬仪是工程上常用的测量仪器,主要用于测量水平角和竖直角。也可供测量水平距离和高差。光学经纬仪具有体积小、质量小、密封性好、使用方便、精度较高的优点。光学经纬仪的型号较多,分为 DJ_{0.7}、DJ₁、DJ₂、DJ₆、DJ₁₅、DJ₁₀ 六级。其中 D 表示大地测量, J 是经纬仪的汉语拼音的第一个字母,后面的数字为该仪器以秒为单位的一测回水平方向的观测中误差。DJ₆、DJ₂ 是常用的两种光学经纬仪

一、DJ₆ 级光学经纬仪的构造

图 4-3 所示为北京光学仪器厂生产的 DJ₆ 级光学经纬仪,各部件的名称见图注。

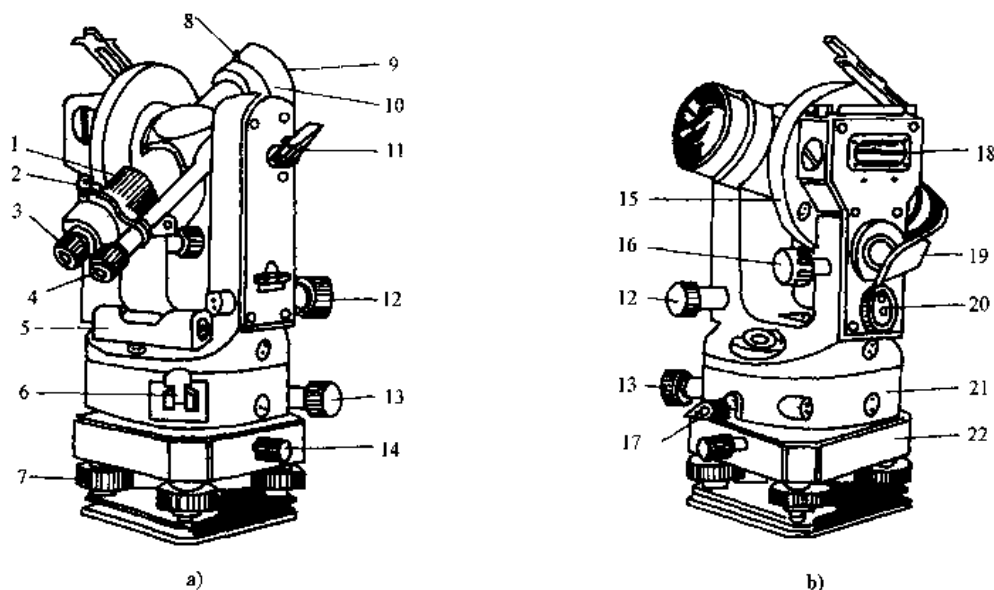


图 4-3

1-物镜调焦螺旋;2-照门;3-目镜;4-读数显微镜;5-照准部水准管;6-复测扳平;7-脚螺旋;8-准星;9-物镜;10-望远镜;11-望远镜制动螺旋;12-望远镜微动螺旋;13-水平微动螺旋;14-轴套固定螺丝;15-竖直度盘;16-指标水准微动螺旋;17-水平制动螺旋;18-指标水准管;19-反光镜;20-测微轮;21-水平度盘;22-基座

1. 基本构造

各种经纬仪的基本构造都是一样的,主要由照准部、水平度盘和基座三大部分组成。如图 4-4 所示。

1) 照准部

照准部亦称上盘部分,是指水平度盘之上能绕竖直轴旋转的部分,主要有望远镜、读数设备、竖直度盘、水准器和竖轴。

望远镜的构造和水准仪望远镜一样,是照准远方目标用的,它和横轴固连在一起放在支架上。当横轴水平时,望远镜绕横轴旋转将使视准轴扫出一个竖直面。在支架一侧上设有一套望远镜制动和微动螺旋,用来控制望远镜的俯仰。在照准部外壳上设有另一套水平制动和微动螺旋,用来控制水平方向的转动。

读数设备是把度盘和测微器分画,通过一系列透镜的放大和棱镜的折射,反映在读数显微

镜内进行读数。如图 4-5 所示。

竖直度盘是为了测量竖直角而设,固定在横轴的一端,另设有竖盘指标水准管和微动螺旋。

照准部上设有水准器,以指示水平度盘是否水平。管水准器用于精确整平仪器,圆水准器用于概略整平仪器。照准部下面有一竖轴,可插入筒状的轴座内,使整个照准部绕竖轴水平转动。

2) 水平度盘

水平度盘也称为下盘部分,主要是一个玻璃制的精密刻度盘。度盘固定在轴套上,轴套套在筒状的轴座上。

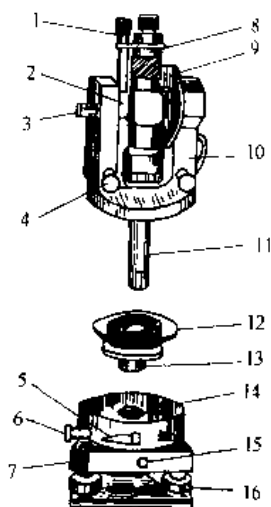


图 4-4

1-读数显微镜;2-水平轴;3-望远镜制动螺旋;4-望远镜微动螺旋;5-水平制动螺旋;6-水平微动螺旋;7-基座;8-望远镜;9-竖直度盘;10-支架;11-竖轴;12-水平度盘;13-外轴;14-度盘旋转轴套;15-轴套固定螺丝;16-脚螺旋

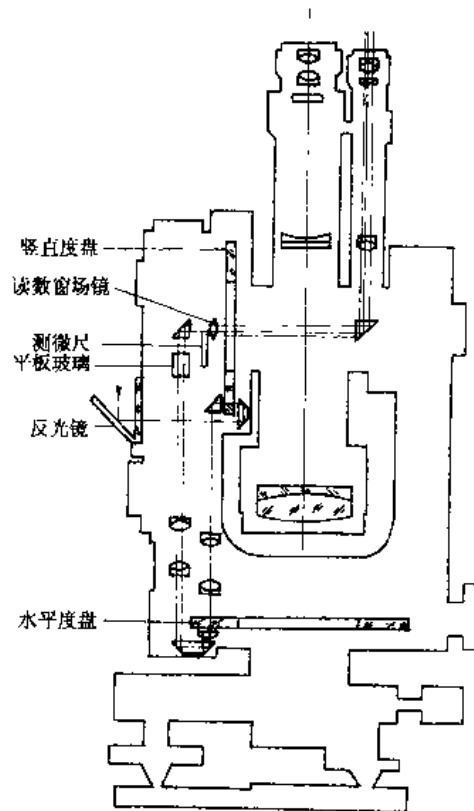


图 4-5

度盘和照准部的离合关系由固定在照准部外壳上的复测扳手来控制。当复测扳手扳下时,由于偏心机构的作用,使簧片夹紧度盘,度盘和照准部结合在一起,此时度盘和照准部一起转动,读数不变;当复测扳手扳上时,簧片松开度盘,度盘与照准部分离,此时照准部单独转动,指标所指水平度盘上的读数随照准部的转动而改变。

有的经纬仪没有复测扳手,而装置一水平度盘读数变换轮,以操纵水平度盘的旋转。转动此轮可使需要的度盘读数对准读数指标线。

3) 基座部分

主要有轴座、脚螺旋和连接板。转动脚螺旋可使照准部上的水准气泡居中,从而使竖轴铅垂,水平度盘水平。

将三脚架头上的连接螺旋旋进基座连接板,仪器和三脚架就固联在一起。在连接螺旋上悬挂垂球,指示水平度盘的中心位置。因此,借助垂球可将水平度盘的中心安置在所测角顶的铅垂线上。有的经纬仪则在照准部内装有光学对中器以代替垂球,光学对中器比垂球对中具

有精度高和不受风吹摆动的优点。

2. 度盘和测微器

度盘上相邻两分画线间的弧长所对的圆心角称为度盘分画值,一般为 $30'$ 或 1° 。度盘分画由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 按顺时针方向注字,根据注字可判断度盘分画值的大小。光学经纬仪上小于度盘分画值的读数是用测微器读出的。测微器有单玻璃板测微轮式和测微尺式两种。

1) 测微轮式

图 4-5 所示是测微轮式读数设备光路图,外界光线由反光镜进入仪器。经过一系列棱镜和透镜的折射和放大,带着竖直度盘和水平度盘的分画影像,通过平板玻璃和测微尺,使竖直度盘分画、水平度盘分画及测微尺三者同时成像在刻有单双两种指标线的读数窗场镜上,最后进入读数显微镜,并由两种指标线读取度盘读数。此种测微器的构造特点是:平板玻璃与测微尺用金属机械连在一起,由装在仪器支架上的测微轮操纵,使它们绕同一轴转动。平板玻璃测微原理如图 4-6 所示,当测微尺读数为 0 且平板玻璃表面水平时,光线垂直通过平板玻璃而不发生平移,此时度盘分画的影像落在读数窗场镜面的某一位置上,按双指标线进行读数应为 $91^\circ + \alpha$ (图 4-6a)。当转动测微轮,使平板玻璃倾斜一个角度时,光线通过平板玻璃后就发生平移,若使 91° 分画的影像正好移至双指标线的中央,则该移动量就是图 a) 中所示的 α 值。该数值由测微尺显示,如图 4-6b) 所示。图 4-7 表示读数显微镜中看到的影像,上

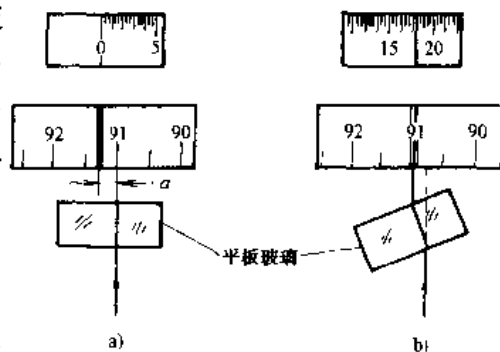


图 4-6

面小窗有测微尺和单指标线,中间窗口有竖直度盘分画和双指标线,下面窗口有水平度盘分画和双指标线。因为度盘分画值为 $30'$,所以把测微尺全长等分成 30 个大格,由 $0'$ 到 $30'$ 每 5 大格注一相应分数,每一大格又分成 3 小格,并在构造上严格要求:当转动测微轮使测微尺从 $0'$ 到 $30'$ 走完全程时,度盘分画恰好移动一个度盘分画值($30'$)。因此测微尺上的每大格代表 $1'$,每小格代表 $20''$,可以估读至 $2''$ 。

根据上述特点,测微轮式的读数方法是:望远镜照准目标后,转动测微轮使某一度盘分画精确移至双指标线中央,读取该分画的度盘数值,再在测微尺上根据单指标线读取小于度盘分画值的分秒数,两者相加,即为度盘读数。如图 4-7a) 所示的水平度盘读数为 $4^\circ 30' + 02'00'' = 4^\circ 32'00''$; 图 4-7b) 所示的竖盘读数为 $91^\circ + 21'20'' = 91^\circ 21'20''$ 。

2) 测微尺式

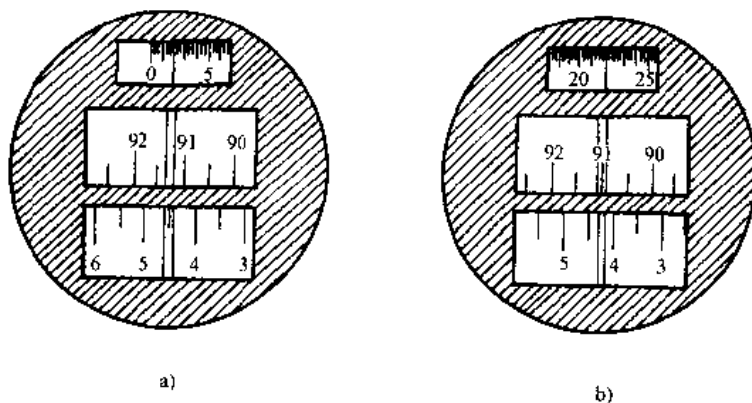


图 4-7

如图 4-8)是测微尺读数设备光路图,光线由反光镜 1 反射后,进入光窗 2 后便分为两路,其中一路光线经棱镜 3 向下折射,通过棱镜 4 的转向,穿过水平度盘 5 后带着度盘分画的影像,经透镜 6 和棱镜 7 相配合,使度盘分画成像在读数窗场境 8 的平面上。场镜面上刻有测微尺,此时光线一并带着度盘分画的像和测微尺的像,经过棱镜 9 的转向到达读数显微镜 16,在显微镜内就能看到放大后的水平度盘分画和测微尺的像。

另一路光线经棱镜 10 转向后,穿过竖盘 11 带着竖盘分画的影像,通过棱镜 12、14 的转向及透镜 13 的配合,将该分画成像在读数窗场镜的另一测微尺上,同样进入读数显微镜内。因此,在读数显微镜内可以同时读取水平度盘和竖直度盘读数。如图 4-9 所示,上面注有“H”或“水平”的窗口为水平度盘读数窗,下面注有“V”或“竖直”的窗口为竖直度盘读数窗。图中水平度盘和竖直度盘的分画值均为 1° ,测微尺全长代表 1° ,它与度盘相邻分画的影像间隔相等。测微尺全长等分成 60 小格,每小格代表 $1'$,因此,在测微尺上可以直读 $1'$,估读到 $0.1'$ 即 $6''$ 。每 10 小格注记的数字以 $10'$ 为单位。注有字的度盘分画线为读取度盘度数的指标,它在度盘上的位置就是度盘应该读数的地方。因此读数的方法是:先根据测微尺上度盘分画线在度盘上读取度数,即被测微尺盖住的度盘分画线的注记数,再以该度盘分画线为指标,在测微尺上读取不足度盘分画值的度数,两者相加即得度盘读数。图 4-9 的水平度盘读数为 $112^\circ 54' 00''$,竖直度盘读数为 $89^\circ 06' 00''$

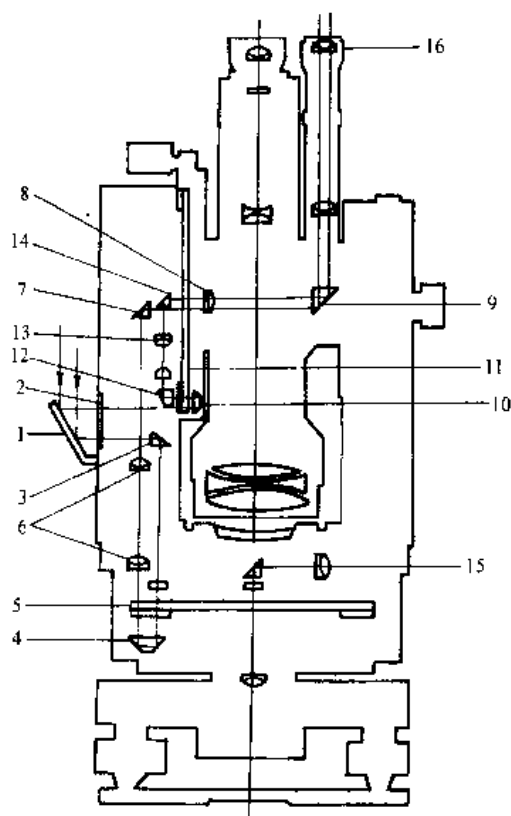


图 4-8

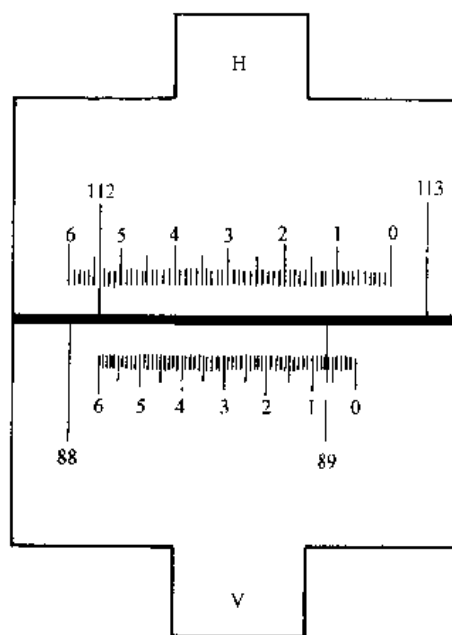


图 4-9

二、DJ₂ 级光学经纬仪

DJ₂ 级光学经纬仪的构造除轴系及读数设备外,基本上和 DJ₆ 级光学经纬仪相同。图 4-10

所示是我国北京光学仪器厂生产的 DJ₂ 级光学经纬仪。下面着重介绍说明它与 DJ₆ 级光学经纬仪的不同之处。

1. 水平度盘变换手轮

水平度盘变换手轮的作用是变换水平度盘的初始位置。水平角观测中根据测角需要,对起始方向观测时,可先拨开手轮的护盖,再转动该手轮,把水平度盘的读数值设置为所规定的读数。

2. 换像手轮

在读数显微镜内一次只能看到水平度盘或竖直度盘的影像,若要读取水平度盘读数时,转动换像手轮 10,使轮上指示红线成水平状态,并打开水平度盘反光镜 5,此时显微镜呈水平度盘的影像。若打开竖直度盘反光镜 1 时转动换像手轮,使轮上指标红线竖直,则可看到竖盘影像。

3. 测微手轮

测微手轮是 DJ₂ 级光学经纬仪的读数装置。测微手轮是 DJ₂ 级光学经纬仪的读数装置。其水平度盘(或竖直度盘)的刻画形式是把每度分画线间又等分刻成 3 格。格值等于 20',通过光学系统,将度盘直径两端分画的影像同时反映到同一平面上,并被一横线分成正、倒像,一般正字注记为正像,倒字注记为倒像。图 4-11 为读数窗示意图。测微尺上刻有 600 格,其分画影像见图中小窗。当转动测微手轮使测微尺由 0 分画移动 600 分画时,度盘正倒镜对径分画影像等量相对移动一格,故测微尺上 600 格相应的角值为 10',1 格的格值等于 1"。所以用测微尺可以直接测定 1"的读数,从而起到测微作用。图 4-11 中的读数值为 30°20' + 8'00" = 30°28'00"。

读数方法:

- (1)转动测微手轮,使度盘正、倒像分画线精密重合。
- (2)从读数分画线左边读出分画线的度数即 30°。
- (3)读出上排正像 30°与下排倒像 210°之间的格数再乘以 10',即为分的数值 20'。
- (4)在旁边小窗中读取小于 10'的分秒数,测微尺分画影像左侧的注记数字是分数,右侧注记 1、2、3、4、5 的数字是秒的十位数,即分别为 10"、20"、30"、40"、50"。将以上数值相加就得到整个数值。即:

度盘上的度数	30°
度盘上整十分数	2 × 10' = 20'
测微尺上分秒数	8'00"
全部读数为	30°28'00"

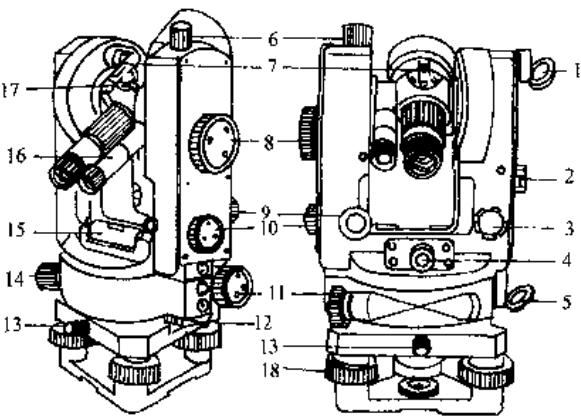


图 4-10

1-竖盘反光镜;2-竖盘指标水准管观察镜;3-竖盘指标水准管微动螺旋;4-光学对中器目镜;5-水平度盘反光镜;6-望远镜制动螺旋;7-光学瞄准器;8-测微手轮;9-望远镜微动螺旋;10-换像手轮;11-水平微动螺旋;12-水平度盘变换手轮;13-中心锁紧螺旋;14-水平制动螺旋;15-照准部水准管;16-读数显微镜;17-望远镜反光板手轮;18-脚螺旋

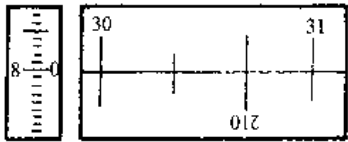


图 4-11

第三节 经纬仪的安置与角度观测方法

一、经纬仪的使用

经纬仪的使用是指对仪器进行对中、整平、瞄准、读数四项操作步骤。

1. 对中

对中的目的是使仪器的中心与测站点的中心点位在同一铅垂线上。方法是先将三脚架安置在测站点上(架头应大致水平,同时高度适中,以便观测),挂上垂球,踏牢三脚架,使垂球概略对中(距离小于 3cm),然后用连接螺旋将仪器固定在三脚架上,稍松连接螺旋滑动仪器,使垂球尖对准测站点(偏差在 3mm 以内),旋紧连接螺旋。

如果使用光学对中器对中,由于对中器的视线只有在仪器整平后才处于铅垂位置,所以,可先用垂球大致对中,整平仪器后取下垂球,再调节对中器目镜,看清分画板上小圆圈和测站点,在架头上滑动仪器使小圆圈对准测站点,此时整平可能受到影响,所以需反复整平和对中,直至仪器整平后测站点不偏离小圆圈为止。一般光学对中误差应小于 1mm。

2. 整平

整平的目的是使仪器竖轴竖直,水平度盘处于水平位置。

方法是:

(1)使度盘水准管与任意两个脚螺旋连线平行。如图 4-12a),两手以相反方向旋转①、②两脚螺旋,使气泡居中。气泡移动方向和左手大拇指运动方向一致。

(2)将仪器绕竖轴旋转 90° ,如图 4-12b),旋转另一个脚螺旋③使水准管气泡居中。

(3)以上操作反复进行,直至气泡在任何位置都居中为止。

3. 瞄准

经纬仪安置好后,首先将经纬仪瞄准远处,调节目镜对光螺旋,使十字丝清晰,松开水平制动螺旋和望远镜制动螺旋,用望远镜的瞄准器初步瞄准目标;然后旋紧水平制动螺旋及望远镜制动螺旋,转动物镜对光螺旋,使目标影像清晰,旋转水平微动和望远镜微动螺旋,使十字丝交点对准目标,并观察有无视差,如有视差应重新对光予以消除。

4. 读数

打开读数反光镜,调节好视物亮度,旋转读数显微镜对光螺旋,使读数窗影像清晰。然后根据仪器的读数设备,按前述方法进行读数。

二、水平角的观测方法

在水平角观测中,如果只测一次单角,无法发现错误和检验观测精度,因此一般要用盘左和盘右两个位置进行观测。所谓盘左位置即竖直度盘在望远镜的左边(又称正镜);盘右位置即竖直度盘在望远镜的右边(又称倒镜)。水平角观测方法,一般有测回法和全圆测回法两种。

1. 测回法(又称全测回法)

测回法是测角的基本方法。如图 4-13 所示,将经纬仪安置于 O 点,进行对中、整平,然后按以下步骤进行观测:

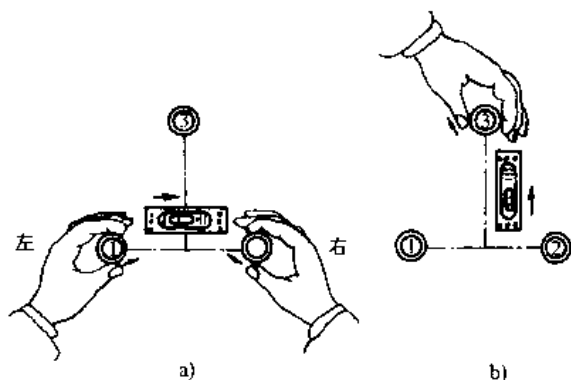


图 4-12

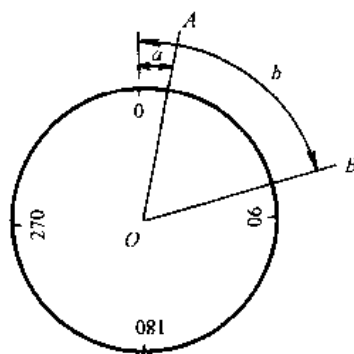


图 4-13

(1)盘左位置:先照准左方目标 A , 读取水平度盘读数为 a_1 , 然后顺时针转动照准部照准右方目标 B , 读取水平度盘读数 b_1 , 以上称为上半测回, 观测角值为:

$$\beta_{\text{左}} = b_1 - a_1 \quad (4-3)$$

(2)盘右位置:先照准右方目标 B , 读取水平度盘读数 b_2 , 再逆时针转动照准部照准左方目标 A , 读取水平度盘读数 a_2 , 则得下半测回观测角值为:

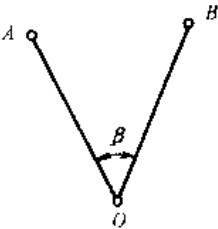
$$\beta_{\text{右}} = b_2 - a_2 \quad (4-4)$$

(3)上下两半测回合称一测回。如用 DJ_6 级光学经纬仪进行观测, 当上下两半测回角值之差 $\leq \pm 40''$ 时, 取其平均值作为一测回的角值, 即:

$$\beta = \frac{1}{2}(\beta_{\text{左}} + \beta_{\text{右}}) \quad (4-5)$$

记录表格式见表 4-1。

表 4-1

测站	盘位	目标	水平度盘读数 (° ' ")	半测回角值 (° ' ")	一测回角值 (° ' ")	备 注
O	左	A	0 01 12	57 17 36	57 17 42	
		B	57 18 48			
	右	A	180 01 06	57 17 48		
		B	237 18 54			

2. 全圆测回法(又称方向观测法)

上述测回法适应于单角的观测, 若要把两个以上的方向合为一组依次进行观测, 一般采用全圆测回法(方向观测法)进行观测。如图 4-14 所示。

欲在 C 点上观测 A 、 B 、 D 、 E 四个方向, 应首先选择一起始方向作为零方向, 设 A 方向为零方向, 其操作步骤如下:

(1)安置经纬仪于 C 点,对中、整平,调整度盘读数为略大于 $0^{\circ}00'00''$,盘左照准起始点 A ,读取度盘读数 a ,并记录在记录表中,见表 4-2。

(2)按顺时针方向依次瞄准 $B、D、E$ 目标,并分别读取水平度盘读数为 $b、d、e$,记录在表中。

(3)最后回到起始方向 A ,再读水平度盘读数 a' ,称为“归零”, a 与 a' 之差称为“归零差”,以上操作称为上半测回。

(4)倒转望远镜成盘右位置,逆时针方向依次瞄准 $A、E、D、B、A$ 各目标,分别读取水平度盘读数,记入记录表中,并算出盘右的“归零差”,称为下半测回。上下两个半测回合称为一测回。

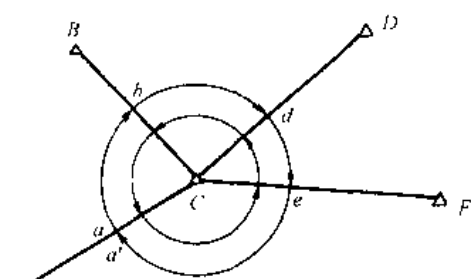


图 4-14

全圆测回法测角记录 表 4-2

等 级:图根小三角		测 区:108 工程		小 组:×					
仪 器:DJ ₆		天 气:阴		观 测:×××					
日 期:1998.5.23		成 像:稳定		记 录:×××					
测 站	测 回 数	目 标	读 数		左 - (右 ± 180°) (2c)	$\frac{(\text{左} + \text{右} \pm 180^\circ)}{2}$	归零方向值	各 测 回 平均方向值	角 值
			盘 左	盘 右		方向值			
			(° ' ")	(° ' ")	(")	(° ' ")	(° ' ")	(° ' ")	(° ' ")
C	1	A	0 02 00	180 02 18	-18	(0 02 15) 0 02 09	0 00 00	0 00 00	
		B	60 32 30	240 32 24	+6	60 32 27	60 30 12	60 30 16	60 30 16
		D	135 03 48	315 03 36	+12	135 03 42	135 01 27	135 01 24	74 31 08
		E	210 53 42	30 53 54	-12	210 53 48	210 51 33	210 51 38	
		A	0 02 18	180 20 24	-6	0 02 21			75 50 4

(5)限差。当在同一测站上观测几个测回时,为了减少度盘分画误差的影响,每测回起始方向的水平度盘读数值应设置为 $(180^{\circ}/n + 60'/n)$ 的倍数(n 为测回数)。在同一测回中各方向 $2c$ 误差的差值,即 $2c$ 互差不能超过限差要求(DJ₂ 级经纬仪为 $18''$,DJ₆ 级经纬仪不作要求)。同一方向各测回归零方向值之差,即测回差也不能超过限值要求(DJ₂ 级经纬仪为 $12''$,DJ₆ 级经纬仪为 $24''$)。

第四节 竖直角测量方法

一、竖直度盘构造

竖直度盘垂直固定在望远镜旋转轴的一端,随望远镜转动而转动。竖直度盘的刻画与水平度盘基本相同,但注字则随着仪器构造的不同分为顺时针和逆时针两种形式,如图 4-15 所示。

竖盘反映在读数显微镜内的影像,与水平度盘读数不同的是,在读数前必须把竖盘指标安

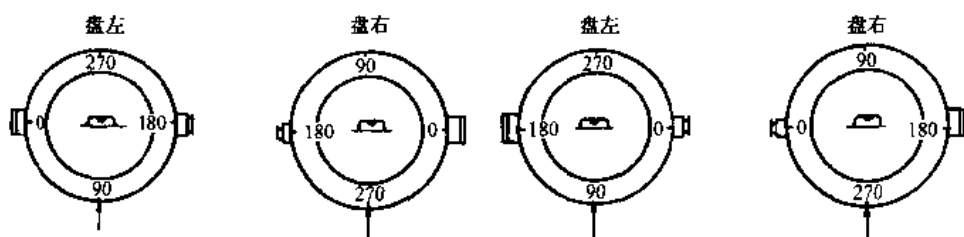


图 4-15

置在正确位置。在竖盘指标线(一个棱镜或棱镜组)上设置了水准管,用来控制指标线的位置。当竖盘指标水准管气泡居中时,竖盘指标就处于正确位置,如图 4-16 所示。

竖盘与指标的相互关系应满足下列条件:当视准轴水平,指标水准管气泡居中时,指标所指的竖盘读数值盘左为 90° ,盘右为 270° 。

二、竖直角计算公式

经纬仪的竖直度盘注记有两种不同形式,在测量竖直角之前,应根据所用仪器的注记形式写出竖直角计算公式。

将望远镜慢慢仰起,观测竖盘读数(盘左时记作 L ,盘右时记作 R),并与起始读数相比,看度盘读数是增加还是减少,若读数增加,如图 4-17a),则竖直角的计算公式为:

$$\alpha_L = 90^\circ - L \quad (4-6)$$

$$\alpha_R = R - 270^\circ \quad (4-7)$$

若读数减少,则竖直角的计算公式为:

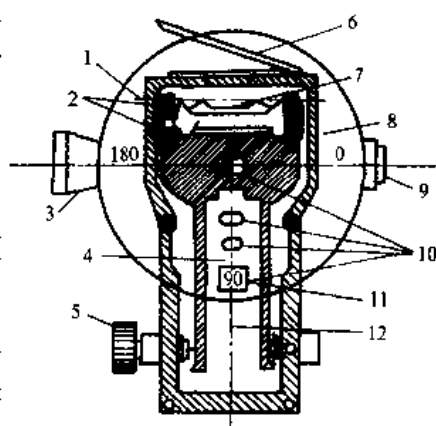


图 4-16

1-竖盘指标水准管轴;2-竖盘指标水准管校正螺丝;3-望远镜;4-光具组光轴;5-竖盘指标水准管微动螺旋;6-竖盘指标水准管反光镜;7-竖盘指标水准管;8-竖盘;9-目镜;10-光具组的透镜棱镜;11-竖盘指标;12-光具组光轴

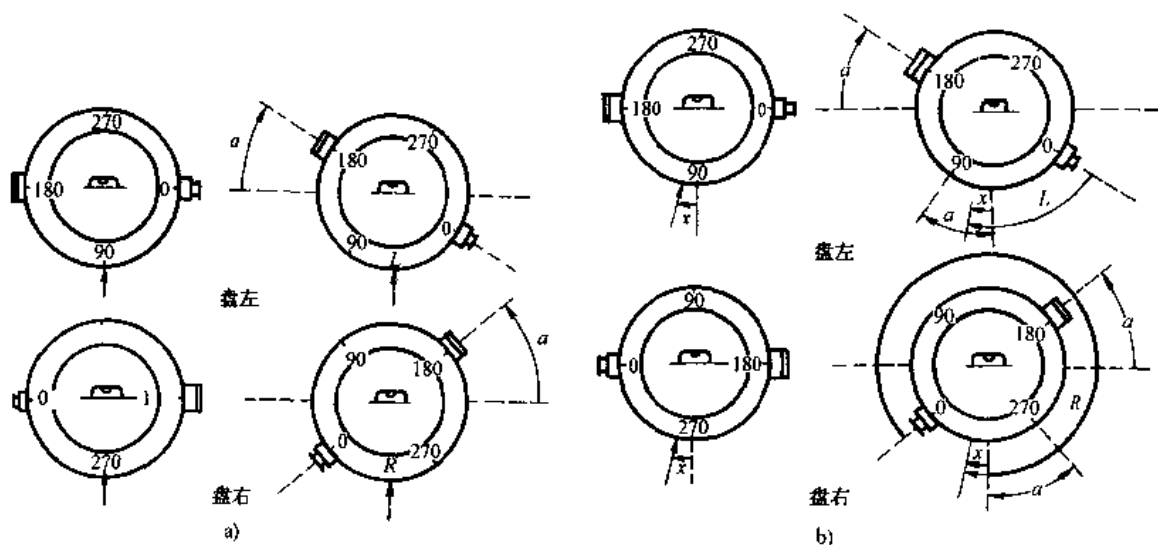


图 4-17

$$\alpha_L = L - 90^\circ \quad (4-8)$$

$$\alpha_R = 270^\circ - R \quad (4-9)$$

平均竖直角
$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_L + \alpha_R) \quad (4-10)$$

三、竖直角测量方法

在测站上安置仪器,对中、整平。具体观测方法如下:

(1)用盘左位置瞄准目标,并用十字丝横丝卡准目标的固定位置,制动后,旋转竖盘指标水准管微动螺旋,使水准管气泡或使气泡影像符合,读出竖盘读数 L ,并记入竖直角观测记录表中,见表 4-3。计算出竖直角,上述观测称为上半测回观测。

竖直角观测记录表

表 4-3

测站	目标	盘位	竖盘读数 (° ' ")	半测回竖直角 (° ' ")	指标差 (")	测回竖直角 (° ' ")	备注
O	M	左	59 29 48	+30 30 12	-12	+30 30 00	盘左  盘右 
		右	300 29 48	+30 29 48			
	N	左	93 18 40	-3 18 40	-13	-3 18 53	
		右	266 40 54	-3 19 06			

(2)用盘右位置按照上述盘左位置的观测方法重新测定一次,称为下半测回观测。上下半测回合称一测回。

(3)计算一测回竖直角 α 。

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_L + \alpha_R)$$

四、竖盘指标差

所谓指标差就是指标线所指的读数在望远镜视准轴线水平,且竖盘指标水准管气泡居中时,正镜应为 90° ,倒镜应为 270° ,但实际读数比其增大或减小的一个角值 X 。这是由竖盘指标位置偏离正确位置所引起的误差。

如图 4-17b)所示,设竖盘指标差为 X ,以盘左位置瞄准目标,使竖盘水准管气泡居中,测得竖盘读数为 L ,则正确的竖直角应为:

$$\alpha = 90^\circ - (L - X) = \alpha_L + X \quad (4-11)$$

以盘右位置同法测得竖盘读数为 R ,则正确的竖直角应为:

$$\alpha = (R - X) - 270^\circ = \alpha_R - X \quad (4-12)$$

将式(4-11)和式(4-12)相加,得:

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_L + \alpha_R) = \frac{1}{2}(R - L - 180^\circ) \quad (4-13)$$

由此可知,在测量竖直角时,用盘左、盘右两个位置观测,取其平均值可以消除竖盘指标差的影响。

若将式(4-11)和式(4-12)相减,即得指标差 X 为:

$$X = \frac{1}{2}(L + R - 360^\circ) \quad (4-14)$$

指标差 $X \leq \pm 30''$,若超限,须对仪器进行检校。

第五节 光学经纬仪的检验与校正

经纬仪在测角过程中能否保证精度,主要看其主要部件及轴系是否满足它们之间的几何关系,如图 4-18 所示。设 CC 为视准轴, HH 为横轴, LL 为照准部水准管轴, VV 为竖轴,则它们之间应该满足的几何条件为:照准部水准管轴应垂直于仪器竖轴,即 $LL \perp VV$;十字丝竖丝应垂直于横轴;视准轴应垂直于横轴,即 $CC \perp HH$;横轴应垂直于仪器竖轴,即 $HH \perp VV$;竖盘指标差应为 0;光学对中器的视准轴应与仪器竖轴重合。

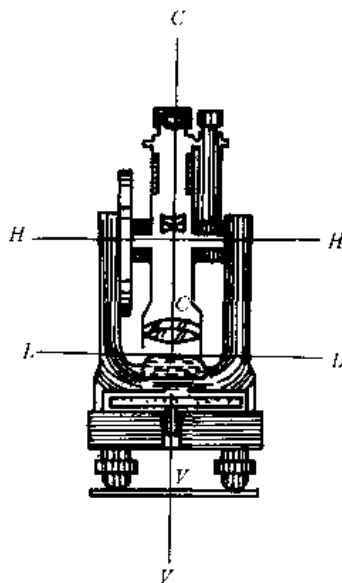


图 4-18

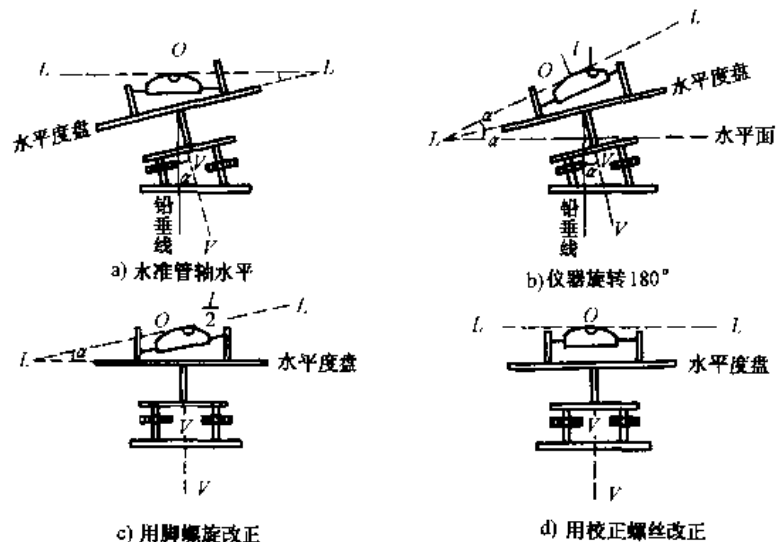


图 4-19

一、照准部水准管的检验与校正

目的:使水准管轴垂直于仪器竖轴($LL \perp VV$)。

检验:将仪器安置好,并使照准部水准管与任意两个脚螺旋连线平行,转动脚螺旋使气泡居中。旋转照准部 180° ,若气泡居中,说明仪器满足条件,否则应校正。

若水准管轴与竖轴不垂直,那么在水准管气泡恰好居中时,水准管轴与竖轴的关系如图 4-19a)所示,即水准管轴水平,竖轴偏离竖直方向一个 α 角。将照准部旋转 180° ,如图 4-19b)所示,竖轴位置不变,这时水准管轴不呈水平而与水平方向夹角为 2α 。角 2α 的大小是通过气泡偏离 O 点的格数来表现的,因此转动脚螺旋使气泡返回偏离格数的一半,则竖轴处于竖直位置,如图 4-19c)所示。若能校正使水准管气泡居中,则水准管轴呈水平,竖轴处于铅垂位置,此时照准部旋转到任意位置气泡都居中,如图 4-19d)所示。

校正:用校正针拨动水准管一端的校正螺丝,使气泡居中,即达到水准管轴垂直于仪器竖轴的目的。此项检验校正应反复进行,直至气泡偏离 O 点不超过分画线半格。

二、十字丝竖丝的检验与校正

目的:使十字丝竖丝垂直于横轴。

检验:安置经纬仪,用望远镜十字丝竖丝的一端精确瞄准远处某一点,固定照准部制动螺旋和望远镜制动螺旋,转动望远镜微动螺旋,使望远镜绕横轴微微作上下旋转。如果目标不偏离竖丝,说明此项条件满足,否则需要校正。

校正:取下校正螺丝护盖,如图 4-20 所示。松开十字丝固定螺丝,转动十字板座,直至满足此项要求,然后再旋紧固定螺丝。

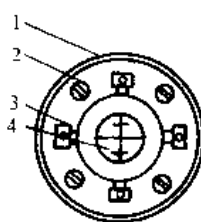


图 4-20

1-镜筒;2-压环固定螺丝;3-十字丝校正螺丝;4-十字丝分画板

三、视准轴的检验与校正

目的:使视准轴垂直于横轴。

检验:

(1)选一长 80m~120m 的平坦地段,把经纬仪安置于中间点 O ,在一端 A 点插入一根测钎,在另一端水平地区横放一根水准尺,如图 4-21 所示。

(2)用盘左位置瞄准后视点 A ,固定照准部制动螺旋,然后倒转望远镜成盘右位置,在尺上读数得 B_1 。

(3)盘右再瞄准后视点 A ,倒转望远镜成盘左位置,在尺上读数得 B_2 。

若 B_1B_2 重合于一点,说明此项条件满足,否则应进行校正。

校正:如图 4-21a),设视准轴不垂直于水平轴的误差为 c ,则盘左时 $\angle AOH_2 = 90^\circ - c$,倒转望远镜后,视准轴旋转一圆锥面,视准轴居于 OB_1 位置, $\angle H_2OB_1 = 90^\circ - c$,所以 $\angle B_1OB = 2c$ (OB 为 AO 的延长线)。图 4-21b)为盘右时的情况,同理 $\angle BOB_2 = 2c$ 。由此得到 $\angle B_1OB_2 = 4c$,那么校正方法为:

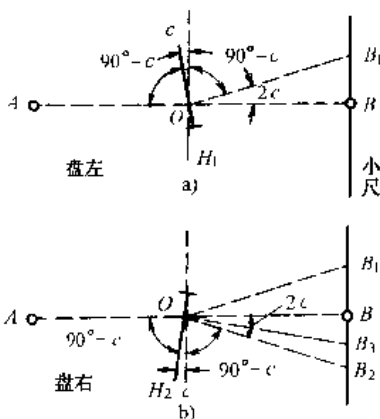


图 4-21

(1)从 B_2 起向 B_1 方向移动 $\frac{1}{4} B_2B_1$ 距离得 B_3 , $\angle B_3OB_2$ 恰等于 c ,所以 B_3O 垂直 H_1H_2 , B_3 即为此时视准轴应瞄准之点。

(2)拨动十字丝左右两个校正螺丝,如图 4-22,使十字丝交点对准 B_3 点,此时视准轴即处于垂直水平轴的位置。拨动十字丝校正螺丝时应注意上下两个校正螺丝先稍松一些,然后左右两个校正螺丝先松后紧,边松边紧,校正好后,各校正螺丝应处于旋紧状态。

视准轴的检验与校正也可利用度盘读数法按下列方法进行:

检验:选与视准轴近于水平的一点作为照准目标,盘左照准目标读数为 $\alpha_{左}$,盘右再照准目标读数为 $\alpha_{右}$,如 $\alpha_{左}$ 与 $\alpha_{右}$ 相差不是 180° ,则视准轴应进行校正。

校正:以盘右位置读数为准,计算两次读数的平均数 a 即:

$$a = \frac{\alpha_{右} + (\alpha_{左} \pm 180^\circ)}{2}$$

将度盘对在读数 a 处,此时视准轴偏离了照准目标,拨动十字丝左右校正螺丝,使视准轴照准目标,则视准轴与横轴垂直。

四、横轴的检验与校正

目的:使横轴垂直于竖轴。

检验:将仪器安置在一个清晰的高目标附近(望远镜仰角为 30° 左右),如图 4-23,盘左位置照准高目标 M ,旋紧照准部制动螺旋后,将望远镜放到水平位置,在墙上或横放的尺上标出 m_1 点。如两轴不垂直, m_1 点将在正确投影位置的一侧。盘右位置仍然照准 M 点,放平望远镜,在墙上标出 m_2 点,如果 m_1 和 m_2 相重合,则说明此条件满足,即横轴垂直于仪器竖轴,否则需要进行校正。

校正:此项校正一般应由厂家或专业仪器修理人员进行。

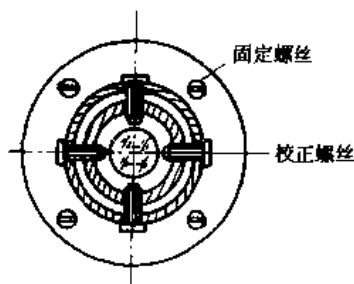


图 4-22

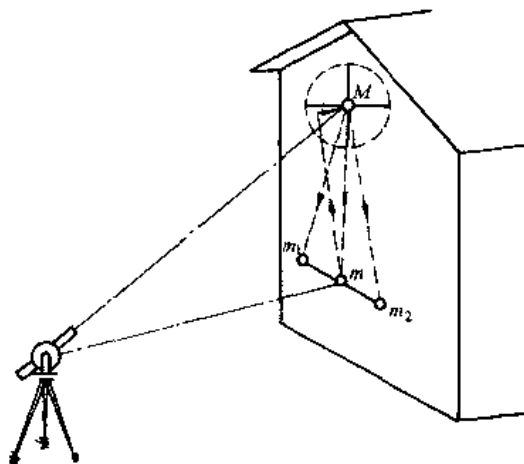


图 4-23

五、竖盘指标水准管的检验与校正

目的:使竖盘指标差 X 为 0,指标处于正确位置。

检验:安置经纬仪,分别用盘左、盘右位置观测同一目标,当竖盘指标水准管气泡居中后,分别读取竖盘读数 L 和 R ,用式(4-14)计算出指标差 X ,如果 X 超过限差,则须校正。

校正:按式(4-13)算出正确的竖直角 α ,根据 α 求出盘右时(此时仪器处于盘右位置)度盘读数的正确值 R ,并转动竖盘指标水准管微动螺旋,根据竖盘刻画注记形式,在竖盘上设置竖直角 α 值时的盘右读数 R' ,此时竖盘指标水准管气泡已不居中,然后用拨针拨动竖盘指标水准管上下校正螺丝使气泡居中即可。

六、光学对中器的检验与校正

目的:使光学对中器视准轴与仪器竖轴重合。

检验:精确地安置经纬仪,在脚架中央地面上放一张白纸,由光学对中器目镜观测,将光学对中器分画板的刻画中心标记于纸上,然后水平旋转照准部,每隔 120° 用同样的方法在白纸上作出标记点,如三点重合,说明此条件满足,否则需要进行校正。

校正:在白纸上的三点构成误差三角形,绘出误差三角形外接圆的圆心。由于仪器的类型

不同,校正部位也不同。有的校正转向直角棱镜,有的校正分画板,有的两者均可校正。校正时须通过拨动对点器上的校正螺丝,调整目标偏离量的一半,并反复进行,直到照准部转到任何位置观测时,目标都在中心圈以内为止。

应当指出的是,这六项检验校正的顺序不能颠倒,而且照准部水准管轴垂直于仪器竖轴的检校是其它项目检验和校正的基础,这一条件不满足,其它几项检验与校正就不能正常进行。

第六节 角度测量注意事项

一、影响角度测量成果的主要因素

1. 视准轴和横轴的误差

若视准轴不垂直于横轴,横轴不垂直于竖轴,即使竖轴处于铅垂位置,视准轴也不是在竖直面内转动。相当于照准位置不在标志的同一铅垂线上,使观测方向在水平度盘上的读数值发生偏差。上述两种误差在两半测回中所反映出来的误差都是大小相同而符号相反。所以,若取其两半测回观测值的平均值作为观测结果,可以抵消这两种误差。

2. 对中误差

仪器安置在测站上,虽然经过仔细对中,但总还存在有误差,特别是边长越短,偏心距越大,观测的水平角越接近 180° , 对中误差对水平角的影响越大,并且在观测方法上不能消除,所以只有观测时仔细对中,以减少影响。

3. 瞄准误差

瞄准误差也称测量本身误差。它主要包括两个方面:

(1) 瞄准目标偏心的误差。测水平角时,应尽量瞄准标志中心,若标志中心不能直接看到,则需要在标志上竖立标杆等,这时瞄准目标的位置和标志中心可能不在同一铅垂线上,因而产生瞄准偏心误差。如图 4-24 所示,标杆倾斜 α 角,瞄准点为 B'' , 造成的偏心距为 $BB' = e_2$, 即:

$$e_2 = l \sin \alpha \quad (4-15)$$

瞄准偏心对水平角的影响为:

$$\varphi = \frac{e_2}{d} \rho = \rho \frac{l}{d} \sin \alpha \quad (\rho = 206265'') \quad (4-16)$$

由式(4-16)可以看出,标杆倾斜越大,瞄准部位愈高,则目标偏心愈大,对角度的影响也愈大,而且目标偏心角度的影响与边长成正比,所以在观测水平角时,应尽量瞄准标志中心或标杆的底部,标杆要尽量竖直,或使用垂球架,在边长较长时尤要注意。

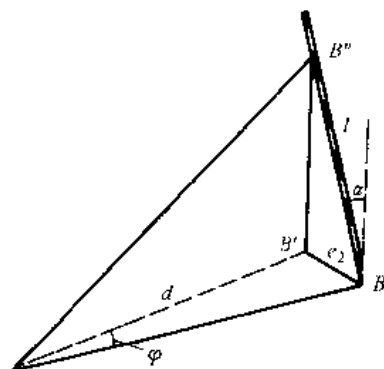


图 4-24

(2) 操作引起的误差。由于操作中视差未消除,人眼鉴别能力有限,操作不严格造成瞄准不准。这只能通过强化基本功训练,提高操作水平,严格操作程序才能消除或减少瞄准误差。

4. 自然条件影响的误差

自然条件影响较多,包括风力、日晒、温度变化、空气激烈对流、折光影响等,这方面要注意选点位置和选择适宜的观测时间,以减少其影响。

二、注意事项

(1)仪器要稳定:测站应选择在土质坚实的地方,要踏实三脚架,防止仪器不均匀下沉,观测时不要碰动三脚架。

(2)对中要准确:安置仪器要准确对中,对中误差不得大于 3mm;若角度接近 180° 时,在与短边垂直方向上,尤其要严格对中。

(3)整平要仔细:在观测过程中,水准气泡偏离中央不得大于半格,若超过一格,应重新整平。

(4)目标要照准:观测时应尽量照准标志中心或目标的底部;对光要仔细,注意消除视差。

(5)操作要规范:用测微轮时要用同一方向进行符合;选择在大气比较稳定和成像清晰的天气条件下进行观测。

(6)估读要准确:要记住所使用仪器的度盘注记形式,精确估读尾数。

第五章 误差的基本知识

不论是用钢尺丈量距离,还是用全站仪测量角度和高差,都存在着一定的误差。对每一个量来说,如距离或角度都有它们的真实的长度或角值,是一个定值。其真实的长度或角值,我们称为真实值,简称真值。如平面三角形内角之和等于 180° ,这 180° 就是平面三角形内角和的真值。但我们在实际观测三角形三个内角之后,发现其和往往不等于 180° ,不是大一点就是小一点,总有差异。这种现象之所以会产生,就是因为在观测平面三角形内角值的过程中存在着误差的缘故。所以测量的结果与理想的真值总是有差异,我们把这个差异称为误差。

产生误差的原因,首先跟测量的仪器或工具有关系,因为测量的仪器或工具,本身无论制造得多么精密,都不可能绝对完美无缺。如刻度尺的刻度不够准确,钢尺因温度变化会产生热胀冷缩,用它们测量距离就会产生误差。测量的仪器或工具制造得越精密,误差就越小。其次,误差的产生还跟观测的人有关系,观测者在读取最小刻度的下一位数值时是要目估出来的,有时偏大,有时又偏小,观测同一量,每次观测结果数值相近,但又不一样,确定不出哪一次观测的准确些,或者说离真值更接近些。另外,测量时所处的外界条件,如温度、湿度或大气折光等的变化。由于以上原因,以致在一切观测中总是不可避免地伴随着误差的产生,所以就不能测出某一量的真值。

第一节 误差的分类

测量误差按照它们的性质可分为系统误差与偶然误差两类。至于观测者的疏忽大意而造成读错、记错或计算错误等都属于错误,该错误均不属于测量误差的范畴。观测者对某一量如果进行多次观测或者认真仔细地操作,错误是完全可以避免的。

一、系统误差

系统误差又称恒定误差。在相同的观测条件下,对某一量作一系列的多次观测,如果误差在大小和符号上表现出系统性,或者在观测过程中按一定的规律变化着或者保持为常数,该误差就称为系统误差。如用名义长度 $l_0 = 30\text{m}$ 的钢尺丈量距离,事先经过检测,钢尺实际长度 $l = 30.0036\text{m}$,则该钢尺的误差为 $\Delta l = l - l_0 = +0.0036\text{m}$,则每丈量一整尺段的距离就比钢尺名义长度长了 3.6mm 。若有一段距离恰好被丈量了 16 整尺,则该段距离的名义距离为 $30 \times 16 = 480\text{m}$,而实际长度为 $30.0036 \times 16 = 480.0576\text{m}$,实际距离比名义距离长了 $\Delta l_{16} = \Delta l \times 16 = 0.0036 \times 16 = 0.0576\text{m}$,用公式表示为:

$$\text{误差 } \Delta l_n = \frac{l - l_0}{l_0} D'$$

式中 $\frac{l - l_0}{l_0}$ 表示单位误差, D' 表示实际观测的距离。那么,实际距离为 $D = D' + \Delta l_n$ 。

以上计算说明,用这样的钢尺所丈量的距离 D' 就包含着 $+\frac{l - l_0}{l_0} D'$ 的误差, $+\frac{l - l_0}{l_0} D'$ 即

为系统误差。这个系统误差的大小与被丈量的距离的长度成正比,而且符号一致。以上计算还说明,用钢尺量距,可用一定的公式对观测结果加以改正来消除系统误差的影响。又如,用视准轴不平行于水准管轴的水准仪测定高差,则水准尺读数的误差大小与水准仪至水准尺的距离成正比,并保持同一符号,水准仪距水准尺距离越长,读数误差越大。消除这一系统误差的办法是:在进行水准测量时,使前后视距离相等,就可以消除或大大减少视准轴不平行于水准管轴对观测结果的影响。

综上所述,系统误差的特点是具有累积性,对测量成果影响也较为显著,必须设法消除或尽量使其减小到对测量成果的影响可以忽略不计的程度。造成系统误差的主要原因是:测量的仪器或工具构造不完善,测量前没有校正仪器而产生的。所以我们可以用一定的公式对观测结果加以改正或用特定的观测方法来消除或减少系统误差的影响。

二、偶然误差

在相同的观测条件下,进行一系列的观测,如果观测误差在符号上和数值上都表现不出一致性,即每个误差的大小及符号从表面上看没有任何规律性,这种误差称为偶然误差。与系统误差相反,偶然误差是不能被消除的,在观测过程中偶然误差总是存在的,例如水准测量、角度测量时的读数误差,量距时估读 mm 的误差,望远镜瞄准误差等等。产生偶然误差的原因很复杂,如自然条件(观测时空气的跳动、被瞄准目标的照明度、湿度、温度等)的变化,仪器制造不精确及校正不能达到理论上的条件,人的感觉器官所不能避免的误差,甚至观测者操作的熟练程度等都会影响观测结果。

系统误差与偶然误差在观测过程中经常同时产生。有些系统误差的来源是无法事先知道的,致使观测结果不能完全脱离系统误差的影响,因此要设法消除系统误差的影响或者使其影响大大小于偶然误差,使观测误差呈现偶然性质。

偶然误差没有一定的规律性是指对个别误差而言,就是说在相同条件下个别偶然误差的出现,好象只是由于一些偶然因素引起的,看不出遵循什么必然的规律,但是从大量测量实际中发现,在相同的观测条件下,大量的偶然误差却表现出数理统计上的规律性,现可用下面的一个实例来说明这种规律性。

在相同的观测条件下,观测了 252 个三角形的全部内角,由于存在偶然误差,致使三角形内角之和不等于它的真值——180°。设三角形内角和的真值为 X ,观测值为 L ,则三角形内角之和的真误差 Δ 为:

$$\Delta = X - L \tag{5-1}$$

现将 252 个三角形的真误差按绝对值的大小排列如表 5-1 所示。

表 5-1

误差的区间(″)	正 Δ 个数	负 Δ 个数	总 数
0~2	38	37	75
2~4	31	30	61
4~6	22	24	46
6~8	12	13	25
8~10	9	10	19
10~12	7	6	13

续上表

误差的区间(″)	正 Δ 个数	负 Δ 个数	总 数
12~14	5	3	8
14~16	3	1	4
16~18	0	1	1
18~20	0	0	0
总 和	127	125	252

对上表的观测结果进行分析可以发现,小的误差比大的误差出现的机会多,绝对值相等的正误差和负误差出现的次数相近,最大误差不超过 $20''$ 。

从上例可以看出,偶然误差的特性如下:

(1)在一定的观测条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定的限度,上例中误差的最大值为 $18''$;

(2)绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的机会多,上例中误差在 $4''$ 之内的有 136 个,占总数的 54%,而误差在 $16'' \sim 18''$ 之间的只有 1 个,占总数的 0.4%;

(3)绝对值相等的正误差与负误差出现的机会几乎相等,上例中正误差有 127 个,而负误差有 125 个;

(4)偶然误差的算术平均值随着观测次数 n 的无限增加而趋向于零,即:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \cdots + \Delta_n}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0 \quad (5-2)$$

第二节 算术平均值

在相同精度观测条件下对某量观测了 n 次,其观测结果为 $L_1, L_2, \cdots, L_n$ 。设某量的真值为 X ,观测值的真误差为 $\Delta_1, \Delta_2, \cdots, \Delta_n$,则:

$$\Delta_1 = X - L_1$$

$$\Delta_2 = X - L_2$$

$$\cdots \cdots$$

$$\Delta_n = X - L_n$$

将上列各式相加得:

$$[\Delta] = nX - [L] \quad (5-3)$$

上式两边各除以 n 得:

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

令

$$\frac{[\Delta]}{n} = \delta \quad \frac{[L]}{n} = x$$

代入上式经移项后得:

$$X = x + \delta \quad (5-4)$$

δ 为 n 个观测值真误差的平均值,根据偶然误差的第四个性,当 $n \rightarrow \infty$ 时,则 $\delta \rightarrow 0$,即:

$$\delta = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0 \quad (5-5)$$

这时算术平均值就是某量的真值。即：

$$X = \frac{[L]}{n}$$

在实际工作中,观测次数总是有限的,都是采用多次观测值求算术平均值:

$$x = \frac{[L]}{n} \quad (5-6)$$

它是根据观测值所能求得的最可靠的结果,称为最或是值。

用上式计算最或是值很麻烦,若引入一个观测值的近似值 L_0 ,把上式改变,则计算就简便了。观测值与近似值之差为:

$$L_1 - L_0 = \Delta L_1$$

$$L_2 - L_0 = \Delta L_2$$

.....

$$L_n - L_0 = \Delta L_n$$

将上列各式相加得:

$$[L] - nL_0 = [\Delta L] \quad (5-7)$$

两边除以 n 并移项后得简化公式:

$$x = L_0 + \frac{[\Delta L]}{n} \quad (5-8)$$

[例] 对同一距离用全站仪测量了 5 次,测量结果是 $L_1 = 152.365\text{m}$, $L_2 = 152.358\text{m}$, $L_3 = 152.370\text{m}$, $L_4 = 152.369\text{m}$, $L_5 = 152.368\text{m}$,求该段距离的算术平均值。

解:取近似值 $L_0 = 152.300\text{m}$,而 $\Delta L_1 = 0.065\text{m}$, $\Delta L_2 = 0.058\text{m}$, $\Delta L_3 = 0.070\text{m}$, $\Delta L_4 = 0.069\text{m}$, $\Delta L_5 = 0.068\text{m}$,则用公式 $x = L_0 + \frac{[\Delta L]}{n}$ 计算如下:

$$\begin{aligned} x &= L_0 + \frac{[\Delta L]}{n} \\ &= 152.300 + \frac{0.065 + 0.058 + 0.070 + 0.069 + 0.068}{5} \\ &= 152.366\text{m} \end{aligned}$$

第三节 评定精度的标准

测量的任务不仅在于求得观测值的大小,也必须了解观测值的精度。由于观测误差中偶然误差起主导作用,而偶然误差在同精度的观测结果中有时较大有时较小,所以由一组观测结果的真误差的大小不能正确地判断观测值的精度。为了判断观测值的精度,必须进行“多余观测”,如一个三角形,要确定其形状只需观测两个内角就够了,如果对三个内角都进行了观测,则其中有一个就是“多余观测”,多余观测的次数越多,观测的精度也越高。要判断观测误差对观测结果的影响,也就是说为了鉴别观测的精度,必须建立评定精度的标准,其中最常用的有以下几种。

一、中 误 差

1. 用真误差来确定中误差

在同样的观测条件下,各个观测值的真误差平方的平均数的平方根,称为中误差(或称为

均方误差),通常用符号 m 表示。设对未知量 X 进行了 n 次观测,设观测值为 $L_1, L_2, \dots, L_n$, 每一个观测值相应的真误差为 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ 。则表示上述任一观测值的中误差 m 为:

$$m^2 = \pm \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n} = \frac{[\Delta\Delta]}{n}$$

所以

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (5-9)$$

从中误差 m 的定义中可以看出中误差与真误差之间的关系。中误差并不等于每个观测值的真误差,它仅是一组真误差的代表,当一组观测值的真误差越大时,中误差也越大,观测值的精度就越低;反之,精度就越高。如果对某一未知量进行了两组观测,它们的中误差相同,表示两组观测结果的精度也是相同的。

[例] 设对某未知量 X 进行了两组观测,其真误差为:第一组 $+3, +2, -3, 0, -4, -3, +1, +2, -3, +1, +3, -2$;第二组 $0, +4, -3, +2, 0, -2, -1, +3, -2, -3, -1, +2$ 。分别求其中误差。

解:这两组观测值的中误差如下:

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{3^2 + 2^2 + 3^2 + 0^2 + 4^2 + 3^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2 + 1^2 + 3^2 + 2^2}{12}} = \pm 2.5$$

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{0^2 + 4^2 + 3^2 + 2^2 + 0^2 + 2^2 + 1^2 + 3^2 + 2^2 + 3^2 + 1^2 + 2^2}{12}} = \pm 2.25$$

由 m_1 和 m_2 可看出,因 $|m_2| < |m_1|$,则第二组的观测精度较第一组观测精度高。

2. 用改正数来确定中误差(又称为白塞尔公式法)

在实际工作中,未知量的真值往往不知道,真误差也无法求得,此时可根据改正数来确定中误差。

设对真值为 X 的某一量进行了 n 次同精度的观测,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:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= X - L_1 \\ \Delta_2 &= X - L_2 \\ \dots\dots \\ \Delta_n &= X - L_n \end{aligned} \right\} \quad (5-10)$$

设算术平均值 x 与观测值 L 之差称为观测值的改正数 V ,则:

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= x - L_1 \\ V_2 &= x - L_2 \\ \dots\dots \\ V_n &= x - L_n \end{aligned} \right\} \quad (5-11)$$

将以上两组公式对应相减并移项得:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= V_1 + (X - x) \\ \Delta_2 &= V_2 + (X - x) \\ \dots\dots \\ \Delta_n &= V_n + (X - x) \end{aligned} \right\} \quad (5-12)$$

将上式分别自乘后相加得:

$$[\Delta\Delta] = [VV] + n(X - x)^2 + 2(X - x)[V]$$

将式(5-11)中的各式相加得:

$$[V] = nx - [L]$$

将 $x = \frac{[L]}{n}$ 代入上式得:

$$[V] = 0$$

则:

$$[\Delta\Delta] = [VV] + n(X - x)^2 \quad (5-13)$$

将式(5-12)中的各式相加得:

$$[\Delta] = [V] + n(X - x)$$

由于 $[V] = 0$, 所以 $[\Delta] = n(X - x)$, 将此式自乘, 则得:

$$(X - x)^2 = \frac{[\Delta]^2}{n^2}$$

将上式代入式(5-13)得:

$$[\Delta\Delta] = [VV] + \frac{[\Delta]^2}{n}$$

即

$$\begin{aligned} \frac{[\Delta]^2}{n} &= \frac{1}{n}(\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \cdots + \Delta_n^2 + 2\Delta_1\Delta_2 + 2\Delta_1\Delta_3 + \cdots) \\ &= \frac{[\Delta\Delta]}{n} + \frac{2}{n}(\Delta_1\Delta_2 + \Delta_1\Delta_3 + \cdots) \end{aligned}$$

由于 $\Delta_1, \Delta_2, \cdots, \Delta_n$ 是偶然误差列, 故 $\Delta_1\Delta_2, \Delta_1\Delta_3, \cdots$ 也具有偶然误差的性质。根据偶然误差的第四个特性, 当 n 趋向无穷大时, 其总和应趋近于 0; 当 n 为较大的有限值时, 其值也远比 $[\Delta\Delta]$ 小, 故可忽略不计。于是得:

$$\begin{aligned} [\Delta\Delta] &= [VV] + \frac{[\Delta\Delta]}{n} \\ \frac{[\Delta\Delta]}{n} &= \frac{[VV]}{n-1} \end{aligned} \quad (5-14)$$

根据中误差定义得:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \quad (5-15)$$

式(5-15)称为白塞尔公式。

[例] 设用经纬仪测量某角 5 次, 观测值列于表 5-2, 试用白塞尔公式求观测值的中误差。

解: 计算过程见表 5-2。

表 5-2

观测次数	观测值 L	$\Delta L = L - L_0$	$V = x - L$	VV	计 算
1	$56^\circ 32' 20''$	$+20''$	$-14''$	196	$x = L_0 + \frac{[\Delta L]}{n} = 56^\circ 32' 00''$ 校核: $[V] = 0$ $m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{1\ 520}{5-1}}$ $= \pm 19.49''$
2	$56^\circ 32' 00''$	$00''$	$+6''$	36	
3	$56^\circ 31' 40''$	$-20''$	$+26''$	676	
4	$56^\circ 32' 00''$	$00''$	$+6''$	36	
5	$56^\circ 32' 30''$	$+30''$	$-24''$	576	
	$L_0 = 56^\circ 32' 00''$	$+30''$	$0''$	+1 520	

二、极限误差

对某一量进行很多次同精度观测,所产生的最大偶然误差称为极限误差,又称为容许误差。由偶然误差的第一特性可知,在一定的观测条件下,偶然误差的绝对值不超过一定限度。根据或然率理论证明:偶然误差大于1个中误差的机会较多,每3次中就有1次,约占32%;而大于3倍中误差的出现机会较少,每370次中仅有1次,约占0.3%。在实际工作中,测量次数是不多的,因此认为大于3倍中误差的偶然误差实际上是不可能的。因此通常以3倍的中误差作为偶然误差的极限误差,即:

$$\Delta_{\text{限}} = 3m \quad (5-16)$$

极限误差作为误差的限度,如果某一观测值的误差超过这个限度,就认为这个观测值不符合要求。所以极限误差就是我们通常所说的容许误差。在实际工作中如要求严格时,也有采用2倍中误差作为极限误差的。

三、相对误差

对于衡量观测值的精度来说,有时利用中误差还不能完全表达观测结果的精度高低。如丈量两条直线,一条长1000m,另一条长100m,它们的中误差都是 $\pm 10\text{mm}$,那么能不能说两者的测量精度相同呢?显然是不能这样说的,前者的精度高于后者。为此,利用中误差与观测值的比值表示相对误差,即用 $\frac{m}{L}$ 来衡量观测值的精度。如上述丈量的两条直线,前者的相对误差为 $\frac{10}{1000000} = \frac{1}{100000}$,而后者为 $\frac{10}{100000} = \frac{1}{10000}$,可见前者精度比后者高。相对误差是个无量纲数(即无单位),在测量工作中通常将相对误差化为分子等于1的分数来表示。

对于真误差与极限误差,同样也可用相对误差来表示。如经纬仪导线测量中,规定导线相对闭合差不能超过 $\frac{1}{2000}$,这就是指相对极限误差。而在实测中所产生的相对闭合差,就可以说是相对真误差。

与相对误差相对应的真误差、中误差、极限误差一般称为绝对误差。

第六章 导线测量

第一节 概 述

在测量过程中,不可避免会产生测量误差,若该误差逐渐积累起来,最后将到达不可容许的程度。为了防止测量误差的积累,提高测量精度,在实际测量工作中应遵循“从整体到局部、由高级到低级、先控制后碎部”的测量原则。在测区内先选择一些能起控制作用的点为骨干,以此为基础,再测定碎部点的平面位置和高程。这些点称为控制点,由它们所组成的网(附合导线或闭合导线)称为控制网,控制网又可分为平面控制网和高程控制网两种。

全国性的测量工作也不是一次就布置好控制网直接作为碎部测量的依据,因为外业观测和成果整理都很复杂,而且很难保证精度,所以布置控制网也是由整体到局部的程序,逐级布置控制网,既满足精度要求也符合经济原则。我国基本控制网按照精度的不同,分为一、二、三、四等,由高级向低级逐级建立。

建立平面控制可以用三角测量和导线测量的方法来建立,高程控制用水准测量来建立。

三角测量是在地面上选择若干控制点,组成互相连结的三角形。测定这些三角形中的一条边的水平距离和各个三角形的顶角,根据三角学原理可计算出各控制点的坐标。三角形各顶点称为三角点。各三角形联成锁状的称为三角锁,联成网状的称为三角网。作为测绘国家地图控制的三角网,称为国家三角网。如应用于某些独立小地区测图,或应用于某些工程建筑(如大桥、隧道)测图,称为独立三角网。

导线测量是用连续的折线把各控制点连结起来,测定边长和转角而计算控制点的坐标和任一条导线边的方向。当前导线测量均采用精密仪器(即全站仪)来完成,目前常用仪器的型号有:日本尼康 DTM—310 及 DTM—750;德国蔡司 RD—24、RS—12;美国 Trimble 公司的 TTS500 等。

导线测量分为精密导线测量和经纬仪导线测量两种。前者用于国家基本平面控制、高等级公路导线测量,以及用于某些大型工程建筑测量;后者用于国家控制点间加密一些直接用于测量碎部点的图根控制点,或者在没有国家控制点的小范围内用经纬仪导线直接建立图根控制点。

除了上述网种基本导线外,在使用平板仪测图时,由于精度要求较低,对于局部地区也可以用平板仪直接建立平板仪导线为测图控制。

第二节 导线测量的外业

一、导线的形式与等级

1. 导线的形式

根据需要,导线的布置可分为以下两种形式:

1) 闭合导线

如图 6-1a) 所示,由某点(非高级控制点亦可)出发最后又回到原点,组成一个闭合的多边形。它适用于局部地区的测图控制,如公路收费站、道班房、加油站、桥址测量的测图控制等。

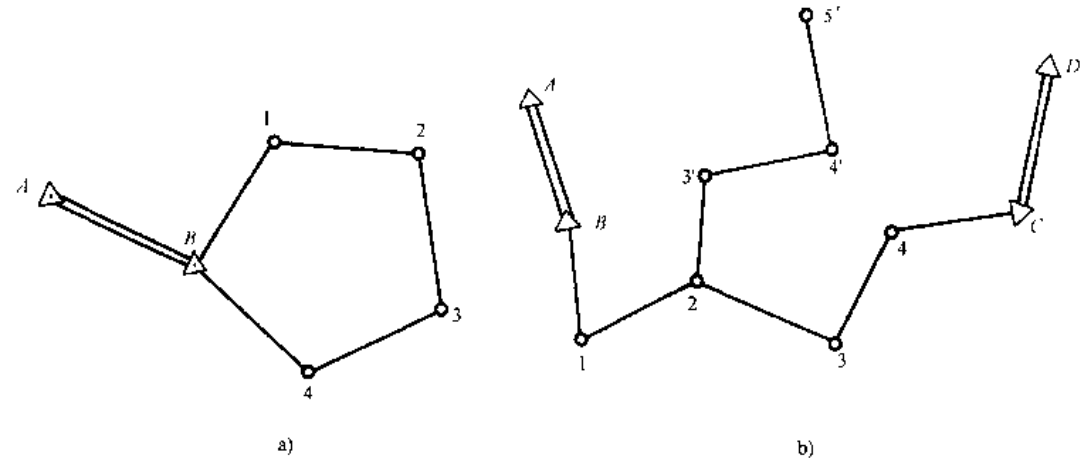


图 6-1

2) 附合导线

如图 6-1b) 所示,自某一高级控制点出发,最后附合到另一高级控制点上的导线。适用于公路带状地区的测图控制。

3) 支导线

如图 6-1b) 中的 3'、4'、5' 3 个点,从一控制点 2 出发,既不闭合也不附合于控制点上,这种支导线没有已知点进行校核,错误不易发现,所以点数不宜太多,以不超过 2~3 点为宜。

2. 导线的等级

除国家精密导线外,在局部地区地形测量和一般工程测量中,根据测区范围和精度要求,导线测量可分为一级导线和二级导线以及图根导线 3 个等级。它们可作为国家四等控制点的加密控制。在独立地区它们又可作为测区的首级控制。各级导线测量的技术指标如表 6-1 所示。

导线测量主要技术指标

表 6-1

等级	附合导线长度 (km)	相对闭合差	平均边长 (m)	测角中误差 (")	测回数		角度容许闭合差 (")
					DJ_6	DJ_2	
一	2.4	1/10000	200	6	4	2	$\pm 12\sqrt{n}$
二	1.2	1/5000	100	12	2	1	$\pm 24\sqrt{n}$
图根	0.6	1/2000	不大于测图视距 1.5 倍	20	1		$\pm 40\sqrt{n}$

二、导线测量的外业工作

首先组织工程技术人员到现场进行踏勘,了解测区的范围和地形条件以及测图要求等内容,并搜集该区有关资料,根据已有控制点情况,合理地选定导线点位置。

1. 选点

(1) 导线点应选择在地势较高、视野开阔的地点,以便于施测周围地形。

(2)导线点应选择在土质坚实处,便于保存标志和安置仪器。

(3)相邻两导线点间要通视良好,地面平坦,便于测角和量距。

(4)导线点应有足够的密度,而且分布要均匀。导线边长要大致相等,相邻边长不应悬殊过大,否则影响测量精度。

(5)在公路测量中,导线应尽可能接近路线位置。在桥位和隧道口要设置导线点。

导线点选定后,要用标志固定下来,一般只用木桩在桩顶钉入小钉以表示点位。若需要长期保存,就要现浇混凝土桩,中间插一根 12mm 的钢筋,钢筋顶应磨成帽形,并刻一“十”字,作为永久性标志。导线点要进行编号,并绘草图,注明尺寸,记录在案。

2. 测角

导线的水平角是用经纬仪采用测回法进行观测的,目前高等级公路的导线都用全站仪进行测量。附和导线按测量前进方向测量左角,亦可测量右角。在闭合导线中均测量内角。导线与高级控制点连接时,须测出连接角,以推算各边的方位角。具体的测角方法和步骤已在第四章中讲述,此处不再赘述。

3. 测量边长

(1)目前常用红外线测距仪测量导线的边长,具体方法详见第十章。

(2)若用钢尺直接丈量,则需对钢尺进行检验后方能使用。导线距离丈量的技术要求如表 6-2 所示。

导线量距技术指标

表 6-2

导线等级	作业尺数	丈量总次数	定线最大偏差 (mm)	读数次数	估 读 (mm)	温度误差 (℃)	同尺各次或同段 各尺较差(mm)	相对中误差
一级导线	1~2	2	10	3	0.5	0.5	2	1/10000
二级导线	1~2	2	20	2	0.5	0.5	2	1/5000
图根导线	1	1	30	2	0.5		3	1/2000

第三节 导线测量的内业

在公路带状地形测量中,首先将导线控制点按坐标绘到图纸上,然后根据导线点进行碎部测量。导线计算就是算出各导线边的方位角和各导线点的坐标。在计算之前,要仔细检查所有外业资料的计算是否正确,其各项误差是否在容许范围之内,以保证原始资料的正确性。同时绘制导线略图,注明已知数据及观测数据,以便进行导线的计算。

一、闭合导线的计算

1. 角度闭合差的计算和调整

如图 6-2 所示,对于 n 边闭合导线,多边形的内角和在理论上应为:

$$\Sigma\beta_{理} = 180^\circ(n-2) \quad (6-1)$$

由于观测角度有误差,使实测的内角之和不等于理论值,产生角度闭合差 f_β ,即角度观测值总和减去理论值总和所得差值称为角度闭合差。

$$\begin{aligned} f_\beta &= \Sigma\beta'_{测} - \Sigma\beta_{理} \\ &= \Sigma\beta'_{测} - 180^\circ(n-2) \end{aligned} \quad (6-2)$$

根据表 6-1 的技术要求,若 $f_{\beta} > f_{\beta容}$,应重新施测角度。若 $f_{\beta} < f_{\beta容}$,说明误差在容许范围内,可将角度闭合差进行调整,使调整后的角值满足理论上的要求。由于导线的各角度是采用相同的仪器和方法,在相同的条件下观测的,所以每个角所产生的误差大致相同,在调整角度时,可将闭合差按相反的符号平均分配到各观测角内。若分配有余数,将剩余部分多分配到短边的相邻角上。设观测角为 β' ,各观测角的改正数为 V_{β} ,改正后的观测角值 β 为:

$$\left. \begin{aligned} V_{\beta} &= -\frac{f_{\beta}}{n} \\ \beta &= \beta' + V_{\beta} \end{aligned} \right\} \quad (6-3)$$

2. 导线边坐标方位角的推算

闭合导线按顺时针编号,则观测导线的右侧角为内角,如果按逆时针编号,则观测导线的左侧角为内角。根据已知边坐标方位角(简称方位角)和调整后的内角推算其它各边的方位角。

若观测导线右侧角为内角,如图 6-3 所示,各边方位角推算如下:

$$\begin{aligned} \alpha_{23} &= \alpha_{12} + 180^{\circ} - \beta_2 \\ \alpha_{34} &= \alpha_{23} + 180^{\circ} - \beta_3 \\ &\dots\dots \end{aligned}$$

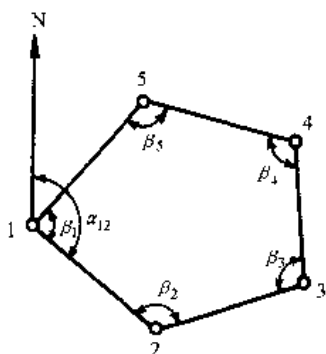


图 6-2

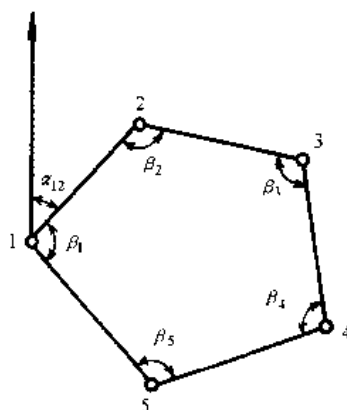


图 6-3

由此可知,前一边方位角等于后一边方位角加上 180° ,再减去两边所夹的右角,即:

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + 180^{\circ} - \beta_{右} \quad (6-4)$$

若观测导线左侧角为内角,如图 6-2 所示,各边方位角推算如下:

$$\begin{aligned} \alpha_{23} &= \alpha_{12} + \beta_2 - 180^{\circ} \\ \alpha_{34} &= \alpha_{23} + \beta_3 - 180^{\circ} \\ &\dots\dots \end{aligned}$$

由此可知,前一边方位角等于后一边方位角加上两边所夹的左角,再减去 180° 。即:

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + \beta_{左} - 180^{\circ} \quad (6-5)$$

注意:用上式计算出的 α 值若大于 360° 时,则应减去 360° ;若 α 出现负值时则要加上 360° 。

3. 坐标增量的计算

设纵坐标为 x 轴,横坐标为 y 轴,导线边长为 D ,导线边的方位角为 α ,导线边两端点的坐标之差为坐标的增量。纵坐标增量 Δx 和横坐标增量 Δy 表示如下:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= D \cos \alpha \\ \Delta y &= D \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (6-6)$$

如图 6-4 所示,坐标增量的正负号按方位角所在的象限确定。

坐标增量计算方法,过去都采用对数表计算,由于科学技术的发展,现在均采用电子计算机计算,可将坐标方位角和边长数据按计算程序直接输入计算器内,就能直接得出 Δx 和 Δy 的值。

4. 坐标增量闭合差的计算和调整

如图 6-5a) 所示,闭合导线的纵横坐标增量的代数和理论上应分别等于零。即:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma \Delta x_{\text{理}} &= 0 \\ \Sigma \Delta y_{\text{理}} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6-7)$$

由于测角和量边有误差,算得的坐标增量不为零,而等于某一数值,该值在测量上称为坐标增量闭合差。设纵、横坐标增量闭合差分别为 f_x 和 f_y ,则:

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \Sigma \Delta x_{\text{测}} \\ f_y &= \Sigma \Delta y_{\text{测}} \end{aligned} \right\} \quad (6-8)$$

由于存在坐标增量闭合差,使计算出来的闭合导线的图形不能闭合,如图 6-5b) 所示,此缺口的距离称为导线全长闭合差,以 f_D 表示。按几何关系可得:

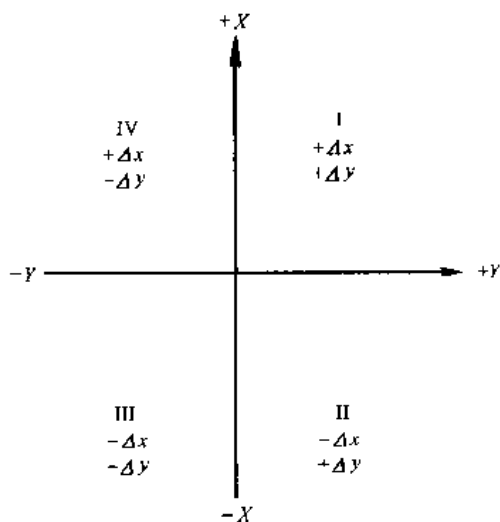


图 6-4

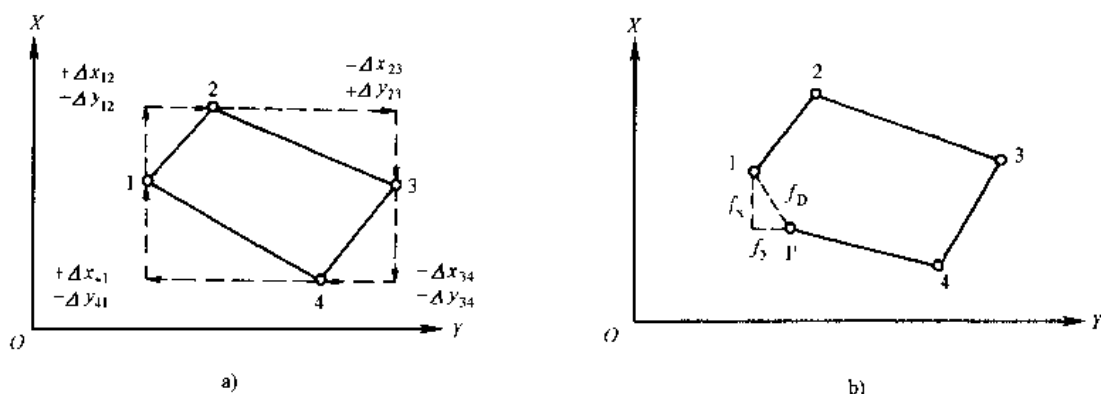


图 6-5

$$f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (6-9)$$

f_D 是随着导线总长度的增大而增大,所以用它来衡量导线的精度不十分确切。为了正确衡量导线测量的精度,应把导线全长闭合差 f_D 与导线全长 ΣD 之比作为衡量精度的标准。这个比值称为导线全长相对闭合差 K 。即:

$$K = \frac{f_D}{\Sigma D} = \frac{1}{\Sigma D / f_D} \quad (6-10)$$

不同等级的导线相对闭合差的容许值 $K_{\text{容}}$ 列入表 6-2。若 $K > K_{\text{容}}$,则必须重测。若 $K < K_{\text{容}}$,说明符合精度要求,可将坐标增量闭合差以相反的符号,按边长成正比例分配到各相应的坐标增量中,各坐标增量改正数为:

$$\left. \begin{aligned} V_{xi} &= -\frac{f_x}{\Sigma D} D_i \\ V_{yi} &= -\frac{f_y}{\Sigma D} D_i \end{aligned} \right\} \quad (6-11)$$

所有各个坐标增量改正数之和应等于坐标增量闭合差,其符号相反,以作校核。

$$\left. \begin{aligned} \sum V_x &= -f_x \\ \sum V_y &= -f_y \end{aligned} \right\} \quad (6-12)$$

5. 计算导线点的坐标

根据起始点坐标和改正后的坐标增量,依次推算各点坐标。计算公式如下:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + \Delta x_{i-1,i} \\ y_i &= y_{i-1} + \Delta y_{i-1,i} \end{aligned} \right\} \quad (6-13)$$

闭合导线计算示例如表 6-3 所示。

二、附合导线的计算

附合导线的计算步骤与闭合导线基本上相同,由于布置图形不同,因而在角度闭合差与坐标增量闭合差的计算上有所区别。

如图 6-6 所示,附合导线连接在高级控制点 A、B 和 C、D 上,它们的坐标为已知。已知起始边方位角 α_{AB} 和终边方位角 α_{CD} ,观测导线的左角,测量导线边长 D 。

1. 角度闭合差的计算

观测导线右角计算方位角的方法如下:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{12} &= \alpha_{AB} + 180^\circ - \beta_1 \\ \alpha_{23} &= \alpha_{12} + 180^\circ - \beta_2 = \alpha_{AB} + 2 \times 180^\circ - \beta_1 - \beta_2 \\ &\dots\dots \\ \alpha'_{CD} &= \alpha_{AB} + n180^\circ - \sum \beta_{\text{右}} \end{aligned} \right\} \quad \text{图 6-6} \quad (6-14)$$

同理,观测导线左角计算方位角的方法如下:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{12} &= \alpha_{AB} - 180^\circ + \beta_1 \\ \alpha_{23} &= \alpha_{12} - 180^\circ + \beta_2 = \alpha_{AB} - 2 \times 180^\circ + \beta_1 + \beta_2 \\ &\dots\dots \\ \alpha'_{CD} &= \alpha_{AB} - n180^\circ + \sum \beta_{\text{左}} \end{aligned} \right\} \quad (6-15)$$

由于测角的误差,使得推算终边方位角 α'_{CD} 与已知终边方位角 α_{CD} 不相等,它们之差值 f_β 称为附合导线的角度闭合差。计算公式如下:

$$f_\beta = \alpha'_{CD} - \alpha_{CD} = \alpha_{AB} \mp n180^\circ \pm \sum \beta \left(\begin{smallmatrix} \text{左角} \\ \text{右角} \end{smallmatrix} \right) - \alpha_{CD} \quad (6-16)$$

$$\text{或} \quad f_\beta = (\alpha_{AB} - \alpha_{CD}) \mp n180^\circ \pm \sum \beta \left(\begin{smallmatrix} \text{左角} \\ \text{右角} \end{smallmatrix} \right) \quad (6-17)$$

附合导线角度闭合差容许值及闭合差调整方法与闭合导线相同。

2. 坐标增量闭合差的计算

如图 6-7 所示,附合导线坐标增量的代数和的理论值应等于起终两点的已知坐标之差,即:

$$\left. \begin{aligned} \sum \Delta x_{\text{理}} &= x_C - x_B \\ \sum \Delta y_{\text{理}} &= y_C - y_B \end{aligned} \right\} \quad (6-18)$$

由于测角和测边有误差存在,所以计算坐标增量的代数和不等于理论值,产生纵横坐标增

表 6-3

闭合导线计算示例

坐标 点号	观测角 β'_i (° ' ")	改正数 V_β (")	改正后角值 β''_i (° ' ")	方位角 α (° ' ")	边长 D (m)	纵坐标增量 Δx (m)			横坐标增量 Δy (m)			纵坐标 x (m)	横坐标 y (m)		
						计算值	改正数	改正后的值	计算值	改正数	改正后的值		计算值	改正数	改正后的值
A												6 236.812			7 816.203
1	120 12 18	-13	120 12 05	50°16'18"	151.260	+96.678	-0.052	+96.626	+116.332	-0.015	+116.317	6 333.438			7 932.520
2	87 03 12	-13	87 02 59	110 04 13	168.312	-57.760	-0.058	-57.818	+158.091	-0.016	+158.075	6 275.620			8 090.595
3	113 23 30	-13	113 23 17	203 01 14	148.121	-136.325	-0.051	-136.376	-57.924	-0.014	-57.938	6 139.244			8 032.657
4	120 45 24	-13	120 45 11	269 37 57	156.861	-1.006	-0.054	-1.060	-156.858	-0.015	-156.873	6 138.184			7 875.784
A	98 36 42	-14	98 36 28	328 52 46	115.256	+98.669	-0.041	+98.628	-59.569	-0.012	-59.581	6 236.812			7 816.203
Σ	540 01 06	-66	540 00 00		739.810	+0.256	-0.256	0	+0.072	-0.072	0				

角度闭合差及改正数的计算

$$\begin{aligned}
 \Sigma \beta_{\text{测}} &= 180^\circ(5-2) = 540^\circ \\
 f_\beta &= \Sigma \beta_{\text{测}} - \Sigma \beta_{\text{理}} \\
 &= 540^\circ 01' 06'' - 540^\circ \\
 &= +01' 06'' \\
 f_{\beta \text{容}} &= \pm 40'' \sqrt{n} \\
 &= \pm 40'' \sqrt{5} = \pm 1' 29'' \\
 f_\beta &< f_{\beta \text{容}} \\
 \text{改正数 } V_i &= -\frac{f_\beta}{n} = -\frac{+66''}{5} \\
 &= -13.2''
 \end{aligned}$$

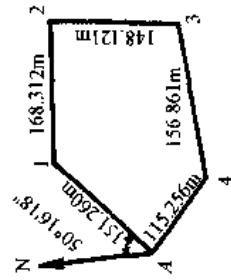
坐标增量闭合差的计算

$$\begin{aligned}
 \Sigma \Delta x_{\text{理}} &= 0, \Sigma \Delta y_{\text{理}} = 0 \\
 f_x &= +0.256 \quad f_y = +0.072 \\
 V_{xA,1} &= -\frac{+0.256}{739.810} \times 151.260 \\
 &= -0.052 \\
 V_{yA,1} &= -\frac{+0.072}{739.810} \times 151.260 \\
 &= -0.015
 \end{aligned}$$

导线相对闭合差的计算

$$\begin{aligned}
 f_0 &= \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \\
 &= \sqrt{0.256^2 + 0.072^2} \\
 &= 0.266 \\
 K &= \frac{f}{\Sigma D} = \frac{0.266}{739.810} \\
 &= \frac{1}{2781} < \frac{1}{2000}
 \end{aligned}$$

草图

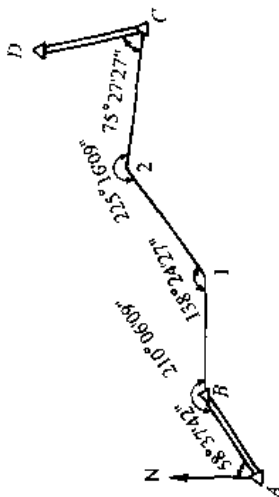


计算者: × × × 复核者: × × × × × × 年 × 月 × 日

附合导线计算示例

表 6-4

坐标 点号	观测角 $\beta_{\text{左}}$ ($^{\circ}$ 、 $'$ 、 $''$)	改正数 V_{β} ($''$)	改正后角值 $\beta_{\text{左}}$ ($^{\circ}$ 、 $'$ 、 $''$)	方位角 α ($^{\circ}$ 、 $'$ 、 $''$)	边长 $D(\text{m})$	纵坐标增量 $\Delta x(\text{m})$			横坐标增量 $\Delta y(\text{m})$			纵坐标 $x(\text{m})$	横坐标 $y(\text{m})$	
						计算值	改正数	改正后的值	计算值	改正数	改正后的值			
A														
B	210 06 18	-9	210 06 09	58 37 42										8 368.158
1	138 24 36	-9	138 24 27	88 43 51	186.126	+4.123	-0.040	+4.083	+186.080	-0.040	+186.040	6 573.295		8 554.198
2	225 16 18	-9	225 16 09	47 08 18	203.483	+138.415	-0.043	+138.372	+149.153	-0.044	+149.109	6 715.750		8 703.307
C	75 27 36	-9	75 27 27	92 24 27	200.187	-8.409	-0.043	-8.452	+200.010	-0.043	+199.967	6 707.298		8 903.274
D				347 51 54										
Σ	649 14 48	-36			589.796	+134.129	-0.126	+134.003	+535.243	-0.127	+535.116			
角度闭合差及改正数的计算						导线相对闭合差的计算						草图		
$\Sigma \beta_{\text{测}} - 4 \times 180^{\circ} = -70^{\circ}45'12''$ $\alpha_{AB} - \alpha_{CD} = 58^{\circ}37'42'' - 347^{\circ}51'54''$ $= 70^{\circ}45'48''$ $f_{\beta} = \Sigma \beta_{\text{测}} - n \times 180^{\circ} + \alpha_{AB} - \alpha_{CD}$ $= +36''$ $f_{\beta \text{ 每}} = \pm 40''\sqrt{4} = \pm 1'20''$ 改正数 $V_i = -\frac{f_{\beta}}{n} = -\frac{36''}{4}$ $= -9''$						$\Sigma \Delta x = +134.129$ $-) x_C - x_B = +134.003$ $f_x = +0.126$ $\Sigma \Delta y = +535.243$ $-) y_C - y_B = +535.116$ $f_y = +0.127$								
坐标增量闭合差的计算						导线相对闭合差的计算								
$f_0 = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ $= \sqrt{0.126^2 + 0.127^2}$ $= 0.179$ $K = \frac{f_0}{\Sigma D} = \frac{0.179}{589.796}$ $\approx \frac{1}{3295} < \frac{1}{2000}$						$f_0 = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ $= \sqrt{0.126^2 + 0.127^2}$ $= 0.179$ $K = \frac{f_0}{\Sigma D} = \frac{0.179}{589.796}$ $\approx \frac{1}{3295} < \frac{1}{2000}$								



计算者: × × × × 复核者: × × × × 年 × 月 × 日

量闭合差。

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta x_{\text{测}} - (x_C - x_B) \\ f_y &= \sum \Delta y_{\text{测}} - (y_C - y_B) \end{aligned} \right\} \quad (6-19)$$

附和导线坐标增量闭合差容许值及闭合差调整方法与闭合导线相同,此处不再赘述。附和导线计算示例如表 6-4 所示。

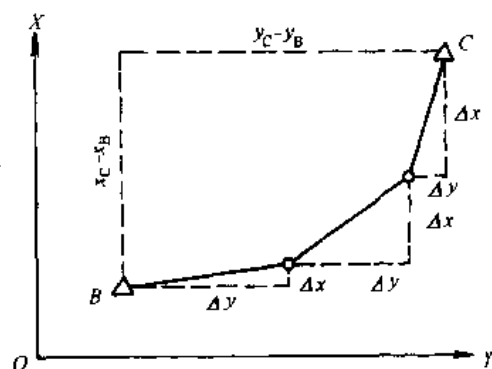


图 6-7

第七章 地形测量

第一节 概 述

地球表面上有高低变化的各种地貌,如山顶、山脊、山谷、盆地等,还存在各种人工构造物和自然构造物,简称地物,如房屋、道路、电线杆、河流、森林等,这种地貌和地物统称地形。通过测量,将地面上的点位和图形沿铅垂方向投影到水平面上,并按照一定的比例尺和图例符号绘到图纸上,这种图称地形图。完成地形图的测绘工作称为地形测量。

公路地形测量按工程需要分为路线带状地形测量和专项工程地形测量两种。以公路中线或导线为控制,沿路线两侧一定范围而测绘的带状地形、地物,称为路线带状地形测量。单独建立与路线有联系的测量控制网,为某些特殊工程的设计而测绘的局部地形图,称为工程地形测量。公路地形测量的方法有大平板仪法、经纬仪测记法和经纬仪与小平板联合测图法等。

地形图的比例尺有多种,主要根据工程的需要来确定。图纸上任一线段 l 与地面相应线段的水平距离 L 之比称为地形图的比例尺,用 $\frac{l}{L} = \frac{1}{M}$ 表示。

由于地形图的服务对象不同,因此对适用于不同范围的地形图就有不同的要求。目前我国把地形图分成3类:1:5000、1:2000、1:1000、1:500或更大比例尺的地形图,称为大比例尺地形图;1:10000、1:25000、1:50000和1:100000的地形图,称为中比例尺地形图;较1:100000更小比例尺的地形图,称为小比例尺地形图。随着测图比例尺的不同,地形测量的方法和要求也各不相同。小比例尺地形图一般根据各种资料编绘而成,很少实测。中比例尺地形图为国家基本用图,都采用经、纬线划分的梯形分幅,以航测成图为主。在国民经济的各部门,如公路、铁路、城市建设、水利、矿山等常应用大比例尺地形图,通常采用正方形分幅,用平板仪测图或用经纬仪和小平板仪联合测图等方法测得。公路路线带状地形图测量常用比例为1:2000~1:5000。

地形测量的工作程序应遵循“由整体到局部,先控制后碎部”的原则,根据测图的目的,结合测区的具体情况建立起控制网,然后利用控制测量的成果绘制地形图。在整个测量过程中,必须严格遵守有关测量规范的规定,精心测量,确保地形图的质量。

第二节 地形图的内容与要求

一、公路地形图的分类及要求

1. 路线地形图

路线地形图是直接以公路中线为控制,沿两侧一定范围内施测的带状等高线地形图。通过它表达路线的布设情况,并反映出路中线与路两侧地貌、地物的关系。它主要作为工程设

计、施工指导和上级审批文件的依据。如果是经过实测的地形图,可以作纸上移线和纸上定线来使用,还可以作为临时构造物和施工场地的布置使用。

路线地形图的测绘比例、施测宽度和等高线间距等规定见表 7-1。

表 7-1

地 形 \ 规 定	比 例 尺	每侧施测宽度(m)	等高距(m)	图上每侧宽(cm)
平原微丘区	1:5000	150	5	3
山岭重丘区	1:2000	100	2	5

路线地形图的内容应包括:指北方向、控制导线、公里桩和百米桩、水准点、道路、管线、村庄和城镇、园林、坟地、各种建筑设施、堤坝、码头、车站、地面植被和地质情况、行政区界和重要地界等。以上地貌、地物应以国家测绘总局颁发的《地形图图示》中规定的符号为准,并附简要的说明。

2. 专项工程地形图

专项工程地形图是为某些特殊工程(如大中型桥梁、隧道、渡口、码头、收费站、汽车维修点、大型防护工程和交叉口等)的设计、平面布置和工程数量计算而测绘的局部地形图。其比例一般为 1:500~1:2000,等高距视地而倾斜情况面定。为保证测绘精度,专项工程地形图一般应单独建立与路线有联系的控制网,有关控制测量、碎部测量和测绘精度可根据需要,参照有关测量的规范和规程酌情处理。

二、地形图的表示方法

1. 等高线

1)等高线和等高距

将地面上高程相同的相邻点连接起来所形成的曲线称为等高线。也就是若干个相距等距离的水平面与地面的交线,投影在水平面上所形成的曲线,如图 7-1 所示。

将这些投影到水平面上的等高线,按绘图比例尺缩绘到图纸上,再加上高程注记和必要的符号,即得到用等高线表示地貌的地形图。

相邻等高线的高程差称为等高距。等高距愈小,愈能反映地貌特征,根据等高线确定高程的精度就愈高。但等高距过小会影响图面的清晰程度,如果等高距愈大,则图面效果正好相反。所以,要根据工程需要和地而倾斜角度的大小来确定适当的等高距。根据测量规范规定的各种比例尺测图的等高距见表 7-2。

地形图的等高距(m)

表 7-2

地 面 倾 斜 角	比 例 尺			
	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
0°~6°	0.5	0.5、1	1	1、2
6°以上	0.5、1	1	2	5

对于按表 7-2 规定的比例尺选用的等高距称为基本等高距。图中等高线的注记高程,应是基本等高距的整倍数,且同一幅图内不得采用两种基本等高距。根据基本等高距测绘的等高线称为首曲线(基本等高线),用实线表示。当局部地区基本等高线不能确切地表示实际地貌时,用 $\frac{1}{2}$ 基本等高距加绘等高线,称为间曲线,用长虚线表示;或者用 $\frac{1}{4}$ 基本等高距加绘等高线,称为助曲线,用短虚线表示。为读图方便,从高程 0m 起每隔 4 根基本等高线需加粗 1 根,

称为计曲线。当基本等高距为 0.5m 或 2.5m 时,应每隔 3 根加粗 1 根等高线。每根计曲线的高程要从整米算起,并在计曲线上注明等高线高程。在图 7-2 中,基本等高距为 2m,并绘有间曲线和计曲线。

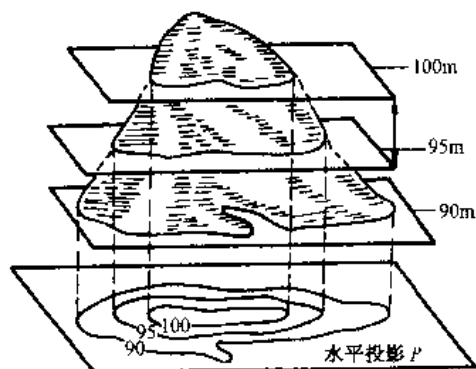


图 7-1

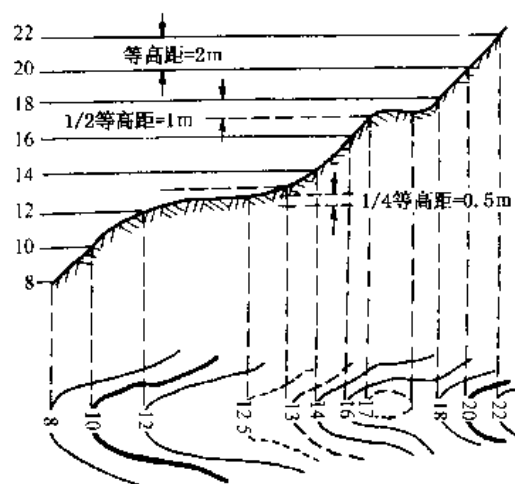


图 7-2

2) 等高线的性质

(1) 同一条等高线上各点的高程相等。

(2) 等高线是某一水平面与地面的交线,因此它必定是一条闭合的曲线。等高线不能在图中中断,如果不在本图幅内闭合,必须在邻图幅内闭合。

(3) 在图中形成闭合的等高线可以表示山丘,也可以表示盆地,一般根据示坡线或高程注记来确定。所谓示坡线就是一条垂直于等高线而指向下坡方向的细短线,如图 7-3a) 表示高地,图 7-3b) 表示洼地。

(4) 两条不同高程的等高线一般不能在图上相交,只有在悬崖处才能相交,但交点必须成双,相交后较低高程的等高线应绘成虚线,如图 7-4 所示。

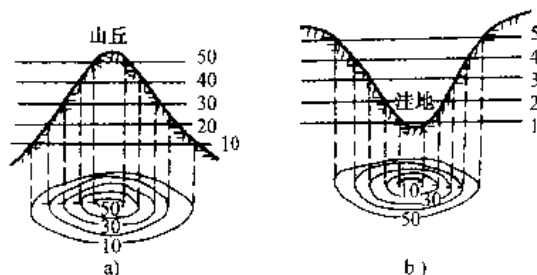


图 7-3

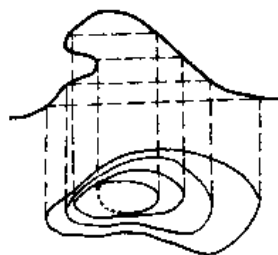


图 7-4

(5) 在同一幅地形图上,等高距相同。因此,等高线密集表示坡陡,稀疏表示坡坦,如图 7-5a) 所示;平距相等的表示坡度均匀,如图 7-5b) 所示。

(6) 等高线过河时,不能直穿而过,须绕经上游正交于河岸线,中断后再从对岸高程相应的位置慢慢折向下游,如图 7-6 所示。

(7) 山脊线与山谷线都与等高线垂直相交。

山脊的等高线凸向山脊降低的一面;山谷的等高线凸向山谷升高的一面,如图 7-7 所示。

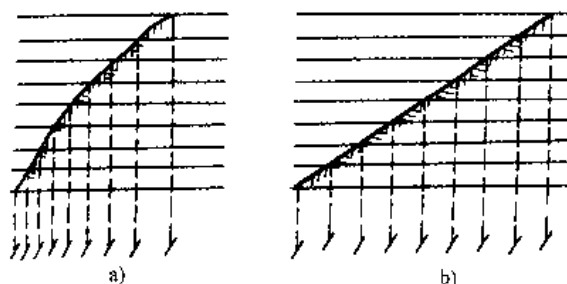


图 7-5

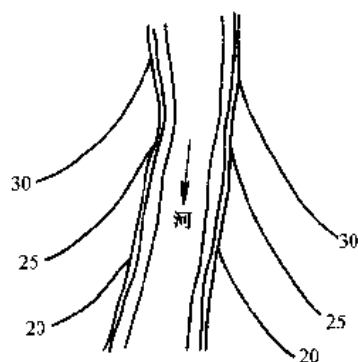


图 7-6

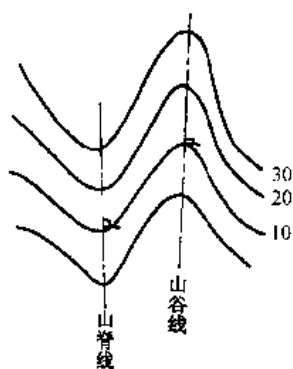


图 7-7

2. 地形图符号

凡地面上的自然形成物和人工构造物统称为地物,如河流、湖泊、树林、房屋、道路、桥梁、电力和电讯线等。图 7-8 为 1:500、1:1000 和 1:2000 的比例尺地形图所规定的部分地物符号。

编号	符号名称	图 例		编号	符号名称	图 例	
	比例尺	1:500	1:1000(1:2000)		比例尺	1:500	1:1000(1:2000)
1	坚固房屋 4-房屋层数			11	灌木林		
2	普通房屋 2-房屋层数			12	菜地		
3	窑洞 1.住人的; 2.不住人的; 3.地面下的			13	高压线		
4	台阶			14	低压线		
5	花园			15	电杆		
6	草地			16	电线架		
7	经济作物地			17	砖、石及混凝土围墙		
8	水生经济作物地			18	土围墙		
9	稻田			19	栅栏、栏杆		
10	旱地			20	篱笆		
				21	树篱笆		

图 7-8-(1)

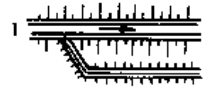
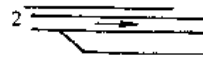
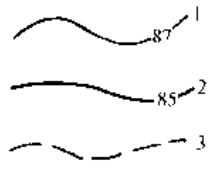
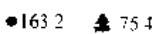
编号	符号名称	图 例		编号	符号名称	图 例	
	比例尺	1:500	1:1000(1:2000)		比例尺	1:500	1:1000(1:2000)
22	沟渠 1.有堤岸的; 2.一般的; 3.有沟壑的	  		39	独立树 1.阔叶; 2.针叶	 	
	40	岗亭、岗楼					
	41	等高线 1.首曲线; 2.计曲线; 3.间曲线					
42		示坡线					
43		高程点及其 注记					
	44	滑坡					
		45	陡崖 1.土质的; 2.石质的				
46			冲沟				

图 7-8-(2)

1) 比例符号

能将地物的形状、大小和位置按比例缩绘在图上的符号,像房屋、河流和湖泊等。例如有一幢房屋,它的面积是 $20 \times 10\text{m}^2$,在 1:2000 的地形图上,可按比例缩小为 $1.0 \times 0.5\text{cm}^2$ 。

2) 非比例符号

当地物较小,按比例无法缩绘在图上时,通常采用一种特定的符号表示,称为非比例符号。像三角点、水准点、电杆和水井等。如有一水准点,实际面积为 $20 \times 20\text{cm}^2$,在 1:2000 的地形图上无法缩绘出,即规定为直径 2mm 的圆点,见图 7-8 图例所示。

3) 半比例符号

当地物呈线状,其长度能按比例缩绘在图纸上,而宽度不能按比例缩绘在图纸上的符号称为半比例符号。像铁路、管线等均用半比例符号绘出。

4) 注记符号

用文字、数字注明的称为注记符号。例如工厂、村庄的名称、房屋的层数、三角点及水准点的编号及高程等均用注记符号表示。

第三节 视距测量

视距测量是应用光学原理,在一次观测中既测定距离又测定高差的一种测量方法。视距测量要利用视距仪、视距尺和视距计算表等工具来完成。在工程测量中,常利用经纬仪代替视距仪,水准尺代替特制的视距尺来完成视距测量。随着科学技术的飞速发展,目前视距测量常用全站仪来完成,其测量速度快,精度又高。

一、视距测量原理

如图 7-9 所示,经纬仪望远镜的十字丝平面上刻有两条横丝 a 和 b ,它们与十字丝的横丝平行,且距横丝的距离相等。这两条横丝称为视距丝,供视距测量使用。

1. 视准轴水平时求两点间的距离公式

如图 7-9 所示,当望远镜的视准轴水平时,对准竖立的视距尺 R ,则上下视距丝分别瞄准尺 R 的 A 、 B 两点, A 、 B 两点在十字丝平面上的像为 a 、 b 。为了说明方便起见,我们假设是从 a 、 b 两点发出平行于主光轴的光线,经过物镜折射后,通过前焦点 F ,最后相交于视距尺上的 A 、 B 两点。

设物镜的焦距为 f ,上下视距丝的间距为 p ,仪器中心 N 至物镜光心 O 距离为 δ ,上下视距丝截于尺上的间隔 $AB = n$,仪器中心 N 至视距尺的距离为 D 。从图 7-9 可知, $\triangle AFB \sim \triangle a'Fb'$,所以:

$$\frac{AB}{a'b'} = \frac{FM}{FO}$$

即:

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

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

$$D = FM + (\delta + f)$$

∴

$$D = n \frac{f}{p} + (\delta + f) \quad (7-1)$$

式中的 $\frac{f}{p}$ 和 $(\delta + f)$ 分别称为视距乘常数和加常数。令 $\frac{f}{p} = K, (\delta + f) = C$, 则

$$D = Kn + C \quad (7-2)$$

就对光时物镜筒移动的外对光望远镜而言, δ 是变化的, 但是其变化值不大, 一般加常数 C 不超过 0.5m, 用小比例尺测图时, C 值可以忽略不计。乘常数 K 通常为 100。

对于内对光望远镜, f 值是指等效透镜的焦距, 乘常数 K 也是常数 100, 加常数 C 一般也把它作为常数。制作望远镜时适当选择透镜的半径、透镜间的距离以及物镜到十字丝平面间的距离, 使加常数 C 接近于零。这样, 内对光望远镜的水平视距公式可以写成:

$$D = Kn \quad (7-3)$$

2. 视准轴倾斜时求两点间的水平距离公式

在地面起伏大的地区进行视距测量时, 必须使望远镜倾斜才能观测到视距尺。前面的视距公式是视准轴水平并垂直于竖立的视距尺, 所以在求水准轴倾斜时的水平距离时, 应计入对视距尺不与视准轴相垂直的改正和视准轴倾斜的改正。

如图 7-10 所示, 将仪器安置于测站 S , 在 E 点竖立视距尺 R , 视准轴倾斜角为 α , 上下视距丝分别截于尺上的 A 和 B 点, 得视距间隔 n 。假设以相同的视距尺 R' 垂直于视准轴 OM , 则上下视距丝截于 R' 尺的 A' 和 B' 点, 其视距间隔为 n' 。

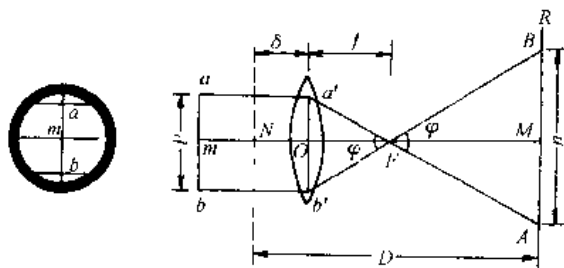


图 7-9

由于角值 φ 很小, 参看图 7-9 可知:

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{p}{f} = \frac{1}{2K} = \frac{1}{200}$$

即:

$$\varphi = 34' 23''$$

因此, 把 $\angle MA'A$ 和 $\angle MB'B$ 认为是直角, 所引起的误差不超过 $\frac{1}{40000}$, 所以:

$$MA' = MA \cos \alpha$$

$$MB' = MB \cos \alpha$$

则:

$$(MA' + MB') = (MA + MB) \cos \alpha$$

即:

$$n' = n \cos \alpha$$

从而得到倾斜距离:

$$D' = n'K + C = Kn \cos \alpha + C \quad (7-4)$$

故水平距离 D 为:

$$\begin{aligned} D &= D' \cos \alpha \\ &= (Kn \cos \alpha + C) \cos \alpha \\ &= Kn \cos^2 \alpha + C \cos \alpha \end{aligned} \quad (7-5)$$

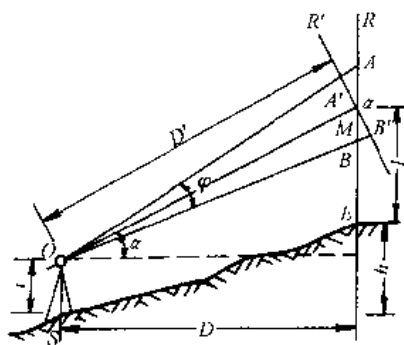


图 7-10

式中第二项的值很小,可以略去不计,则当视准轴倾斜时的水平距离公式为:

$$D = Kn \cos^2 \alpha \quad (7-6)$$

3. 视准轴倾斜时两点间的高差公式

从图 7-10 可以看出,当视准轴倾斜时两点间的高差为:

$$h = D \tan \alpha + i - l \quad (7-7)$$

将 $D = Kn \cos^2 \alpha$ 代入上式,则得:

$$\begin{aligned} h &= Kn \cos^2 \alpha \tan \alpha + i - l \\ &= \frac{1}{2} Kn \sin 2\alpha + i - l \end{aligned}$$

在实际测量中,使仪器中丝读数 l 等于仪器高 i ,则上式应为:

$$h = \frac{1}{2} Kn \sin 2\alpha \quad (7-8)$$

上式中,当竖直角 α 为仰角时,其值为正,反之则为负。

二、视距测量的方法

1. 视距测量的方法和步骤

用视距法测定图 7-10 中地面上 S 、 E 两点间的水平距离和高差,其步骤如下:

(1)安置仪器于 S 点,经对中、整平后,量仪器高 i ;

(2)瞄准立在 E 点的视距尺,使十字丝的中丝对准尺上仪器高的读数,使 $i = l$,通过上、下视距丝读取视距尺上的读数,将上、下视距丝读数及视距间隔填入记录表中;

(3)检查中丝读数等于仪器高 i 后,使竖盘水准管气泡居中,从竖盘度盘上读取竖直角读数,计算出竖直角 α ,要盘左、盘右两次观测竖直角,在容许误差范围内,取其平均值;

(4)测得视距间隔 n 和竖直角 α 后,利用计算工具求出 S 、 E 两点间的水平距离和高差;

(5)为了简捷地测出视距间隔,可将中丝对准视距尺上靠近仪器高的读数,用望远镜的微动螺旋使上丝(或下丝)对准视距尺上的整分米或整米数,由下丝(或上丝)读数,这样能较快地计算出视距间隔,但测量竖直角时应使中丝对准视距尺上仪器高的读数,使竖盘上的水准管气泡居中;

(6)当视线遇有障碍时,中丝不能瞄准视距尺上的仪器高读数,可使中丝对准视距尺上的任意读数,在这种情况下, $i \neq l$,计算高差时应加改正数 $i - l$ 。例 $i = 1.400\text{m}$, $l = 1.700\text{m}$,改正数 $i - l = -0.300\text{m}$,将这一数值记入记录表中的改正数栏内。

2. 视距测量记录

按上述施测步骤所取得的各项数据,应按表 7-3 认真填写,不得随意涂改,以作为视距测量的外业资料存档。

测站: $\times \times$ 仪器高 $i = \times \times$ 测站高程 $H = \times \times \times$

表 7-3

观测点	尺上读数			视距间隔	竖盘读数		竖直角 α	初算高差 h_0	改正数 $i - l$	高差 h	水平角			水平距离 D	测点高程 H	附注
	中丝	上丝	下丝		正镜	倒镜					正镜	倒镜	平均值			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

司仪: $\times \times \times$ 记录计算: $\times \times \times$ 天气: $\times \times$ 竖盘指标差: $\times \times \times$

三、视距计算工具

在视距测量中经常选用适当的计算工具,如目前常用的计算工具有计算器,以算出较精确的测量成果。以前曾经用过的视距计算表、视距计算盘和计算尺等,现在已经淘汰,此处不予介绍。

四、视距测量注意事项

影响视距测量精度的因素很多,其主要是来源于仪器构造误差、观测误差和自然条件的影响等几个方面。有必要加以说明,有利于在施测过程中引起注意。

1. 仪器构造误差的影响

仪器构造不可能完全符合理论上的要求,加上有关部分缺乏必要的检校,将对测量成果带来以下几点误差:

1) 竖盘指标差的影响

在地形测量中,一般仅以一个盘位测定竖直角,这时,只有满足竖盘指标差为零的条件,才能克服对距离和高差的影响。因此,在测量前,应对竖盘水准管进行检验和校正。当精度要求较高时,应采用测回法观测竖直角。

2) 视距丝宽度的影响

从望远镜看到的视距丝虽然很细,但是它本身总是有些宽度,要遮住视距尺分格的一部分,从而引起读数误差。

3) 视距乘常数 K 不正确的影响

视距仪的乘常数设计在理论上为 100,但仪器制造时不可能绝对正确,由于温度等自然条件及野外的长期使用也会引起变化。视距乘常数的误差影响与距离成正比,如果实际上视距乘常数不足 100,所求得的水平距离就存在一定的误差。

4) 视距尺长度误差的影响

视距尺长度由于制尺时不完全准确,在使用中又受温度和湿度的影响,造成尺长发生变化,使用前一定要用钢尺检查,特别是接头处,应多加注意。

2. 观测误差的影响

1) 视距读数误差的影响

视距读数中的 mm 是估读出来的,其误差值随观测者的熟练程度、望远镜的性能、空气的透明度及成像稳定程度、亮度等方面的因素所决定。从视线水平时的视距公式可知,读数误差 1mm,将引起 10cm 的距离误差。为克服这项误差,观测时应先消除视差,再使视距丝的上丝或下丝对准尺上整分画数,然后用另一视距丝估读视距读数,同时要保证立尺铅直稳定。

2) 视距尺倾斜误差的影响

视距测量时应使视距尺铅垂直立,一般情况下,即使在平坦地面,如用目估使视距尺垂直,其偏歪的角度值一般大于 2° ,而在陡坡上其偏歪的角度甚至更大。为减少这项误差,可使用带水准器的视距尺。

3. 自然条件的影响

在视距测量时,空气温度和湿度也会对视距尺读数产生不同的竖直折光影响,其结果使尺间隔偏小。这种影响是仪器视线越接近地面越大。因此,应使接近地面的视距丝读数保证在 0.3m 以上。

另外,在春夏雨季的中午前后,接近地面的空气出现明显的波动现象,使视距尺的尺像不稳定,造成读数困难,影响读数精度。所以在视距测量时,应选择有利的观测时间。

第四节 平板仪的构造和使用

一、平板仪测量原理

如图 7-11 所示,设地面上有 A 、 B 、 O 三点,在 O 点上安置一块水平图板,将地面 O 点沿铅垂线方向投影到图纸上得 o 点,然后通过 OA 和 OB 方向作两个垂直面,则竖直面与图板面的交线 oa' 和 ob' 所夹的角度就是 AOB 的水平角。用视距测出 OA 和 OB 的水平距离,并按一定的比例尺在 oa' 和 ob' 方向线上定出 a 和 b 点。在图上由 a 、 o 、 b 三点组成的图形与地面上 A 、 O 、 B 三点组成的图形相似,这就是平板仪测量的基本原理。

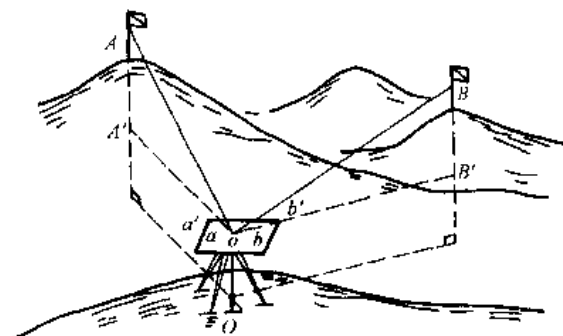


图 7-11

应用视距测量方法可以测出 A 、 B 点对 O 点的高差,根据 O 点的高程,计算出 A 、 B 点的高程。用同样的方法在图上测出其它地物和地形的特征点,并注明各点的高程,就可绘出测站 O 点四周的地形图。

二、平板仪的构造

平板仪是由照准仪、图板、三脚架和附件四个部分组成。

照准仪:如图 7-12a)为西安光学测量仪器厂制造的 PG_3-XZ 型平板仪的照准仪。它是由望远镜、竖盘、支柱和直尺所组成。其整个作用和经纬仪相似,平板相当于水平度盘,指标盘以画方向线的直尺来代替。竖直度盘分画值为 1° ,当望远镜水平时读数为 0° ,向两个方向各刻 90° ,依正、负每 2° 作一注记,分别注到 40° 。在竖直度盘右侧附有水准管,必须先使气泡居中才能读取竖直度盘读数,读数方法与经纬仪读数基本相似,此处不再赘述。

图板:又称测板,用轻而干的木料制成,一般为 $60\text{cm} \times 60\text{cm} \times 3\text{cm}$ 的方形板,背面有螺孔,用连接螺旋可将其固定在基座上,如图 7-12b)所示。基座上有脚螺旋以及水平制动和微动螺旋,其作用与经纬仪相同,基座是通过连接螺旋与三脚架连接的。

附件:水准器,是用来整平图板的;对点器又称移动器,利用它可使地面点与图上相应点位于同一铅垂线上,它是由金属的叉架和一垂球所组成;定向罗盘合是用来测定图板方向的。

三、平板仪的安置

平板仪在一个测站上的安置,包括对点、整平和定向三項工作。对点就是使地面点和图板上的相应点位于同一铅垂线上。整平是使图板成水平位置。定向是使图板上的直线与相应的地面线重合或互相平行。这三項工作是相互影响的,因此不能一次就把平板仪安置好,必须按下列次序分两次进行。

1. 初步安置

用长合罗盘紧靠南北图廓线将图板定向,接着移动脚架,仍用目估使图板大致水平,然后

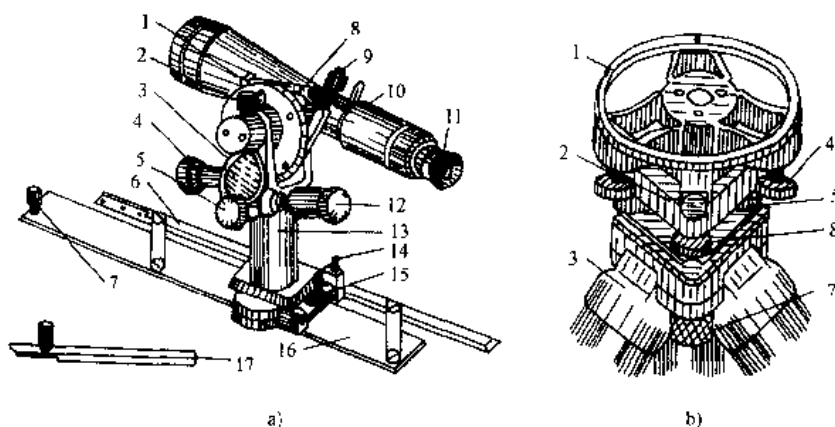


图 7-12

- a): 1-竖直度盘; 2-望远镜制动螺旋; 3-入光孔及反光镜; 4-竖直度盘水准管微动螺旋; 5-横轴调节螺旋; 6-平行尺; 7-小握手; 8-水准管; 9-读数显微镜; 10-物镜对光螺旋; 11-目镜对光螺旋; 12-望远镜微动螺旋; 13-支柱; 14-校正螺钉; 15-横向水准管; 16-直尺; 17-接尺
- b): 1-圆盘; 2-制动螺旋; 3-三脚架; 4-连接螺旋; 5-微动螺旋; 6-脚螺旋; 7-连接螺旋

平行并保持水平移动整个图板进行粗略的对点,此时应尽可能不破坏前面的定向与整平。进行初步安置后,再进一步作精确安置。

2. 精确安置

(1)对点:如图 7-13 所示,对点时,将对点器的尖端对准 a 点,初步对点可移动脚架,精确对点则可松开基座连接螺旋在架头上移动图板使垂球尖对准地面点 A 。对点精度要求按测图比例尺而定。规定对点容许误差为:

$$\Delta_{容} = 0.05 M \text{ mm} \quad (7-9)$$

式中: M ——测图比例尺分母。

当比例尺为 1:2000 时,容许对点误差为 100mm,可直接用目估对点。由于对点会影响定向工作,有必要进行较上述更精确的对点。

(2)整平:旋转基座上的脚螺旋使照准仪上的水准管气泡居中,即图板位于水平位置,整平的方法与经纬仪相似。特别是竖直角较大时,应仔细整平。

(3)定向:用已知直线定向,如图 7-13 所示,将照准仪的直尺边紧靠图板上已知直线 ab ,转动图板去瞄准 B 点,此时测图板的定向即已完成。

用长合罗盘定向,在独立小范围地区测图,当图上设有已知方向线时,则可用长合罗盘进行定向。将长合罗盘的一边紧靠南北图廓线,或图上已画好的磁南北方向线,然后转动图板使磁针两端对准零分画,再将图板固定。

定向误差对于测定点位影响较大。直线定向的精度与定向时所用图上直线的长度有关,

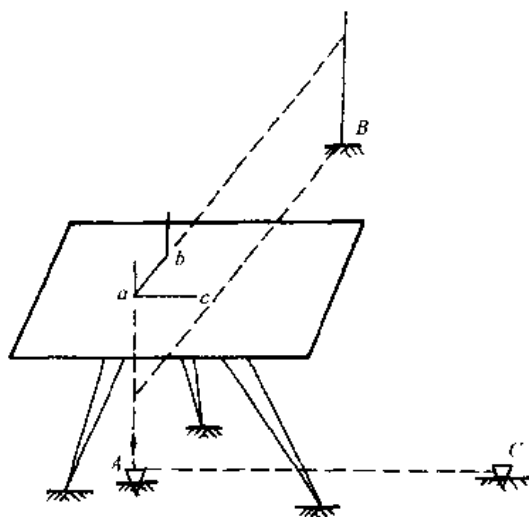


图 7-13

定向所用的直线越长,定向就越精确,因此利用延长到图廓外的长直线定向,精度较高。

第五节 测图前的准备工作

一、仪器的检验与校正

地形图的测量方法很多,它所使用的仪器也不一样,无论是利用经纬仪测图、大平板仪测图,还是利用平板仪和经纬仪联合测图,都应按各种仪器的检验与校正方法在测图前对仪器进行检验与校正,以达到仪器准确无误的目的。

二、裱糊图板

测图所用的纸张应是质地坚韧、伸缩性小、不渗水的优质绘图纸。为了测图时减少图纸变形的影响和保证图纸的平整,可将图纸裱糊在测图板上。

裱糊前先将略小于图板的图纸浸在清水中约 5min,然后在干净图板上均匀地涂抹一层薄蛋白液(用一份蛋白加一份半清水调匀而成),将流净水滴的湿图纸平整地覆盖在图板上,用软布或毛巾从图纸中央向外轻轻挤压,去除中间的气泡并使图纸与图板完全粘合,最后在图纸边缘用透明胶纸封边。

三、坐标格网的绘制

为了测绘、保管和使用上的方便,测绘单位采用的图幅尺寸有 50cm×50cm,40cm×50cm,40cm×40cm 几种。为了精确地展绘控制点,先在图幅内绘好 10cm×10cm 的坐标格网。

如图 7-14 所示,先用直尺在图纸上画两条对角线 AC、BD,再以对角线交点 O 为圆心量出长度相等的四段线段,即 oa 、 ob 、 oc 、 od ,使所绘制的图廓线正好位于图纸中央,得 a 、 b 、 c 、 d 四点,连接各点得一矩形。在矩形各边上标出每隔 10cm 的点,将上下两边和左右两边相对应的分点一一连接起来,即构成直角坐标格网。

坐标格网绘成后,必须检查绘制的精确度,用直尺检查各方格网的交点是否在同一直线上,其偏离值不应超过 0.2mm;用比例尺检查方格网的边长,其值与理论值相差不应超过 0.2mm;方格网对角线长度误差不应超过 0.3mm。如超过限值应重新绘制。方格网检查合格后,在图廓外注明格网的纵横线 x 、 y 值,并在格网上边注明图的幅号。

四、展绘控制点

图纸上绘出坐标格网后,根据控制点的坐标值,先确定点所在的方格,然后计算出方格两的坐标差数 Δx 和 Δy ,按比例在格网的相对边上截取与此坐标差相等的距离,最后对应连接相交即得点的位置。如图 7-15 所示,要展绘 1 号点,其坐标 $x_1 = 568.98$, $y_1 = 626.78$,图比例尺为 1:2000,由坐标值可知 1 号点所在的方格 $x = 500 \sim 600$, $y = 600 \sim 700$,其纵坐标差 $\Delta x = 68.98\text{m}$,按比例在图上应截取 34.49mm;横坐标差 $\Delta y = 26.78\text{m}$,按比例在图上应截取 13.39mm。将截取相对点连接后得十字交点,即为 1 号点在图上的位置。在此点的右侧画一短横线,在横线上方注明点号,横线下注明此点的高程。用同样的方法展绘 2,3,……各点。

控制点展出后应检查各控制点之间的图上长度与相应实地长度之差,不应超过图上 0.3mm,合格后才能进行测图。

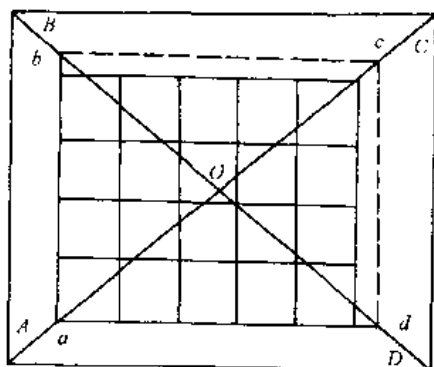


图 7-14

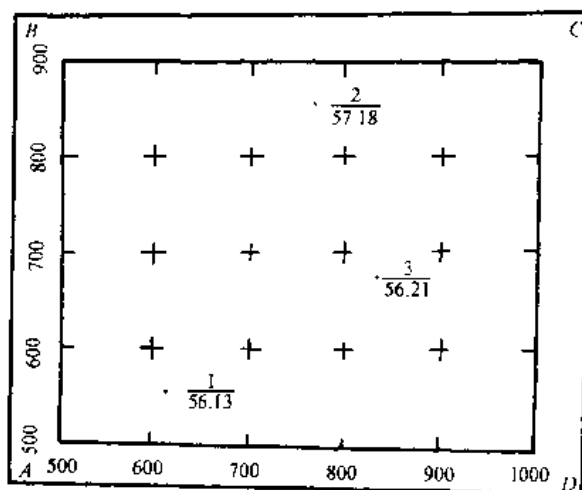


图 7-15

五、其它准备工作

- (1) 从水准测量记录表中抄录三角点、导线点、交点、图根控制点的高程。
- (2) 为了避免测图时将图纸弄脏,在展点后的图板正面应再覆盖一张护图纸,施测那一部分时用小刀割一洞,待测完这部分再用纸盖上。
- (3) 熟悉所测比例尺地形图的各项规范、规定和地形图符号等。

第六节 碎部测量

碎部测量(又称地形测量)中测绘地形图的方法和步骤,首先是测定地物和地貌的特征点,这些点统称为碎部点,然后对照实地以相应的符号在图上进行描绘。对于地形点的选择恰当与否,将直接影响测图的质量和速度。所以测图时必须根据测区内的地物和地貌情况及测图比例尺来正确选择碎部点,合理选择施测方法。

一、碎部点的选择

对于地物点应选择在地物轮廓线的变化处,如房屋,选屋角为地物点;又如水塘,选有棱角或弯曲的地点为地形点,就可在图上绘出它们的位置。由于地物形状极不规则,一般规定凡地物凸凹长度在图上大于 $0.4mm$ 均应表示出来,也就是说,在实地地物凸凹长度大于 $0.4Mmm$ 时(M 为比例尺分母)都要进行施测。

对于地貌来说,如山丘应选择山顶、山脚、鞍部等地貌点,山脊线、山谷线、坡度变换线和山脚线都称为地性线,在地性线上有坡度变换点和方向变换点,它们是表示地貌的主要特征点,如果测出这些点,便能正确而详细地表示实地情况。一般地形点间最大距离不应超过图上 $3cm$ 。对于各种比例尺的地形点间最大距离以及最大视距长度如表 7-4 所示。

在地形测量中地形点就是立尺点,因此跑尺是一项重要而又艰巨的工作,立尺点和跑尺路线的选择对地形图质量和测图效率都有直接影响。测图开始前,绘图员和跑尺员应先在测站上研究需要立尺的位置和跑尺的方案,以求高质量和高速度完成地形测图任务。

表 7-4

测图比例尺	地形点间隔 (m)	最大视距(m)		高程注记 (m)
		重要地物	次要地物和地形点	
1:500	15	60	100	0.01 或 0.10
1:1000	30	100	150	0.10
1:2000	50	180	200	0.10
1:5000	100	300	350	0.10

跑尺员在下列位置必须立尺：

- (1)山顶最高点、山脊线变化点,如图 7-16 中的 2、3、4、5、6、7、8 及 26、27、28、29、30 等点;
- (2)鞍部点,如图 7-16 中的 4、6、29 点;
- (3)山谷线的走向和变坡点,如图 7-16 中的 12、13 点;
- (4)山坡与平地的分界点,如图 7-16 中的 1、16、15、14 等点,以及山坡的变坡点如 35、31、32 点;
- (5)如图 7-16 中洼地最低点 23,洼地和平地的分界点 17、18、19 等点;
- (6)河流平面转折处,渡口、河堤等处;
- (7)水井、坟墓、电杆、水准点、居民点等;
- (8)铁路、公路、小道、桥梁和其它人工构造物处;
- (9)树林和其它农作物的分界处;
- (10)省、市、县、乡等的分界线。

二、地形测图方法

1. 大平板仪测图法

如图 7-17 所示,将大平板仪安置于测站 A 上,即对点、整平,按已知直线 AB 定向,以已知直线 AG 为检查方向。量取仪器高 i 。用照准仪的直尺边紧靠在图上的 a 点,照准碎部点上所立的尺子,使十字丝横丝对准标尺上仪器高处,若视线被挡住,也可对准尺上的其它读数,读取上、下丝的读数,计算视距。调平竖盘指标水准管并读竖直角。根据视距和竖直角用计算器算



图 7-16

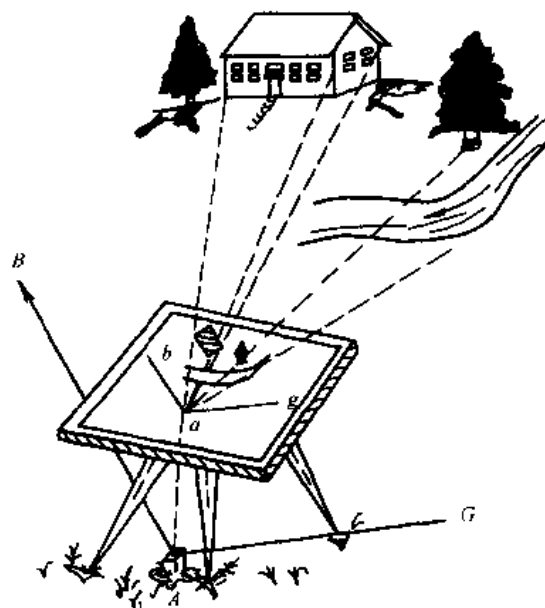


图 7-17

得碎部点与测站点间的水平距离和高差,再计算碎部点的高程,即:

$$\text{碎部点高程} = \text{测站高程} + \text{仪器高} - \text{中丝读数} + \text{两点间高差}$$

在直尺斜边上,根据水平距离按测图比例尺用两脚规在图上刺点,并注记高程。用同样方法可测绘其它各个碎部点。为便于检查和核对地形、地物点的正误,碎部测量应记录在案,记录格式如表 7-5 所示。

碎部测量记录表 表 7-5

测站 <u>A</u> 指标差 <u>0°00'</u> 仪器高 $i =$ <u>1.42m</u> 标定方向 <u>B</u> 磁偏角 <u>3°16'</u> 测站高程 $H_0 =$ <u>76.48m</u> 检查方向 <u>G</u> 天气 <u>多云</u> 温度 <u>18℃</u>							
点号	视距 (m)	竖 直 角 (° ')	水平距离 (m)	$i - L$ (m)	两点间高差 (m)	高程 H (m)	备 注
1	86.5	- 2 16	86.4	0	- 3.42	73.06	电线杆
2	79.3	- 2 08	79.2	0	- 2.95	73.53	大樟树
3	92.6	+ 1 26	92.6	- 0.20	+ 2.12	78.40	大松树
4	82.8	+ 2 35	82.7	0	+ 3.73	80.21	山顶点

观测者: × × × 记录计算者: × × ×

大平板仪测图的主要优点在于工作过程中可将测量成果与现场对照,便于检查并能及时发现错误和遗漏的地方,缺点是野外测绘人员过于集中。

2. 经纬仪和小平板仪联合测图

经纬仪和小平板仪联合测图是地形测量的常用方法,其测量方法和步骤如下:

(1)如图 7-18 所示,将经纬仪安置在导线点的旁边距导线点 A 约 1m ~ 2m 处的 B 点,整平后量仪器高,并求出 AB 的高差 h_{ab} ,则 B 点的高程 $H_B = H_A \pm h_{ab}$ 。

(2)把小平板仪安置在导线点 A 上,经对点、整平、定向后,将照准仪贴靠 a 点,瞄准经纬仪安放点 B ,在平板上画 ab 方向线,同时用皮尺量出 AB 的水平距离,按测图比例尺将 B 点的位置绘在平板上得 b 点。

(3)要测定地形点 p ,用照准仪贴 a 点瞄准 p 点,在平板上画出 ap' 方向线,同时用经纬仪读出视距间隔 n 和竖直角 α ,计算出 BP 的水平距离和高差。

(4)用分规按测图比例尺自图上的 b 点量出 BP 长度与 ap' 方向线相截得 p 点, p 点就是地形点 P 在图上的相应位置。

(5) p 点的高程等于 B 点的高程加上或减去 BP 的高差。

(6)用同样的方法可以测出其它各地形和地物点。

(7)待测绘出一定数量的点后,根据实地的地形勾绘等高线,用地物符号表示地物。

三、地形图的绘制

当地形、地物点基本测量完毕后,就可对照实地描绘地物和等高线。地物要用图 7-8(图例)所示的符号表示。凡不能按比例描绘的地物,应按规定的非比例符号表示其位置。

地形图的绘制有计算法、图解法和目估法三种,现分别叙述如下:

1. 计算法

等高线是根据地形点的高程按内插法勾绘的。由于地形点是选在地面坡度变化处,因此在同一坡度上相邻两地形点之间,其高差与平距成正比关系,则可求出基本等高线的位置,如图 7-19 所示,AB 为同坡度上两地形点,其高程分别为 24.3m 和 28.8m,则高差 $h = 4.5\text{m}$, AB 在图上的平距 $d = 36\text{mm}$ 。若等高距为 1m,从 A 到 B 点高程可知在 ab 直线上有 25m、26m、27m 和 28m 等高线所通过的点。由 a 点到 25m 等高线的高差 $h_1 = 0.7\text{m}$,由 b 点到 28m 等高线的高差 $h_2 = 0.8\text{m}$,求由 a 点到 25m 等高线的平距 d_1 及由 b 点到 28m 等高线平距 d_2 。

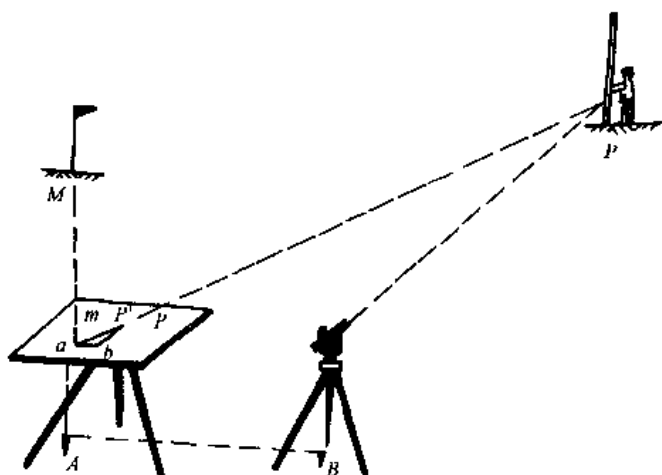


图 7-18

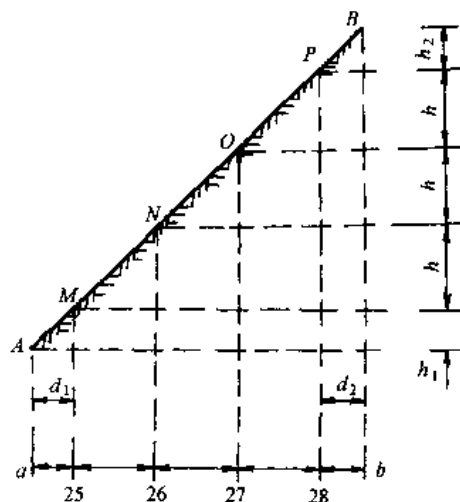


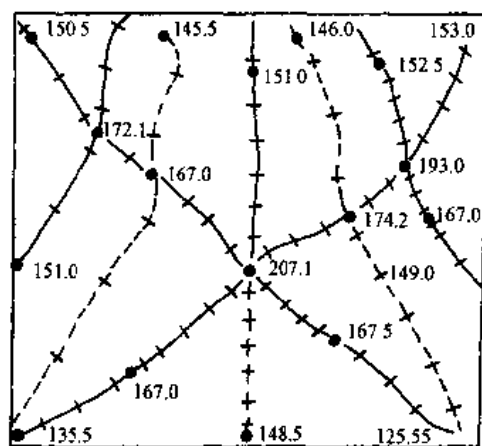
图 7-19

$$d_1 = \frac{d}{h} h_1 = \frac{36}{4.5} \times 0.7 = 5.6\text{mm}$$

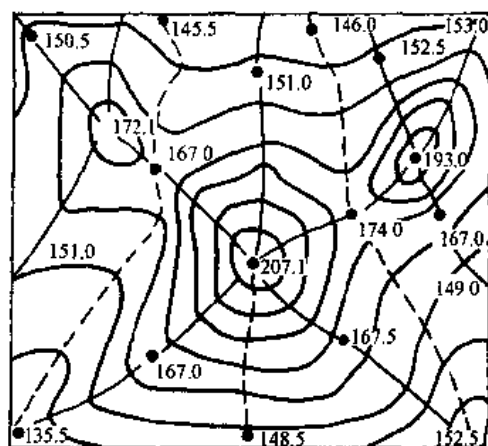
$$d_2 = \frac{d}{h} h_2 = \frac{36}{4.5} \times 0.8 = 6.4\text{mm}$$

根据 d_1 和 d_2 的长度即可在 ab 直线上截取 25m 和 28m 等高线所通过的点 M 和 P, 然后再将 M、P 两点之间的距离分为三等分, 就得到 26m 和 27m 的等高线所通过的点 N 和 O。

测定地形点后, 必须先连地性线, 通常以实线连成山脊线, 以虚线连成山谷线, 如图 7-20a) 所示。地性线直接影响到勾绘等高线的逼真程度, 因此须按实地情况, 考虑地性线的走向和弯曲程度, 按上述方法在地性线上求得等高线的通过点以后, 根据等高线的特性, 把相等高程的点连接起来即为等高线。如图 7-20b) 所示。



a)



b)

图 7-20

2. 图解法

如图 7-21 所示,用一张绘有相距 3mm 左右平行直线的透明薄纸,并在各直线两端注上 0 至 10 的数字。使用时先将薄纸放在某图中高程为 24.3m 和 28.8m 的 ab 两点的连线上,并使 a 点放在平行线间 4.3 处,然后将薄纸绕 a 点转动,直至 b 点落在平行线间 8.8 处为止,再将 ab 线与平行线的交点刺到图上,即得高程为 25m、26m、27m、28m 等高线通过的位置。

3. 目估法

等高线勾绘用图解法简单易行,精度也较高,经常采用。但具有一定测图经验的工作者,可直接用目估法进行内插,同样可以取得满意的效果。目估法应结合实地地形进行内插,其要领是“先取头定尾,后中间等分”。

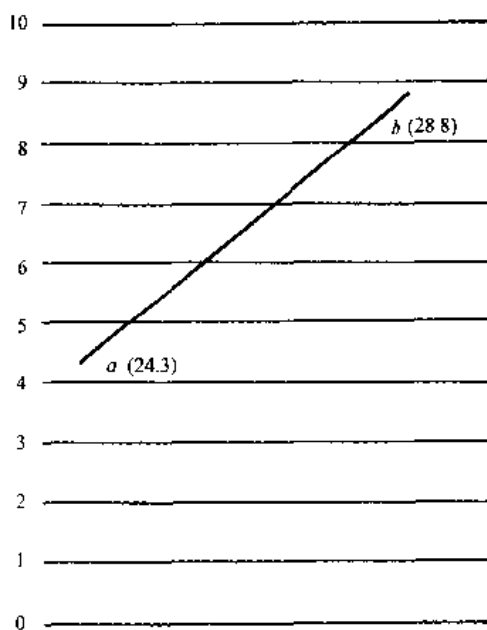


图 7-21

第七节 地形图的拼接、检查和整饰

一、地形图的拼接

用宽约 4cm~5cm 的透明纸条蒙在图幅的东边,分别将图廓线、坐标网格线及靠近图廓线 1.0cm~1.5cm 内的地物、等高线和注记描绘在透明纸上,然后将其蒙在邻图上,按格网对好,如图 7-22 所示,左边为图幅 I 东图廓内的原图,右边为相邻图幅 II 西图廓内的原图,地物轮廓与等高线都存在偏差。表 7-6 为地形图测绘中地物点相对于图根点点位中误差和等高线高程中误差的规定。地形图拼接的误差不得超过规定值的 $2\sqrt{2}$ 倍。如果偏差在相应规定内,可取其平均值改正原图。如用聚脂薄膜测图,可直接将两幅图的邻边迭合对齐相接即可。

地物点点位中误差和等高线高程中误差表

表 7-6

地区类别	地物点点位中误差(mm)		等高线高程中误差(等高距)		
	主要地物	次要地物	0°~6°	6°~15°	15°以上
一般地区	0.6	0.8	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1
城市建筑区	0.4	0.6			

二、地形图的检查

地形图检查分室内检查和室外检查两步。先在室内对控制测量的原始数据、外业记录手簿及控制点成果表等进行检查。再对图面进行检查,如坐标网格绘制和控制点展绘是否合乎精度要求,标高是否与成果表相符,各种符号、等高线和注记是否完全合理。在室内检查的基础上,再将原图带到实地进行对照,查看地物是否遗漏,地物形状是否相似,符号和注记是否与实地一致,等高线是否真实等。在检查中如发现遗漏、错误,应立即进行补测和予以纠正。

三、地形图的整饰

(1)擦去图上多余的点线。

(2)将图上的地形、地貌都按照地形图图例规定的符号、尺寸和注记进行整理。

(3)将等高线描绘成圆滑的曲线,其数字注记应成列,其字脚应朝向高程降低的方向。在山顶、鞍部、凹地、斜坡不够明显处及图廓边附近的等高线上,适当绘出示坡线。

(4)画出图框,注明图名、图号、比例尺、测图单位和日期。

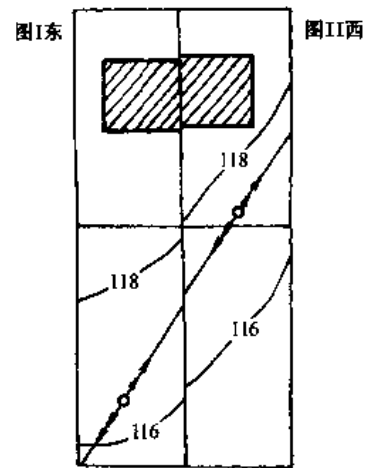


图 7-22

第八章 公路中线测量

修建一条公路之前,为了选择一条合理的路线,必须进行路线勘测。我国公路勘测分两阶段勘测和一阶段勘测两种。两阶段勘测就是对路线进行踏勘测量和详细测量;一阶段勘测是对路线作一次定测。

踏勘测量是两阶段设计的第一阶段勘测工作,它是根据上级批准的计划任务书和视察报告拟定路线走向,在指定范围内布设导线,测量路线各方案的带状地形图和纵断面图。收集路线水文、地质等有关资料,为纸上定线、编制比较方案等初步设计提供依据。

详细测量是在指定的区域内或在批准方案的路线上进行中线测量、纵横断面测量以及有关资料的进一步收集,为路线平面图绘制、纵坡设计、工程量计算等有关施工技术文件的编制提供重要数据。

公路中心线是由直线和曲线构成的,如图 8-1 所示。因此,中线测量的主要任务是通过直线和曲线的测设,将公路中心线的平面位置具体地标定在地面上,并实测其里程。

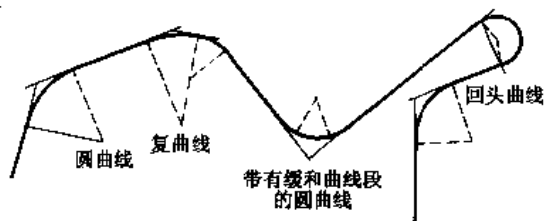


图 8-1

第一节 交点和转点的测设

一、交点的测设

在勘测中,经过野外选点布线,路线构成了导线的形式,称为路线导线。路线交点即导线点。所谓交点即为路线的转折点,用 JD 表示。交点的位置可采用现场标定的方法,也可以把勘测时带状地形图上经过初步设计好的中线放到地面上去,然后再根据相邻两直线定出交点。

公路放线一般采用穿线交点法,其操作程序为:放点、穿线、交点。具体内容如下。

1. 放点

常用的放点方法有极坐标法和支距法两种。

图 8-2 所示为极坐标法放点, P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 为中线上四点,它们的位置可用附近的导线点 D_4 、 D_5 为极点,分别由 β_1 、 l_1 、 β_2 、 l_2 、 β_3 、 l_3 、 β_4 、 l_4 来确定。在图上用量角器和比例尺量出具体数值,绘出放线示意图。将经纬仪安置在 D_4 点,后视 D_3 点,并将水

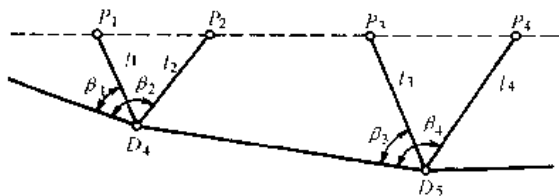


图 8-2

平度盘读数设置为 $0^\circ00'00''$,转动照准部使度盘读数为 β_1 ,得 P_1 点方向,沿此方向量取 l_1 得 P_1 点位置。同法定出 P_2 点。仪器迁至 D_5 ,定出 P_3 、 P_4 点。

2. 穿线

由于图解量取的放线数据不准确和测量误差的影响,所放出的临时点并不严格在一条直线上,如图 8-3 所示。可根据具体情况,选择适中的 A 、 B 两点,并打下木桩,取消临时点,这样即确定了直线的位置,这一项工作称为穿线。

3. 交点

当两条相交的直线 AP 、 QC 在地面上确定后,即可进行交点。如图 8-4 所示,将仪器置于 P 点,后视 A 点,延长直线 AP 至交点 B 的概略位置前后打两个木桩 a 、 b (骑马桩),并钉上小钉标定点的中心位置。仪器移至 Q 点,后视 C 点,延长直线 CQ 与 ab 连线相交,得交点 B ,打下木桩,并钉上小钉标定点的中心位置。用经纬仪延长直线应采用“双倒镜分中法”标定 a 、 b 、 B 等点。

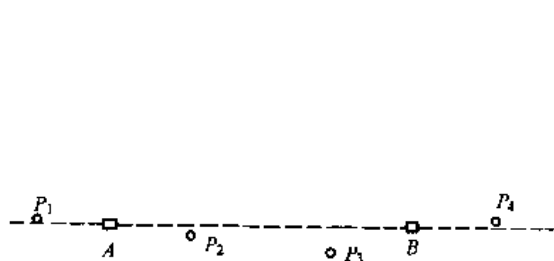


图 8-3

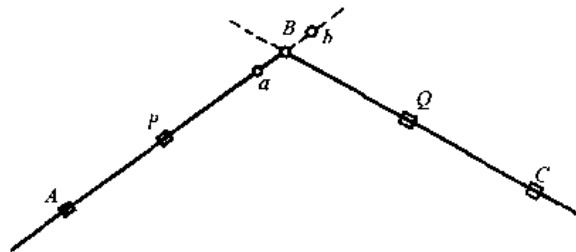


图 8-4

二、转点的测设

在两相邻交点互不通视或距离较远时,需要在两交点连线上设置转点。即供放线、交点、测角、量距时瞄准之用的点。常用下列几种方法测设:

(1) 当障碍物不很高时,如图 8-5 所示,采用高标杆法。用一较长的标杆,立于交点 C 位置上,将经纬仪安置于 B 点上,瞄准 C 点的标杆后,固定照准部,用望远镜微动螺旋使视线降至 Z 点,打下木桩,复点后再钉上小钉标定转点的位置。由于标杆高,不易使标杆竖立为铅垂位置,因此,再将经纬仪搬至所设置的转点 Z 上,用延长直线的方法钉设交点 C 。

(2) 当障碍物很高,用高标杆法不能测定时,如图 8-6 所示,可采用试用转点法进行标定。

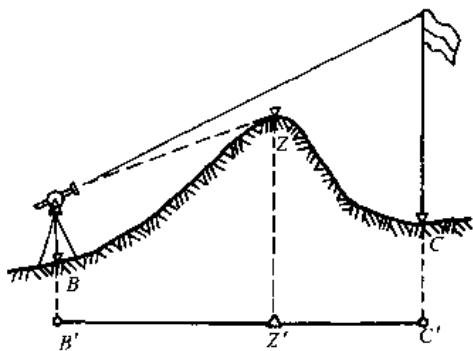


图 8-5

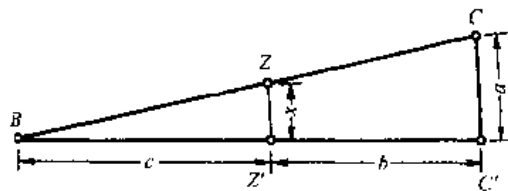


图 8-6

即在 C 点的方向定一点 Z' , 将经纬仪安置在 Z' 点上, 用延长直线的方法钉出 C' 点, 若 C' 点和给定的 C 点位置重合或者差距在允许范围之内时, 即试用转点的位置正确。若 C' 与给定的 C 点的位置差距超出允许范围时, 应重新选择转点的位置。其方法是: 在垂直于 $C'Z'$ 方向上量出 $C'C$ 的距离, 设其为 a , 再测出 BZ' 和 $Z'C'$ 的距离, 设其分别等于 c 和 b , 假定 Z' 点横向偏离距离为 X , 则:

$$\frac{x}{a} = \frac{c}{c+b}$$

$$\therefore x = \frac{ac}{b+c} \quad (8-1)$$

将试用转点向垂直于 Bc' 的方向移动 x 距离,再把经纬仪安置在移动后的转点上,用延长直线的方法,钉设出交点 C 的精确位置。

第二节 转角测定和里程桩的设置

一、转角的测定

公路测量通常是用经纬仪测量路线的右角 $\beta_{\text{右}}$ 。观测方法用测回法观测一测回,两半测回所测角值的不符值视公路等级而定,一般不超过 $1'$,在允许范围内取其平均值作为观测成果。

右角测定后,再用右角计算转角。转角是路线由一个方向偏转到另一方向时,偏转后的方向与原方向的水平夹角。转角分左转角和右转角,它们分别用 α_z 和 α_y 表示。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{当 } \beta_{\text{右}} < 180^\circ \text{ 时} & \alpha_y = 180^\circ - \beta_{\text{右}} \\ \text{当 } \beta_{\text{右}} > 180^\circ \text{ 时} & \alpha_z = \beta_{\text{右}} - 180^\circ \end{array} \right\} \quad (8-2)$$

二、标定夹角分角线方向

为了设置平曲线中点桩,在右角测定后,不需变动水平度盘位置,即可标定两导线边的夹角分角线,如图 8-7 所示,该夹角是指小于 180° 的夹角。在图 8-7 中,若后视方向水平度盘读数为 b ,前视方向水平度盘读数为 a ,则当 $\beta_{\text{右}} < 180^\circ$ 时,分角线方向的水平度盘读数 k 为:

$$k = \frac{(a+b)}{2} \quad \text{或} \quad k = a + \frac{\beta_{\text{右}}}{2} \quad (8-3)$$

然后,转动照准部使水平度盘读数为分角线方向读数值,这时望远镜的方向为分角线的方向。

当 $\beta_{\text{右}} > 180^\circ$ 时,在上述分角线的方向上,再纵向倒转望远镜即为分角线的方向。

三、磁方位角的观测、推算和后视点视距测定

观测磁方位角是为了校核测角的精度。除观测起始边的磁方位角外,每天在测量开始及结束的路线导线边上要进行磁方位角观测,以便与计算方位角核对,其误差不得超过规定的范围。超过限差范围时,要查明原因并及时纠正。如图 8-8 所示,任一导线边的计算方位角为:

$$A_i = A_0 + \sum \alpha_y - \sum \alpha_z \quad (8-4)$$

式中: A_i ——任一导线边的计算方位角;

A_0 ——起始导线边的观测磁方位角;

$\sum \alpha_y$ ——计算导线边以前所有右转角之和;

$\sum \alpha_z$ ——计算导线边以前所有左转角之和。

设 A'_i 为任一导线边的观测磁方位角,则测角闭合差 f_β 为:

$$f_\beta = A'_i - A_i = A'_i - (A_0 + \sum \alpha_y - \sum \alpha_z) \quad (8-5)$$

如 f_β 值在 2° 以内时,表示角度观测符合要求。

另外在角度观测后,还须用视距法测定交点至后视点的距离,作中桩量距校核之用。

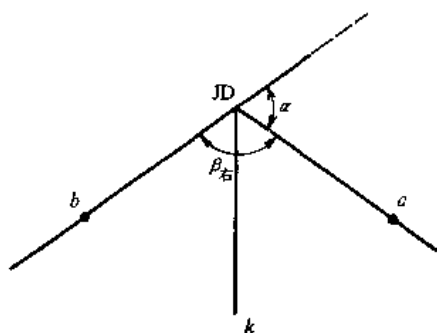


图 8-7

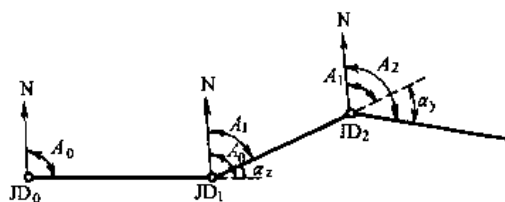


图 8-8

四、里程桩的设置

为了确定中线上某些特殊点的相对位置,在路线交点、转点及转角测定后,即可进行中线丈量和沿中线方向设置里程桩。通过里程桩的设置,不仅具体地表示了中线位置,而且利用桩号的形式表达了距路线起点的里程关系。如某中桩距路线起点的里程为 7 814.19m,则它的桩号应等于 K7+814.19。在中线测量中,一般多用 $(1.5 \sim 2)\text{cm} \times 5\text{cm} \times 30\text{cm}$ 的木桩或竹桩做里程桩,如图 8-9 所示。

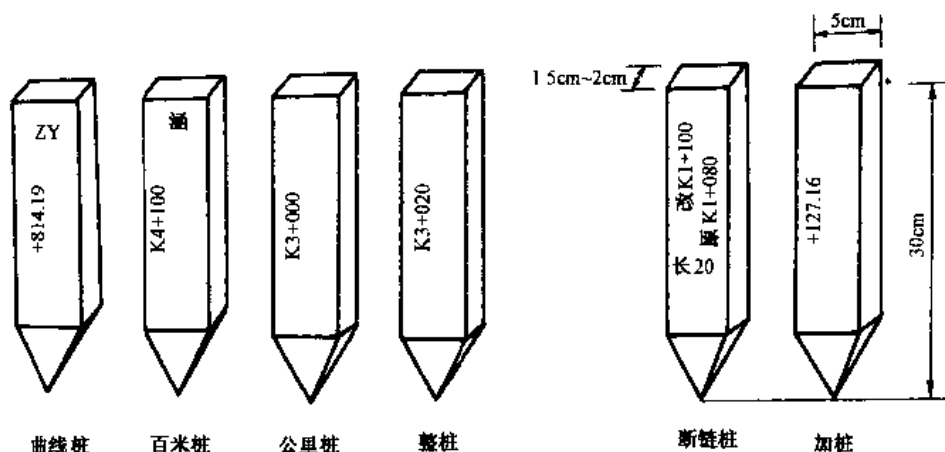


图 8-9

里程桩分为整桩和加桩两种。整桩是按规定每隔 20m、50m 设置桩号为整数的里程桩。百米桩和公里桩均属于整桩。

加桩有以下几种:

- (1)地貌加桩:凡沿中线纵、横断面方向地形起伏突变处以及天然河沟处应加桩。
- (2)地物加桩:中线与其它公路、铁路、小路交叉处,路线经过的县乡分界点,房屋、池塘、水渠、水坝、高压电杆、坟墓、重要经济林及占用耕地的起终点、拆迁建筑物等处均应加桩。
- (3)人工结构物加桩:拟建桥梁、涵洞、挡土墙及其它人工结构物处要加桩。
- (4)工程地质加桩:地质不良地段、土质变化及土石分界处要加桩。
- (5)曲线加桩:在半径较小的曲线内,为了反映出曲线的形状,一般在 5m ~ 10m 范围内加桩。

(6)断链桩:由于比较线、局部改线和里程计算中出现错误等原因,产生测设里程不连续现象,即为断链。表示里程断续前后关系的桩称为断链桩,如图 8-9 所示。

断链分为长链和短链。所谓长链即桩号出现重叠,如原 $K1 + 160 =$ 现 $K1 + 100$ 长 60m ;所谓短链即桩号出现间断,如原 $K1 + 100 =$ 现 $K1 + 160$ 短 60m 。

五、量 距

路线导线测量的最后一项工作就是导线丈量,由中桩组完成。丈量中线常用钢尺,路面等级较低时也可用皮尺。一般在中线丈量时要求最小读数为 cm ,相对误差不得大于 $\frac{1}{2000}$ 。

中线丈量手簿见表 8-1 所示。

表中有接尺点、尺读数、桩号等栏目。接尺点为后链人员所站的位置;尺读数为—尺段的实际丈量长度;桩号为前链人员所站的位置。即:后链人员的位置里程桩号加上尺读数等于前链人员所在位置的里程桩号。具体详见表 8-1。

中线丈量手簿

表 8-1

接 尺 点	尺 读 数	桩 号	备 注
0	000	K0 + 000	路线起点
K0 + 000	050	+ 050	
+ 050	050	+ 100	
+ 100	018.50	+ 118.50	
+ 100	050	+ 150	
+ 150	050	+ 200	
+ 200	050	+ 250	
+ 250	050	+ 300	
+ 300	122.32	K0 + 422.32	JD ₁ $\alpha_1 = 10^\circ 49'$ (α_y)
K0 + 422.32	- 113.62	K0 + 308.70	ZY ₁ $R = 1\ 200\text{m}$
		K0 + 421.98	QZ ₁ $T = 113.62\text{m}$
		K0 + 500	$x = 35.25$ $y = 0.52$ $l = 226.55\text{m}$
		K0 + 535.25	YZ ₁
K0 + 535.25	014.75	+ 550	

第三节 圆曲线测设

公路中线是由直线和曲线两部分组成。在曲线的测设中,圆曲线是路线平曲线的基本组成部分,且单交点单圆曲线是最常见最基本的曲线形式。圆曲线的测设工作一般分两步进行:先设曲线主点桩,然后进行曲线桩加密,完整地标定出圆曲线的位置,这项工作称为曲线的详细测设。

一、单交点单圆曲线测设元素的计算

单交点单圆曲线在中线测量中是经常遇到的。设交点 JD 处相邻两导线边与半径 R 的圆曲线相切,如图 8-10 所示。

图中:JD——路线导线交点;

α ——路线转角;

R ——圆曲线半径;
 $A、B$ ——直线与圆曲线的切点,即圆曲线的起点 ZY 和终点 YZ ;

M ——分角线与圆曲线的相交点,即圆曲线的中点 QZ ;

T ——圆曲线切线长;

L ——圆曲线的曲线长;

E ——交点 JD 至圆曲线中点 M 的距离,称圆曲线的外距;

D ——超距或称切曲差, $D = 2T - L$ 。

根据几何关系,单圆曲线元素可按下列公式计算:

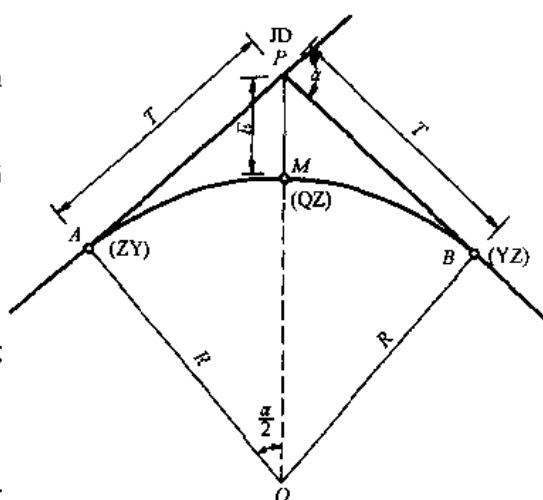


图 8-10

$$\text{切线长: } T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (8-6)$$

$$\text{曲线长: } L = R\alpha \frac{\pi}{180^\circ} \quad (8-7)$$

$$\text{外 距: } E = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) \quad (8-8)$$

$$\text{超 距: } D = 2T - L \quad (8-9)$$

曲线元素值也可以从《公路曲线测设用表》第一册第一表中查取。该表是用上述公式按 $R = 100\text{m}$ 时,以不同转角 α 计算的曲线元素值。查用时将被查曲线半径除以 100,然后以商值乘以表值,即为所求的曲线元素值。

二、圆曲线的主点测设

1. 主点里程桩号的计算

单圆曲线有三个主点,即曲线起点(ZY),曲线中点(QZ)和曲线终点(YZ),根据交点 JD 的里程即可算出各主点的里程,其计算步骤如下:

交点	JD	里程
	-)	T
圆曲线起点	ZY	里程
	+) L	
圆曲线终点	YZ	里程
	-) $L/2$	
圆曲线中点	QZ	里程
	+) $D/2$	
	JD	里程

(校核) (8-10)

2. 主点的测设方法

(1)如图 8-10 所示,从交点 JD 起,沿切线向路线起点方向量取切线长 T ,得曲线起点 ZY 的位置;

(2)从交点 JD 起,沿切线向路线终点方向量取切线长,得曲线终点 YZ 的位置;

(3)从交点 JD 起,沿分角线方向向圆心量取外距 E ,得曲线中点 QZ 位置。

[例 1] 交点 JD 的里程桩为 K8+518.88,路线转角 $\alpha_s = 104^\circ 40' 00''$,圆曲线半径 $R = 30\text{m}$,计算圆曲线元素及主点里程桩号。

解:(1)圆曲线元素的计算:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 30 \times \operatorname{tg} \frac{104^\circ 40'}{2} = 38.86\text{m}$$

$$L = \frac{\pi}{180^\circ} \alpha R = \frac{\pi}{180^\circ} \times 104^\circ 40' \times 30 = 54.80\text{m}$$

$$E = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) = 30 \times \left(\sec \frac{104^\circ 40'}{2} - 1 \right) = 19.09\text{m}$$

$$D = 2T - L = 2 \times (38.86 - 54.80) = 22.92\text{m}$$

(2)圆曲线主点里程计算

JD	K8+518.88	
-) T	38.86	
ZY	+480.02	
+) L	54.80	
YZ	+534.82	
-) $L/2$	27.40	
QZ	+507.42	
+) $D/2$	11.46	
JD	K8+518.88	(校核)

三、虚 交

在山区地形复杂地段,往往因交点 JD 落入河谷、深谷、峭壁等处,形成所谓虚交点的情况,如图 8-11 所示。由于转角 α 不能直接测定,曲线的计算和主点的测设,只能通过间接的方法来进行。

如图 8-11,路线交点落在河里,应在交点前后导线边上各选一辅助点 A 和 B,构成圆外基线 AB。在 A、B 点用经纬仪测出转角 α_A 、 α_B ,并用钢尺往返丈量 AB,相对误差不得超过 $\frac{1}{2000}$ 。由图 8-11 可知: $\alpha = \alpha_A + \alpha_B$,在虚交三角形 ABC 中,按正弦定理有:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{AB \sin \alpha_A}{\sin(180^\circ - \alpha)} = AB \frac{\sin \alpha_A}{\sin \alpha} \\ b &= \frac{AB \sin \alpha_B}{\sin(180^\circ - \alpha)} = AB \frac{\sin \alpha_B}{\sin \alpha} \end{aligned} \right\} \quad (8-11)$$

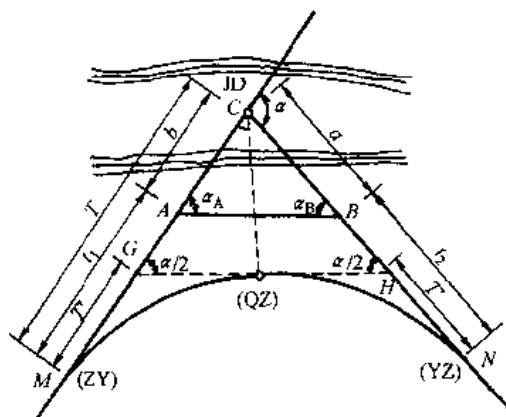


图 8-11

根据转角 α 和拟定的半径 R , 可按公式计算或查表得 T 、 L 和 E , 根据 a 、 b , T 即可计算辅助点 A 、 B 至曲线起、终点的距离 t_1 和 t_2 , 即:

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= T - b \\ t_2 &= T - a \end{aligned} \right\} \quad (8-12)$$

当 t_1 、 t_2 或其中之一出现负值时, 则表示曲线起终点或其中之一位于辅助点与虚交点之间, 表明采用的半径过小, 应当加大半径, 使曲线位于基线内侧。

曲线中点 QZ 的测设, 可采用中点切线法。设 GH 为曲线中点的切线, 如图 8-11, 则:

$$\begin{aligned} \angle CGH = \angle CHG &= \frac{\alpha}{2} \\ T &= R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} \end{aligned} \quad (8-13)$$

主点测设:

(1) 自辅助点 A 和 B 分别沿 AM 和 BN 方向量取 t_1 和 t_2 , 即得曲线起点 $M(ZY)$ 、终点 $N(YZ)$ 的位置。

(2) 从曲线起、终点分别沿切线向 JD 方向量取 T 得 G 、 H 两点, 则 GH 中点即为 QZ 位置。

四、圆曲线的详细测设

圆曲线在主点设置后, 还要设置更多的曲线桩才能比较确切地反映圆曲线的形状。圆曲线的详细测设, 就是指设置除主点桩以外的一切曲线桩。

对于桩距一般有如下规定:

$R \geq 50\text{m}$ 时: 桩距 20m; $20\text{m} < R < 50\text{m}$ 时: 桩距 10m; $R \leq 20\text{m}$ 时: 桩距 5m。

按桩距在曲线上设桩, 通常有两种方法: 整桩距法和整桩号法。整桩距法即分别从曲线起点和终点开始, 以相应的桩距连续向曲线中点加桩, 或从曲线一端向另一端连续加桩, 各桩之间为整桩距, 最后余下一个不足一桩距的为分桩距。这种方法除加设百米桩、公里桩外, 其余的桩号均为非整数。整桩号法即是将曲线两端靠近起终点的第一个桩的桩号设成以 10 为整数的整桩号, 因而首尾两段曲线长均为非整桩距, 然后按相应桩距连续加桩。这种方法除个别加桩外, 其余的桩号均为整桩号。圆曲线的详细测设一般均采用整桩号法。

1. 切线支距法

切线支距法是以曲线的起点或终点为坐标原点, 以切线为 x 轴, 以过原点的半径方向为 y 轴, 根据坐标 x 、 y 来设置曲线上的各点。

设 P 为曲线欲设置的点, 其弧长为 l , 所对应的圆心角为 φ , 如图 8-12 所示, 则:

$$\left. \begin{aligned} x &= R \sin \varphi \\ y &= R(1 - \cos \varphi) \end{aligned} \right\} \quad (8-14)$$

式中:

$$\varphi = \frac{l}{R} \times \frac{180^\circ}{\pi}$$

在曲线测设时, 桩点坐标除按上述公式计算外, 也可用半径 R 和曲线长 l 为引数, 在《公路曲线测设用表》第一册第三表中直接查取。

为了避免量距过长, 均是以曲线中点 QZ 为界, 将曲线分成两部分进行, 如图 8-13 所示, 其测设步骤如下:

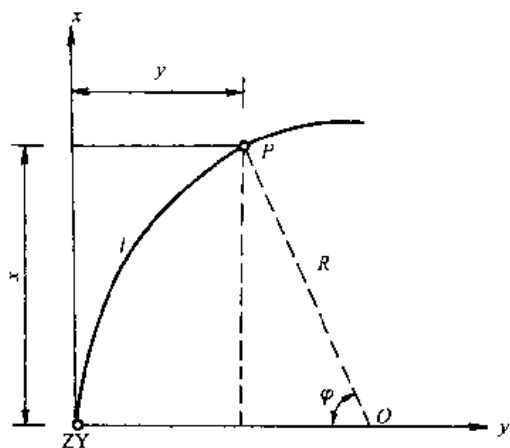


图 8-12

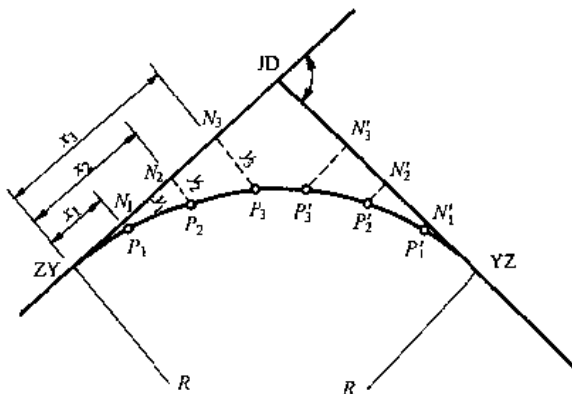


图 8-13

(1)根据各点坐标,用皮尺从曲线起点或终点沿切线方向量取 x_1, x_2, x_3 等长度得垂足 N_1, N_2, N_3 等点,并用测钎标记。

(2)在垂足 N_1, N_2, N_3 等点用方向架作垂线,量出 y_1, y_2, y_3 ,即定出曲线上 P_1, P_2, P_3 各点,用测钎加以标记。

(3)校核方法:丈量各点间的弦长来进行校核。如果不符或超限,应当查明原因,予以改正。

[例 2] 按例 1 的结果,计算按切线支距法详细测设圆曲线的测设数据。

解:按整桩号法设桩,桩距 $l_0 = 10\text{m}$,则测设数据见表 8-2。

圆曲线支距计算表(整桩号法)

表 8-2

桩号	各桩至起点曲线长	x	y	桩号	各桩至起点曲线长	x	y
ZY K8+480.02	0.00	0.00	0.00	+510	24.82	22.08	9.69
+490	9.98	9.80	1.64	+520	14.82	14.22	3.59
+500	19.98	18.54	6.41	+530	4.82	4.80	0.39
QZ K8+507.42	27.40	23.75	11.67	YZ K8+534.82	0.00	0.00	0.00

2. 偏角法

偏角法测设曲线加桩是依据极坐标原理计算的,如图 8-14 所示。

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 是曲线上要测定的加桩,曲线起点 ZY(或终点 YZ)是极坐标原点, $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$ 是对 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 点方向的偏角, $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ 是各段曲线 $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ 的弦长。因此只要求得 $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$ 和 $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ 便可确定 $P_1, P_2, \dots, P_n$ 点在曲线上的位置。

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= \frac{\varphi_1}{2} = \frac{l_1}{2R} \times \frac{180^\circ}{\pi} \\ \Delta_2 &= \frac{\varphi_2}{2} = \frac{l_2}{2R} \times \frac{180^\circ}{\pi} \\ \Delta_3 &= \frac{\varphi_3}{2} = \frac{l_3}{2R} \times \frac{180^\circ}{\pi} \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta_n &= \frac{\varphi_n}{2} = \frac{l_n}{2R} \times \frac{180^\circ}{\pi} \end{aligned} \right\} \quad (8-15)$$

$$\text{弦长: } c_i = 2R \sin \frac{\varphi_i}{2} = 2R \sin \Delta_i \quad (8-16)$$

$$\text{弦弧差: } \delta_i = l_i - c_i = \frac{l_i^3}{24R^2} \quad (8-17)$$

式中: $\varphi_i = \frac{l_i}{R} \times \frac{180^\circ}{\pi}$

在野外测设工作中,除了用上述公式计算外,还可以用查表的方法从《公路曲线测设用表》第一册第二表中直接查取。计算(查)偏角时,以曲线起点 ZY 为坐标原点,路线右转角用正拨偏角,左转角用反拨偏角。若以曲线终点 YZ 为坐标原点时,则相反。在查表时,为了利用表的累计特点,如果凑整后的桩距均为整桩距时,可将第一个凑整桩号的度盘读数设置为 $0^\circ 00' 00''$,其余(最后一点除外)各桩的偏角读数

可直接从表中查得。计算结果用最后的 YZ 或 ZY 偏角值应等于 $\alpha/2$ 来检验。

[例 3] 按例 1 结果,计算偏角法详细测设圆曲线的测设数据。

解:按整桩号法设桩,桩距 $l_0 = 10\text{m}$,则测设数据见表 8-3。

圆曲线偏角计算表

表 8-3

桩 号	各桩至起点曲线长	偏 角	度盘偏角读数
ZY K8+480.02	0.00	$0^\circ 00' 00''$	$360^\circ - \Delta_A = 350^\circ 28' 11''$
+490	9.98	$\Delta_A = 9^\circ 31' 49''$	$0^\circ 00' 00''$
+500	19.98	$19^\circ 04' 46''$	$\Delta_0 = 9^\circ 32' 57''$
QZ K8+507.42			
+510	29.98	$28^\circ 37' 43''$	$2\Delta_0 = 19^\circ 05' 54''$
+520	39.98	$38^\circ 10' 40''$	$3\Delta_0 = 28^\circ 38' 51''$
+530	49.98	$47^\circ 43' 37''$	$4\Delta_0 = 38^\circ 11' 48''$
YZ K8+534.82	$(l_R = 4.82)$ 54.80	$(\Delta_B = 4^\circ 36' 10'')$ $52^\circ 19' 47''$	$4\Delta_0 + \Delta_B = 52^\circ 19' 47''$
校 核	$\alpha/2 = 52^\circ 20' 00''$ $\Delta_{YZ} = 52^\circ 19' 47''$ 两者相差 $13''$ 属计算取位误差		

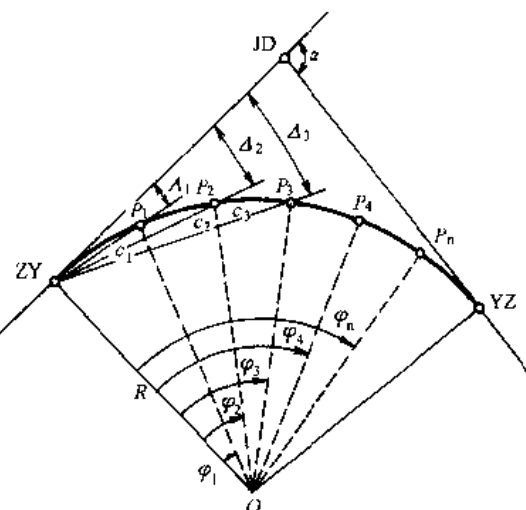


图 8-14

第四节 复 曲 线

复曲线是由两个或两个以上半径不同的同向圆曲线连接而成的。通常在地形条件比较复杂的地段,复曲线比单曲线更容易适应地形变化。通常在布设复曲线时,必须先选定受地貌、地物控制较严的那个曲线的半径,该曲线称为主曲线,剩余的曲线称为副曲线。副曲线的半径应根据主曲线的半径和其它测量数据计算出。

一、计算复曲线所需的数据

(1) 测量路线的转角 α , $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$, 如图 8-15 所示。

(2) 测量交点与交点之间的基线长度, 实测时用钢尺往返丈量两次, 相对误差不超过 $\frac{1}{2000}$ 。

(3) 拟定一个主曲线半径。

二、复曲线的计算和测设

(1) 根据拟定的主曲线半径 $R_{\pm}$ 和测得的转角 α_1 , 计算或查表可得 T_1 、 L_1 、 E_1 和 D_1 。

(2) 由 R_1 、 T_1 和 α_2 推算 R_2 , 由图 8-15 可知:

$$\textcircled{1} T_2 = AB - T_1, \text{ 则 } R_2 = T_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2};$$

② 用 $R = 100$ 时的切线和半径与副曲线的切线和半径相比可得:

$$\frac{T_{100}}{100} = \frac{T_{\text{副}}}{R_{\text{副}}}$$

$$\text{则: } R_{\text{副}} = 100 \frac{T_{\text{副}}}{T_{100}} \quad (8-18)$$

(3) 根据 $R_{\text{副}}$ 、 α_2 计算或查表可得 T_2 、 L_2 、 E_2 和 D_2 。

(4) 主点里程计算和测设:

① 主点里程计算:

	JD ₁	里程
-)	T_1	
	ZY	里程
+)	$L_1/2$	
	QZ ₁	里程
+)	$L_1/2$	
	CQ	里程
+)	$L_2/2$	
	QZ ₂	里程
+)	$L_2/2$	
	YZ	里程
-)	$(L_1 + L_2)$	
	ZY	里程
+)	T_1	
	JD ₁	里程 (校核)

② 主点测设时, 可把复曲线看成由若干个单圆曲线构成, 测设方法与单圆曲线相同。

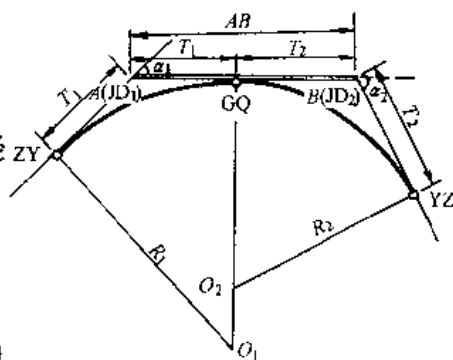


图 8-15

第五节 缓和曲线

缓和曲线是在直线和圆曲线之间插入一段半径由无限大逐渐减小至圆曲线半径 R 的曲线, 它起缓和过渡作用。

一、缓和曲线长度选择及基本要素的计算

1. 缓和曲线长度的选择

缓和曲线是一种曲率连续变化的曲线,其曲率半径是随着曲线长度的增长而均匀连续地变小。《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)(以下简称《标准》)规定,缓和曲线采用回旋曲线形式。因此,缓和曲线上任一点的曲率半径与该点距起点的距离成反比,即:

$$\frac{r}{R} = \frac{L_s}{l} \quad (8-19)$$

式中: R ——圆曲线半径;

r ——缓和曲线上任一点的曲率半径;

L_s ——缓和曲线段长度;

l ——缓和曲线起点至缓和曲线上任一点的曲线长。

缓和曲线的基本方程为:

$$C = rl = RL_s \quad (8-20)$$

式中: C ——缓和曲线半径的变换率。

从式(8-20)可知, C 值小时,说明缓和曲线曲率半径变化较急,缓和曲线长度 L_s 就短; C 值大时,缓和曲线曲率半径变化较缓,缓和曲线长度 L_s 就长,《标准》中规定:

$$\left. \begin{aligned} C &\geq 0.035v^3 \\ L_s &\geq 0.035 \frac{v^3}{R} \end{aligned} \right\} \quad (8-21)$$

式中: v ——计算行车速度。

L_s 应大于或等于表 8-4 中的数值。

各级公路缓和曲线最小长度

表 8-4

公路等级	高速公路				一		二		三		四	
计算行车速度(km/h)	120	100	80	60	100	60	80	40	60	30	40	20
缓和曲线最小长度(m)	100	85	70	50	85	50	70	35	50	25	35	20

注:四级公路为超高、加宽缓和段长度。

2. 缓和曲线的基本要素

要测定缓和曲线,必须求得缓和曲线的基本要素,如图 8-16 所示。

(1) β ——切线角(缓和曲线角):

$$\beta = \frac{180^\circ}{\pi} \times \frac{L_s}{2R} \quad (8-22)$$

(2) x_h ——缓和曲线终点的横坐标:

$$x_h = L_s - \frac{L_s^3}{40R^2} \quad (8-23)$$

(3) y_h ——缓和曲线终点的纵坐标:

$$y_h = \frac{L_s^2}{6R} \quad (8-24)$$

(4) P ——原有圆曲线内移值:

$$P = \frac{L_s^2}{24R} \quad (8-25)$$

(5) q ——原有圆曲线起点或终点至缓和曲线起点的距离:

$$q = \frac{L_s}{2} - \frac{L_s^3}{240R^2} \quad (8-26)$$

(6) c_h ——缓和曲线弦长:

$$c_h = \sqrt{x_h^2 + y_h^2} = x_h \sec \Delta_h \quad (8-27)$$

(7) Δ_h ——缓和曲线总偏角:

$$\Delta_h = \frac{\beta}{3} \quad (8-28)$$

(8) T_d ——缓和曲线起点切线与终点切线的交点至缓和曲线起点的距离:

$$T_d = \frac{2}{3} L_s + \frac{L_s^3}{360R^2} \quad (8-29)$$

以上为缓和曲线的基本要素值,它们除了用上述公式计算外,还可查《公路曲线测设用表》第二册第一表得到。

二、设置缓和曲线后平曲线元素的计算及主点的测设

圆曲线设置缓和曲线后,圆曲线的位置发生了变化,它和直线的衔接是通过缓和曲线实现的。这样就必须将原来的圆曲线向内移动,才能保证缓和曲线起点切于直线上,而缓和曲线终点又与圆曲线上某一点相切。

如图 8-16 所示,圆曲线内移后的部分,即 HY 点至 YH 点间的圆弧,必须按《标准》规定保留最小长度。其半径为 R ,所对的圆心角为 $\alpha - 2\beta$,测设时必须满足的条件是: $2\beta < \alpha$, 否则应缩短缓和曲线长度或加大圆曲线半径,使之满足条件。

1. 设置缓和曲线后平曲线元素计算

如图 8-16 所示,带有缓和曲线的圆曲线元素按下式计算:

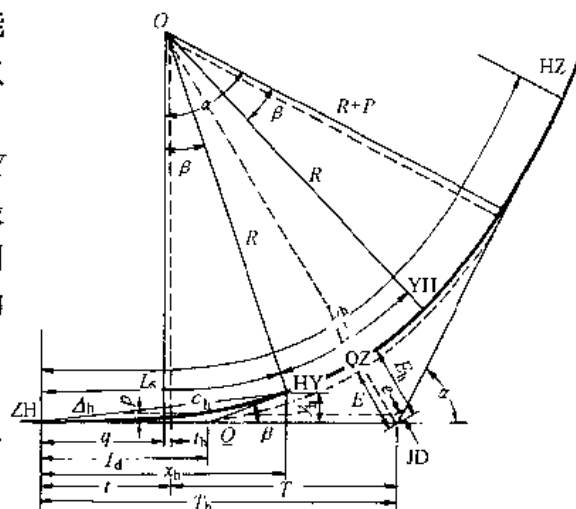


图 8-16

$$\left. \begin{aligned} \text{切线长: } T_h &= (R+P) \tan \frac{\alpha}{2} + q = T + t \\ \text{曲线长: } L_h &= L' + 2L_s = R(\alpha - 2\beta) \frac{\pi}{180^\circ} + 2L_s \\ \text{外 距: } E_h &= (R+P) \sec \frac{\alpha}{2} - R = E + e \\ \text{切曲差: } D_h &= 2T_h - L_h = D + d \end{aligned} \right\} \quad (8-30)$$

上述元素可以用公式计算,也可查《公路曲线测设用表》第一册第一表得 $R = 100\text{m}$ 的单圆曲线元素值,再换算成所拟定的曲线半径的元素值 T, L, E, D ,再从《公路曲线测设用表》第二册第二表查得缓和曲线的尾加数 t, e, d ,即可算得相应的平曲线元素值。

2. 主点里程的计算

平曲线中插入缓和曲线后,平曲线的主点就由原来的 3 个变为现在的 5 个,即:第一条缓和曲线的起点 ZH 称为直缓点;第一条缓和曲线的终点 HY 称为缓圆点;平曲线中间点 QZ 称为曲中点;第二条缓和曲线的终点 YH 称为圆缓点;第二条缓和曲线的起点 HZ 称为缓直点。

根据交点里程和曲线元素值可按下列顺序依次计算各主点里程,并作校核。

交点	JD	里程	
	-) T_h		
直缓点	ZH	里程	
	+) L_s		
缓圆点	HY	里程	
	+) L'		
圆缓点	YH	里程	
	+) L_s		
缓直点	HZ	里程	
	-) $L_h/2$		
曲中点	QZ	里程	
	+) $D_h/2$		
交点	JD	里程	(校核)

3. 主点的测设

单交点单圆曲线设置缓和曲线后,主点桩的设置方法,除 HY 和 YH 外,均与单交点单圆曲线相同。ZH、HZ 两点由切线长 T_h 来确定;QZ 点由外距 E_h 来确定;HY 和 YH 根据 x_h 和 y_h 坐标用切线支距法确定。

【例 4】 已知平原微丘区三级公路,交点 JD 的里程桩号为 K21+476.21,转角 $\alpha = 37^\circ 16'$,圆曲线半径 $R = 300\text{m}$,缓和曲线长 L_s 采用 60m,求算曲线元素及主点桩里程桩号,并设置主点桩。

解:(1)计算缓和曲线基本要素:

$$\beta = \frac{L_s}{2R} \times \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{60 \times 180}{2 \times 300 \times 3.1416} = 5^\circ 43' 46''$$

$$x_h = L_s - \frac{L_s^3}{40R^2} = 60 - \frac{60^3}{40 \times 300^2} = 59.94\text{m}$$

$$y_h = \frac{L_s^2}{6R} = \frac{60^2}{6 \times 300} = 2.00\text{m}$$

$$p = \frac{L_s^2}{24R} = \frac{60^2}{24 \times 300} = 0.5\text{m}$$

$$q = \frac{L_s}{2} - \frac{L_s^3}{240R^2} = \frac{60}{2} - \frac{60^3}{240 \times 300^2} = 29.99\text{m}$$

$$c_h = \sqrt{x_h^2 + y_h^2} = \sqrt{59.94^2 + 2^2} = 59.97\text{m}$$

$$\Delta h = \frac{\beta}{3} = 1^{\circ}54'35''$$

$$T_d = \frac{2}{3} L_s = 40\text{m}$$

(2) 计算曲线元素值:

$$\begin{aligned} T_h &= (R + P) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + q = 300.5 \times \operatorname{tg} 18^{\circ}38' + 29.99 \\ &= 300.5 \times 0.337.8 + 29.99 \\ &= 131.31\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L' &= R(\alpha - 2\beta) \frac{\pi}{180^{\circ}} = 300 \times (37^{\circ}16' - 2 \times 5^{\circ}43'46'') \times \frac{3.1416}{180} \\ &= 300 \times 25^{\circ}58'28'' \times 0.174533 \\ &= 135.12\text{m} \end{aligned}$$

$$L_h = L' + 2L_s = 135.12 + 120 = 255.12\text{m}$$

$$\begin{aligned} E_h &= (R + P) \sec \frac{\alpha}{2} - R = \frac{300.5}{\cos 18^{\circ}38'} - 300 \\ &= 317.12 - 300 \\ &= 17.12\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_h &= 2T_h - L_h = 2 \times 131.31 - 255.12 \\ &= 7.50\text{m} \end{aligned}$$

以上数据均可从《公路曲线测设用表》查得。

(3) 计算主点里程桩号:

JD	K21 + 476.21
-) T_h	131.31
ZH	+ 344.90
+) L_s	60
HY	+ 404.90
+) L'	135.12
YH	+ 540.02
+) L_s	60
HZ	+ 600.02
-) $L_h/2$	127.56
QZ	+ 472.46
+) $D_h/2$	3.75
JD	K21 + 476.21

(计算无误)

(4) 主点设置方法:

- ①由 JD 沿两边切线方向分别量取 $T_h = 131.31\text{m}$ 得 ZH 和 HZ 点的位置;
- ②由 JD 沿分角线方向量取 $E_h = 17.12\text{m}$ 得 QZ 点位置;
- ③由坐标 $x_h = 59.94\text{m}$, $y_h = 2.00\text{m}$ 分别以 ZH 和 HZ 为原点,用切线支距法定出 HY 和 YH 点的位置。

三、缓和曲线连接圆曲线的详细测设

缓和曲线连接圆曲线的详细测设与圆曲线的详细测设一样,是在曲线主点设置后进行曲线加桩的工作。它包括缓和曲线部分和圆曲线部分。同圆曲线的详细测设一样,此处主要介绍切线支距法和偏角法。

1. 切线支距法

这种方法与单圆曲线测设原理一样,即以缓和曲线起点 ZH 或 HZ 为坐标原点,以切线为 x 轴,过原点的半径为 y 轴,则曲线上任意一点即可用坐标 (x, y) 来测设定桩。

1) 缓和曲线上任意一点的测设

由于缓和曲线的曲率半径是由 ∞ 逐渐变到 R 的,所以不用 R 来确定桩距,而是由缓和曲线长度 L_s 来确定桩距。

$L_s > 40\text{m}$: 桩距为 10m ; $L_s \leq 40\text{m}$: 桩距为 5m 。

缓和曲线上各桩点的坐标 (x, y) 可按下列公式计算,也可直接查《公路曲线测设用表》第二册第三表得到。

$$\left. \begin{aligned} x &= l - \frac{l^5}{40R^2L_s^2} \\ y &= \frac{l^3}{6RL_s} \end{aligned} \right\} \quad (8-31)$$

测设方法:自 ZH(或 HZ)点沿切线向 JD 方向量取 x 值得垂足,再过垂足沿垂直切线朝圆心方向量取 y 即得该桩点位置。

2) 主曲线上任意一点坐标的计算与测设

(1) 以 ZH(或 HZ)点为原点的切线支距法

如图 8-17 所示,圆曲线上任意点 P_i ,以圆曲线起点 M 为原点的坐标为:

$$\left. \begin{aligned} x_y &= R\sin\alpha_i \\ y_y &= R(1 - \cos\alpha_i) \end{aligned} \right\} \quad (8-32)$$

以 M 为原点和以 ZH(或 HZ)原点的坐标轴是平移关系,纵横平移值分别为 q 和 p ,所以以 ZH(或 HZ)为原点的圆曲线横、纵坐标为:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_y + q = R\sin\alpha_i + q \\ y &= y_y + p = R(1 - \cos\alpha_i) + p \end{aligned} \right\} \quad (8-33)$$

测设方法同缓和曲线段。

(2) 以 HY(或 YH)为原点的切线支距法

以 HY(或 YH)为原点的切线支距法,须找出以 HY(或 YH)为切点的切线方向。用公式(8-29)求得以 HY(或 YH)为切点的切线与 ZH(或 HZ)为切点的切线之交点 Q 至 ZH(或 HZ)点的距离 T_d , Q 与 HY 的连线即为在圆曲线 HY 点的切线方向。

以 HY(或 YH)为原点的切线支距法的计算和测设方法参照第三节圆曲线的测设。

[例 5] 按本章例 4 的已知条件,用切线支距法详细测设缓和曲线及圆曲线。

解:计算结果见表 8-5。另一半曲线用同样的方法,自起点 HZ 开始算起,此处不再赘述。

表 8-5

里程桩号	l	x	y	两相邻桩间的弦距(cm)
ZH K21+344.90	0.00	0.00	0.00	10.00
+354.90	10.00	10.00	0.01	10.00
+364.90	20.00	20.00	0.07	10.00
+374.90	30.00	30.00	0.25	10.00
+384.90	40.00	39.99	0.59	10.00
+394.90	50.00	49.98	1.16	10.00
K21+400	55.10	55.06	1.65	5.10
HY +404.90	60.00	59.94	2.00	4.90
+414.90	70.00	69.87	3.16	10.00
+424.90	80.00	79.76	4.66	10.00
+434.90	90.00	89.59	6.48	10.00
+444.90	100.00	99.35	8.63	10.00
+454.90	110.00	109.04	11.10	10.00
+464.90	120.00	118.64	13.90	10.00
QZ +472.46	127.56			7.56

2. 偏角法

偏角法测设缓和曲线具有比较灵活的特点,测站既可设在缓和曲线起点,又可设在缓和曲线的任意一点上。

1) 以缓和曲线起点为测站测设缓和曲线

如图 8-18 所示,欲用偏角法求缓和曲线上任意一点 P ,只要算出该点在缓和曲线上的偏角值 Δ 和弦长 c ,就能确定桩点位置。因为 Δ 一般很小,故有 $\sin\Delta = \Delta$,即:

$$\Delta = \sin^{-1} \frac{y}{c} = \frac{y}{c} \quad (8-34)$$

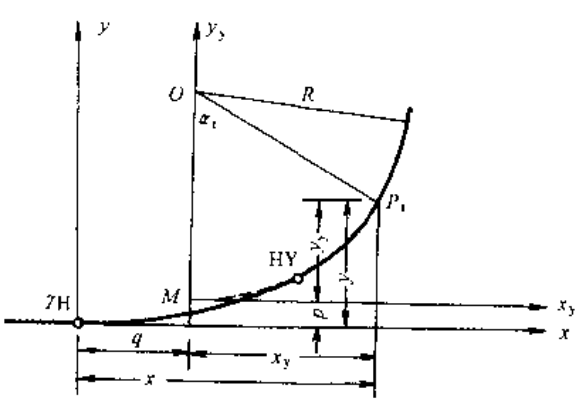


图 8-17

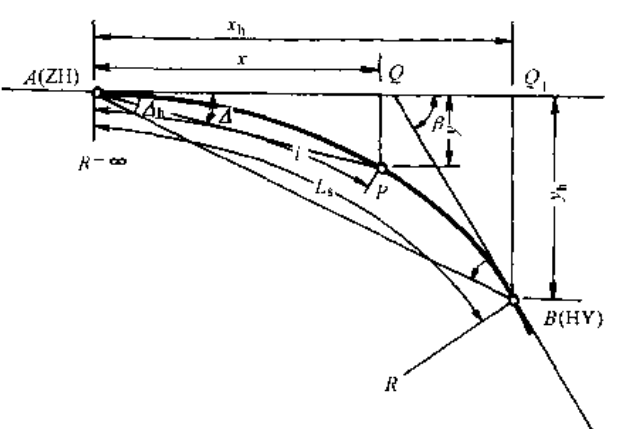


图 8-18

又因缓和曲线各点曲率半径较大,则可近似地以弧代弦,所以:

$$c \approx l$$

将式(8-31)和 c 代入式(8-34)得:

$$\Delta = \frac{l^2}{6RL_s} \times \frac{180^\circ}{\pi} \quad (8-35)$$

当 $l = L_s$ 时:

$$\Delta_h = \frac{l_s}{6R} \times \frac{180}{\pi} = \frac{\beta}{3} \quad (8-36)$$

由式(8-35)知, Δ 和 l^2 成正比, 因此:

$$\frac{\Delta}{\Delta_h} = \frac{l^2}{L_s^2}$$

$$\therefore \Delta = \left(\frac{l}{L_s} \right)^2 \Delta_h \quad (8-37)$$

可根据不同的已知条件, 用式(8-35) ~ 式(8-37)求得不同长度 l 的偏角 Δ 。同样可从《公路曲线测设用表》第二册第四表中查得。

测设方法如下:

- (1) 在缓和曲线起点 ZH(或 HZ)点上安置经纬仪。
- (2) 用望远镜瞄准交点 JD, 并把水平度盘读数设置为 $0^\circ 00' 00''$ 。
- (3) 依次拨偏角 $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots$, 同时量取分段弦长, 相应的视线与弦长相交即得各桩点位置。
- (4) 用偏角法所测得的 HY(或 YH)与主点测设的 HY(或 YH)的结果比较, 若误差超过容许范围, 则应返工重测。

2) 主曲线上任意点的测设

如图 8-19 所示, 主曲线上任意点的测设与用偏角法详细测设单圆曲线的方法相同, 以 HY(或 YH)为测站点, 找出以 HY(或 YH)为切点的切线方向。

方法一: 以 ZH(或 HZ)点向交点 JD 方向量取 T_d 得 Q 点, Q 与 HY(或 YH)的连线即为切线方向。

方法二: 由公式 $\Delta_h = \frac{1}{3}\beta$ 知:

$$b_h = \beta - \frac{1}{3}\beta = \frac{2}{3}\beta$$

因此, 在 HY(或 YH)点置经纬仪, 用望远镜瞄准 ZH(或 HZ), 并将水平度盘读数设置为 $360^\circ - \frac{2}{3}\beta$, 倒转望远镜并使照准部转至 $0^\circ 00' 00''$, 即得 HY(或 YH)点切线方向。

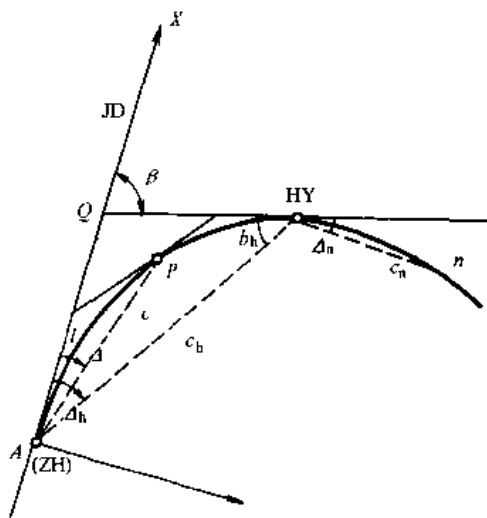


图 8-19

主曲线部分曲线加桩的计算方法和测设方法与单圆曲线一样, 这里不再重述。

第六节 公路中线的测量精度和展绘

一、中线测量的精度要求

1. 角度测量

(1)导线上的测角精度:

公路导线用来控制道路中线的平面位置。导线上的角度是指路线上相邻两条直线所夹的右侧角,通常用 DJ₂ 或 DJ₆ 级光学经纬仪用测回法进行观测。在一测回中,两半测回值的差值可随公路等级不同而不同,一般控制在 12' ~ 1' 之间。

(2)为了校核上述测角的精度,通常每天对始边和终边用罗盘仪测其磁方位角,其角度闭合差须控制在下列范围之内:

$$f_{\beta} = A_{\text{推}} - A_{\text{测}} \leq \pm 20'' \sqrt{n} \quad (8-38)$$

式中: f_{β} ——角度闭合差;

n ——转角数;

$A_{\text{推}}$ ——终边推算方位角;

$A_{\text{测}}$ ——终边观测方位角。

当 f_{β} 满足要求后,可将 f_{β} 的值按反号平均分配到各个角,直至 $A_{\text{推}}$ 等于 $A_{\text{测}}$ 为止。

2. 中线测量

(1)链距与视距的误差:平原微丘区相对误差不得超过 $\frac{1}{200}$;山岭重丘区相对误差不得超过 $\frac{1}{100}$ 。

(2)基线丈量应用钢尺进行往返丈量,其相对误差不得超过 $\frac{1}{2000}$ 。

(3)中桩位置误差:纵向误差不得超过 5cm,横向误差不得超过 10cm。

(4)平曲线闭合差:平原微丘区纵向相对误差不得超过 $\frac{l}{1000}$,山岭重丘区纵向相对误差不得超过 $\frac{l}{500}$ (l 为曲线长),横向误差不得超过 10cm。

二、中线展绘

路线中线展绘根据中线外业测量的资料,按一定比例尺进行中线平面图的绘制,整个图的绘制分两步进行:先绘制路线导线平面图,然后绘制中线平面图。

1. 路线导线的展绘

1)量角器法

如图 8-20 所示,把量角器的 0 点置于转角 B 点,并使 180° 落在 AB 线上,量取转角 α ,得到 D 点,最后连接 BD ,得到下一导线边 BC 的方向,根据 BC 两点的交点距离和绘图比例,在 BC 的方向线上可得到下一个转角点 C 点。

2)正切法

实际工程中一般常采用正切法展绘导线,并能满足测量的精度要求。用正切法展绘路线导线就是将转角 α 的角度换算成它的正切函数,如图 8-21 所示。具体方法如下:

(1)按绘图比例将后导线边 $AB(l_1)$ 绘在图纸上,并延长 AB 至 E 点,为计算方便,一般取 BE 等于 10cm。

(2)以 E 点为垂足,过 E 点作 BE 的垂线。

(3)将转角 α 换算成它的正切函数,即:

$$\text{tg}\alpha = \frac{DE}{BE}$$

则:

$$DE = 10 \tan \alpha \quad (8-39)$$

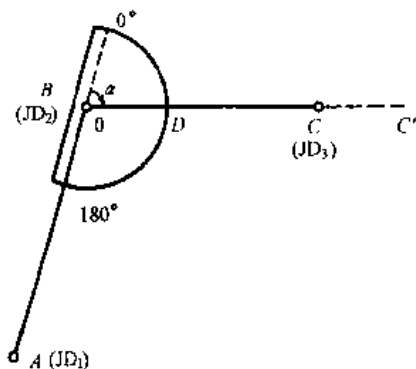


图 8-20

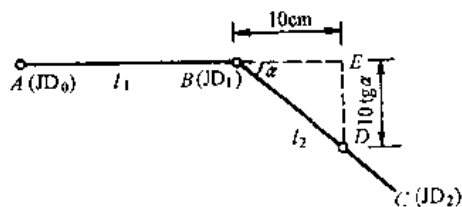


图 8-21

在垂线上量取 DE 的长度得到 D 点,连接 BD 两点并延长至 C 点,使 BC 等于 l_2 ,即得到 C 点在图上的位置。

(4)用同样方法,依次逐点展绘出路线导线的平面图。

2. 中线平面图绘制

1) 用圆规绘制

如图 8-22 所示,从 JD 沿两条导线边量取切线长 T ,分别得到 A 、 B 两点,过 A 和 B 作导线边的垂线交于 O 点, O 点即为圆心,以 O 点为圆心, $OA = OB = R$ 为半径,绘出圆曲线。

2) 曲线弯尺法

如图 8-23 所示,对于半径较大,在图上不能交出圆心位置的曲线,常用曲线弯尺绘制。曲线弯尺是按一定的比例和一定的半径制成的。将相应半径的曲线弯尺置于相邻导线边之间,并同时切于曲线起终点 A 和 B ,然后沿弯尺绘制曲线。

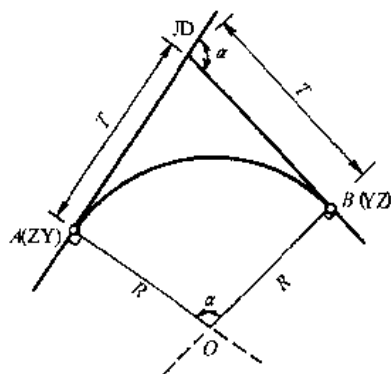


图 8-22

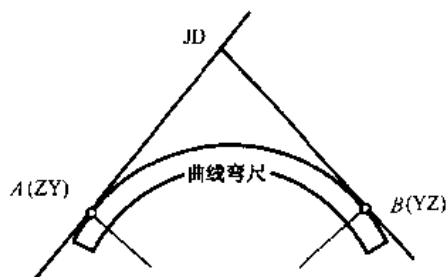


图 8-23

3) 用切线支距法绘制

用切线支距法进行曲线加密计算,然后在图上找出相应的曲线点,最后用曲线板将这些点连接起来,即为曲线在图上的位置,此法适用于设置缓和曲线的平曲线绘制。

第七节 高等级公路中线的测设方法

高等级公路中线测量,由于精度要求高,曲线太长,相邻交点间相距甚远,用传统的方法测设时,测设精度很难达到要求,因此,在高等级公路中线测量中用全站仪测设公路中线。一般

先沿路线方向布设导线控制点,然后依据导线进行中线测设。

一、导线控制点

高等级公路布设的导线点一般应与附近的高级控制点进行联测,构成附和导线。联测一方面可以获得必要的起始数据——起始坐标和起始坐标方位角;另一方面可对观测的数据进行校核。过去由于高级控制点离测区较远,联测困难,现在使用全站仪,测距精度高,测程达2km,联测时可将导线延长,直接与高级控制点连接。对于沿途已有的控制点,可与之连接,增加校核,提高精度。

本书在第十一章专门介绍全站仪的构造、用途及操作方法。全站仪一般均有坐标测量功能,可以直接得到坐标值。观测结束后,以所测各导线点的坐标为观测值进行平差。

如图 8-24 所示的附和导线,用全站仪进行观测,观测时先置仪器于 B 点,观测 2 点坐标,再将仪器置于 2 点,观测 3 点坐标,依次观测至最后得到 C 点的坐标观测值。

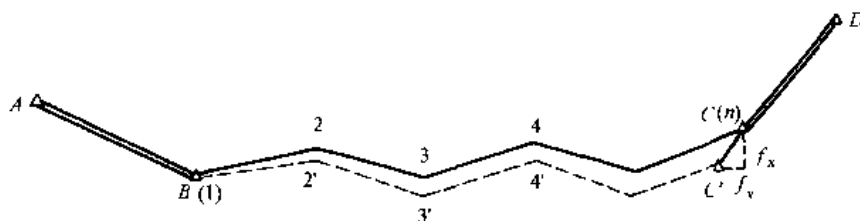


图 8-24

设 C 点的坐标观测值为 (x_c', y_c') , 其已知坐标值为 (x_c, y_c) , 则纵横坐标闭合差 f_x, f_y 为:

$$\left. \begin{aligned} f_x &= x_c' - x_c \\ f_y &= y_c' - y_c \end{aligned} \right\} \quad (8-40)$$

导线全长闭合差为:

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

导线全长相对闭合差为:

$$K = \frac{1}{\frac{\sum D}{f}}$$

式中: D ——导线边长。

当导线全长闭合差在规范规定的容许范围内时,各点坐标的改正值为:

$$V_{xi} = -\frac{f_x}{\sum D} \sum D_i$$

$$V_{yi} = -\frac{f_y}{\sum D} \sum D_i$$

式中: $\sum D$ ——导线全长;

$\sum D_i$ ——第 i 点之前的导线边长之和。

$$x_i = x_i' + V_{xi}$$

$$y_i = y_i' + V_{yi}$$

式中: x_i', y_i' ——第 i 点坐标观测值;

x_i, y_i ——第 i 点改正后的坐标值。

二、中线测量

用全站仪进行公路中线测量时,通常是按中桩的坐标测设。中桩坐标计算如用手算很繁琐,又容易出错,因此,中桩坐标一般是在测设时现场用计算机程序计算,并将其打印出来。

如图 8-25 所示,将仪器置于导线点 D_7 上进行中桩的测设。全站仪的具体操作方法参照第十一章的内容。在中桩位置测定后,随即测出该桩的地面高程(z 坐标),这样纵断面测量中的中平测量就无需单独进行,大大简化了测量工作。

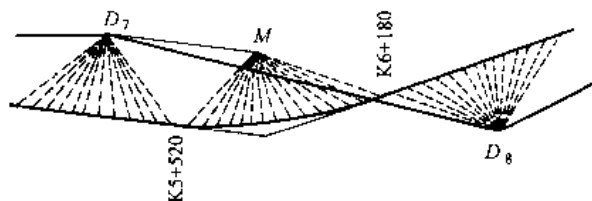


图 8-25

在测设过程中,还需进行测站点的加密,以便把中桩逐个测定出来。如图 8-25 所示, $K5+520$ 至 $K6+180$ 之间的中桩,在导线点 D_7 和 D_8 上均难以测设,可在 D_7 点测设时,于适当位置选一 M 点,钉桩后,测出 M 点的三维坐标。仪器迁至 M 点可继续测设。

三、计算平曲线上各桩点的坐标

高等级公路平曲线上各桩点的坐标计算有多种方法,本节只介绍以路线交点 JD 的坐标为起算坐标,计算平曲线上各桩点的坐标。

如图 8-26 所示,当给定交点 JD_1 和 JD_2 的坐标后,通过坐标反算可求出两交点间导线的坐标方位角 α_{12} 和距离 D_{12} ,并用下列公式计算 ZH 点的坐标,即:

$$\left. \begin{aligned} x_{ZH} &= x_{JD_1} + \Delta x_{JD_1-ZH} \\ y_{ZH} &= y_{JD_1} + \Delta y_{JD_1-ZH} \end{aligned} \right\} \quad (8-41)$$

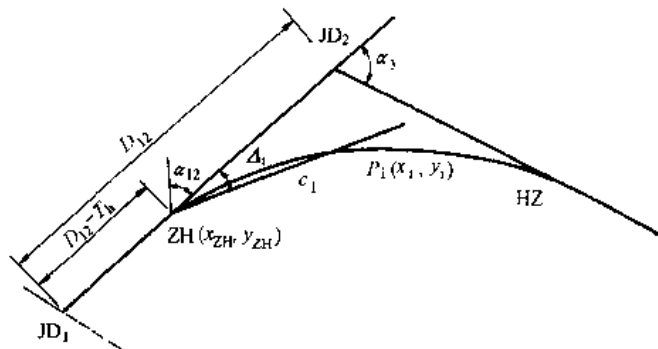


图 8-26

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{JD_1-ZH} &= (D_{12} - T_b) \cos \alpha_{12} \\ \Delta y_{JD_1-ZH} &= (D_{12} - T_b) \sin \alpha_{12} \end{aligned} \right\} \quad (8-42)$$

然后根据设计所需的平曲线测设元素及缓和曲线长度 L_b 、圆曲半径 R 、桩距 l_0 和桩点 P_i 至 ZH 点的曲线长 l_i , 计算桩点 P_i 的偏角 Δ_i 和弦长 c_i , 桩点 P_i 的坐标 (x_i, y_i) 即可用下列公式计算:

$$\alpha_{ZH-P_i} = \alpha_{12} + \Delta_i \quad (8-43)$$

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_{ZH} + \Delta x_{ZH-P_i} \\ y_i &= y_{ZH} + \Delta y_{ZH-P_i} \end{aligned} \right\} \quad (8-44)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{ZH-P_i} &= c \cos \alpha_{ZH-P_i} \\ \Delta y_{ZH-P_i} &= c \sin \alpha_{ZH-P_i} \end{aligned} \right\} \quad (8-45)$$

第九章 公路纵横断面的测设

第一节 概 述

路线纵断面测量,又称路线水准测量,它分为基平测量和中平测量。基平测量是沿路线前进方向布设水准基点,并根据国家水准点测设其高程,为建立沿线高程控制提供依据。中平测量主要是测定沿线中桩的地面高程,绘制路线纵断面图,计算各桩号的中心填挖高度,以确定路线在竖直面位置。横断面测量,是测定沿中桩两侧垂直于路线中线一定范围内的地面高程,绘制各桩号的横断面图,供路基设计、土石方数量计算和施工放样边桩用。

由于地形、地物、地质、水文等因素的影响,公路路线在平面上不可能从起点至终点都是直线,在纵断面上也不可能从起点至终点都是一条水平线,而是有起伏变化的空间曲线。纵断面设计就是根据汽车的动力性能、公路的等级和交通组成,结合当地气候、土质、地质条件、水文、排水要求和工程数量等,来研究这条空间线形的起伏布置,它是公路设计的重要内容之一。纵断面设计合理与否,将直接影响行车的安全、工程造价、营运费用和乘客舒适程度等。公路横断面设计,是根据行车对公路的要求,结合当地的地形、地质、气候和水文等自然因素,确定横断面的型式、各部分位置和尺寸,它包括路面、路肩、边沟、边坡、挡土墙和中间分隔带等。设计的目的是既保证路基具有足够的断面尺寸、强度和稳定性,又使之能经济合理,并为路基土石方数量计算、工程概预算、工程施工和养护提供依据。

第二节 纵断面测量

路线纵断面测量分两步进行:先进行基平测量,再进行中平测量。

一、基 平 测 量

沿路线前进方向设置水准基点,建立路线的高程控制,这种测量称为基平测量。基平测量的精度要求较高,一般要求达到国家四等水准测量的精度要求。

1. 设置水准点

沿路线设置水准点,建立高程控制系统,供勘测、施工、竣工验收和养护管理使用,是基平测量的目的。水准点的设置,应根据不同的需要和用途而定,一般分为永久性水准点和临时性水准点两种。路线的起点、终点和需要长期观测高程的重点工程附近,应设置永久性水准点,其构造如图9-1所示。供施工放样、施工检查和竣工验收使用的可敷设临时性水准点。水准点可设在永久性的建筑物上,也可以

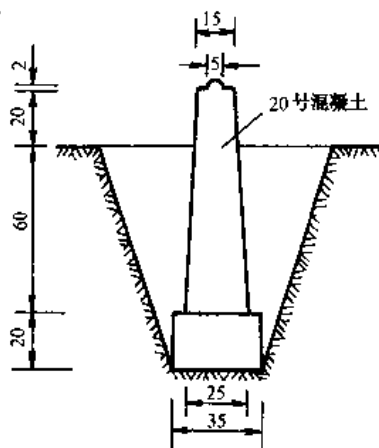


图 9-1

埋设标石,还可以埋设金属标志嵌在基岩上或直接设在基岩上。

水准点的密度,应根据地形的复杂情况和工程需要而定。一般地区永久性水准点应间隔20km 布设一个,临时性的水准点,平原微丘区每隔 1km ~ 2km 布设一个,山岭重丘区每隔0.5 km ~ 1km 布设一个。另外在大桥的两端、隧道的两端、中小桥附近和工程集中地段应设临时水准点。水准点应设在稳固、醒目、便于引测和不易遭受施工破坏的安全地点。

2. 基平测量方法

基平测量,其起始水准点的高程应从附近国家水准点上引测,以获得绝对高程。在沿线基平测量过程中,凡是能与附近国家水准点进行联测的,均应联测,以便于检查其测量的精度。如果附近没有国家水准点或引测有困难时,可根据国家地形图、气压计或以附近大型建筑工程物的高程作为参考,假定其起始水准点的高程。

基平测量,一般采用一台仪器往返测或两台仪器同向测(单程)的方法进行,具体测量方法可参阅第三章。

基平测量的精度,对一台仪器往返测或两台仪器单程测的容许误差值为:

$$f_{h容} = \pm 30 \sqrt{L} \text{mm} \quad (9-1)$$

$$\text{或 } f_{h容} = \pm 8 \sqrt{n} \text{mm} \quad (9-2)$$

对于大桥两岸和隧道两端的水准点,其容许误差值为:

$$f_{h容} = \pm 20 \sqrt{L} \text{mm} \quad (9-3)$$

$$\text{或 } f_{h容} = \pm 6 \sqrt{n} \text{mm} \quad (9-4)$$

式中: L ——水准路线长度,km,适用于平原微丘区。

n ——测站数,适用于山岭重丘区。

基平测量的高差不符值如在限差 $f_{h容}$ 范围之内,可取其两次观测高差的平均值,作为两水准点之间的高差。否则,应重新测量,直到高差不符值在限差 $f_{h容}$ 范围之内为止。

路线基平测量的误差调整计算方法详见第三章。

3. 水准点一览表

在基平测量和计算完毕的基础上,进行误差值调整后,即得出水准测量成果。按水准测量成果等已有资料编制水准点一览表供施工使用,见表 9-1。

水准点一览表

表 9-1

水准点号	水准点标高 (m)	水准点详细位置					备 注
		靠近路线桩	方向	距离(m)	设在何物上	何县何乡何村	
BM ₁	150.368	K0+000	右	25.83	埋设水准点	红旗县杏村	绝对高程
BM ₂	153.417	K0+800	右	28.17	基岩	红旗县大坝村	
BM ₃	160.131	K1+720	左	30.15	埋设水准点	红旗县大坝村	
BM ₄	157.250	K2+500	左	27.16	大树下孤石	梅县光明村	
BM ₅	152.731	K3+350	左	26.05	沟边大石	梅县光明村	
BM ₆	153.689	K3+900	右	25.26	埋设水准点	梅县刘家村	
BM ₇	155.618	K4+520	右	27.18	荒坡孤石	梅县刘家村	
BM ₈	157.426	K5+050	右	28.13	埋设水准点	梅县方家村	桥头

二、中平测量

根据水准点的高程,沿路线将所有中桩进行水准测量,测得其高程,称为中平测量,又称中桩抄平。一般以两个相邻水准点间为一测段,从一个水准点出发,闭合到下一个水准点上。在每一个测站上,除尽可能多观测中桩高程外,还需设置转点,以保证高程的传递。两转点间观测的中桩称为中间点,由于转点起高程的传递作用,观测时应先测转点,后测中间点,转点的读数取至 mm,中间点的读数按四舍五入取至 cm。若视线长度大于 150m,转点的立尺应置于尺垫上,或置于稳固的桩顶及岩石上。中桩抄平的精度要求,其高程误差值应在 $\pm 50\sqrt{L}\text{mm}$ 以内(L 单位为 km),否则需要重新测量。

如图 9-2 所示,中平测量的施测步骤如下:

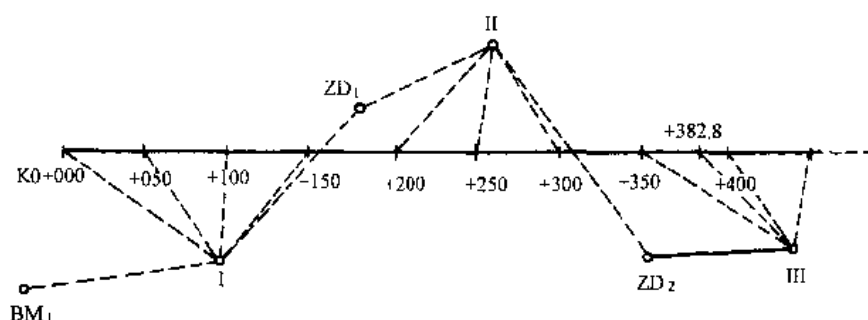


图 9-2

(1) 安置仪器于 I 点,后视 BM_1 ,前视 ZD_1 ,将读数分别记入表 9-2 的 BM_1 后视栏和 ZD_1 的前视栏中。

中桩水准测量记录计算表

表 9-2

测点	水准尺读数(m)			视线高程 (m)	高程 (m)	备 注
	后视	中视	前视			
BM_1	2.018			152.386	150.368	
K0+000		1.31			151.08	
+050		1.08			151.31	
+100		1.12			151.27	
+150		0.98			151.41	
ZD_1	2.613		1.815	153.184	150.571	
+200		0.76			152.42	
+250		0.68			152.50	
+300		0.83			152.35	
ZD_2	1.764		2.016	152.932	151.168	
+350		0.75			152.18	
+382.8		0.96			151.97	
...		...			...	
K0+800		0.86			153.81	中平测量得 BM_2 为 153.428 误差 11mm
BM_2			1.256		153.417	

(2) 观测 BM_1 与 ZD_1 之间的中间点 K0+000、+050、+100、+150,将各点的读数分别记入

表 9-2 的中视栏中。

(3)将水准仪搬至 II 点,后视 ZD_1 ,前视 ZD_2 ,将读数分别记入 ZD_1 的后视栏和 ZD_2 的前视栏内。

(4)观测 ZD_1 和 ZD_2 之间的 $K0+200$ 、 $+250$ 、 $+300$,将读数分别记入各点的中视栏中。

(5)按上述方法和步骤继续向前施测,直至闭合到下一个水准点 BM_2 上。

(6)按前述要求计算各测段闭合差,如不符合精度要求,应返工重测。

(7)中平测量计算公式如下:

仪器视线高 = 已知点高程 + 后视读数

转点高程 = 仪器视线高 - 前视读数

中桩高程 = 仪器视线高 - 中视读数

三、中线跨沟谷测量

当路线经过沟谷时,为了提高施测速度和保证测量精度,减少测站数,一般采用图 9-3 的方式施测,即沟内沟外分开测和上坡下坡合并测。

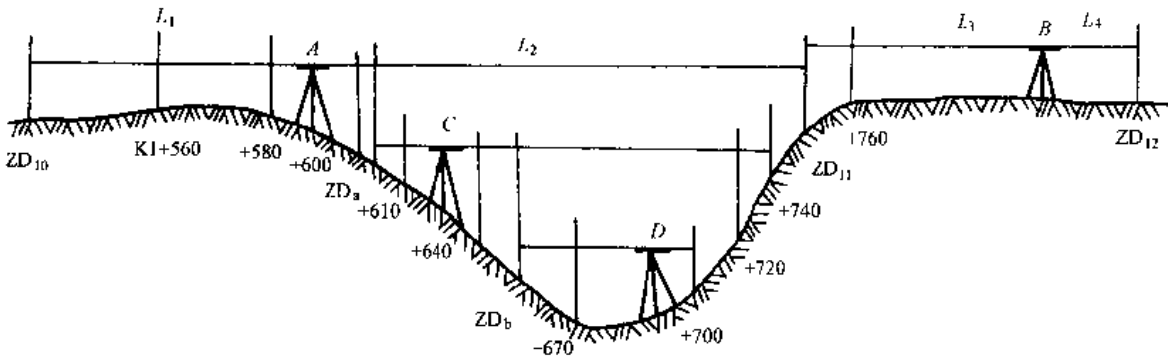


图 9-3

当仪器置于 A 站时,应先观测后视 ZD_{10} ,再同时观测沟谷两边的前视 ZD_a 和 ZD_{11} ,最后观测 ZD_{10} 至 ZD_a 之间的中桩高程,如 $K1+560$ 、 $+580$ 、 $+600$ 。 ZD_a 用于沟内测量时的高程传递, ZD_{11} 用于沟外测量时的高程传递,两者是各自独立的,切莫混为一谈。为了减少因仪器的水准管轴与视准轴不平行所引起的误差,仪器在 A、B 两站时,应尽可能使 $L_1 = L_2$, $L_3 = L_4$ 。

沟内观测时,在左坡设立测站,兼测右坡桩号,减少观测次数。如图 9-3,仪器置于 C 站,后视 ZD_a ,观测左坡中桩 $K1+610$ 、 $+640$ 和 ZD_b ,再兼测右坡中桩 $K1+720$ 、 $+740$ 。仪器置于 D 站时,后视 ZD_b 再观测 $K1+670$ 、 $+700$ 等中桩。按此方法将沟内中桩高程测完。

利用跨沟法进行施测时,沟内沟外记录计算必须分开,并附加说明,以便于资料的计算和查阅,避免造成错误和混乱。

第三节 纵断面图的绘制

一、概 述

路线纵断面图包括图样和资料两大部分。纵断面图的上部分内容表示图样,下部分内容表示资料。资料表格的式样较多,有繁有简,但作用是相同的。如图 9-4 是某山区一条一级公

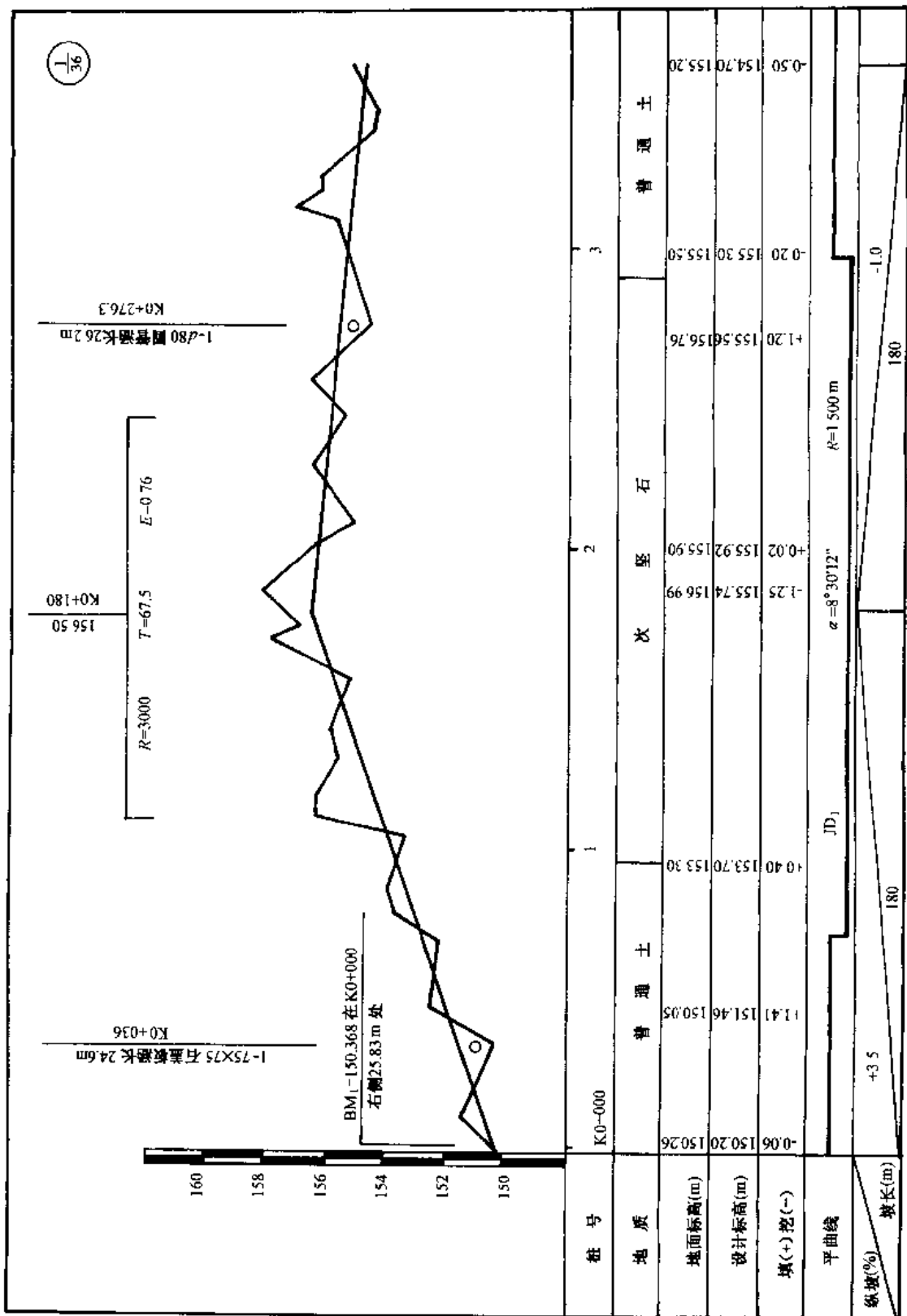


图 9-4

路的一段路线纵断面图,其里程桩号从 $K0+000$ 开始到 $K0+360$ 为止,全长 360m 。其包括以下内容。

1. 图样

路线纵断面图是用直角坐标表示的,其横坐标表示路线长度,比例尺在平原微丘区采用 $1:5000$,山岭重丘区采用 $1:2000$;纵坐标表示地面实际高程和设计路基边缘的标高,比例尺在平原微丘区采用 $1:500$,山岭重丘区采用 $1:200$ 。一般应在第一张图纸的右上方标注出比例尺,并采用分式表示图纸编号,分母表示图纸的总张数,分子表示本张图纸的编号。如 $\frac{1}{36}$ 则表示图纸总共有 36 张,本张图纸的序号为第 1 张。图样部分有设计坡度线、地面线、竖曲线、桥涵构造物和水准点等。

2. 资料

资料包括地质、纵坡与坡长、设计标高、地面高程、中桩填挖值、里程桩号和平曲线的资料等。

二、纵断面图的绘制

1. 表格的绘制

表格的绘制种类较多,一般都是根据设计和施工的需要,按下列要求绘制:

(1)里程桩号:按中线测量的里程桩号填入表内,一般应选择有代表性的里程桩号(如公里桩、百米桩、桥头和涵洞等)填写。为了反映地面线的实际情况,点绘地面线时应将所有中桩的高程点绘在相应的位置,不能省略,横断面设计时可查阅水准测量记录簿上的计算资料。

(2)地质说明:标出沿线的地质情况,为设计和施工提供资料。

(3)标高:分地面高程和设计高程。地面高程按水平测量资料标注,设计高程是根据坡度、坡长和转坡点高程等计算的,单位均为 m 。

(4)平曲线:平曲线栏是路线平面示意图,直线段用水平线表示,曲线部分用上凸或下凹的图形表示。如图 9-4 中的  表示 1 号转角点沿路线前进方向向右转弯,转角为 $8^{\circ}30'12''$,平曲线半径为 1500m 。

(5)坡度和坡长:是指设计线的纵向长度和坡度。在表格内沿对角线用分数表示,分母表示纵向水平距离,以 m 为单位;分子表示其坡度值,用百分数表示。如图 9-4 中第一个分格内的 $+3.5/180$,表示顺路线前进方向上坡,坡长 180m ,坡度为 3.5% 。

2. 地面线的点绘

图上不规则的折线称为地面线,它是设计的路线中心处原地面上一系列中心桩高程的连线。把水准测量所得各桩高程按铅垂方向用 $1:200$ 的比例,点绘在相应的里程桩上,然后依次把各点用直线连接起来,即得地面线。

3. 设计填挖高度

设计填挖高度又称为中桩填挖值,它是根据设计高程和地面高程推算出来的。即设计标高 - 地面标高 = 填(+)或挖(-)值,单位均为 m 。

4. 标注资料

(1)竖曲线符号:用  表示凸形竖曲线,用  表示凹形竖曲线。如图 9-4 中的 $K0+180$ 桩号表示凸形竖曲线,半径 R 为 3000m ,切线长 T 为 67.5m ,外距 E 为 0.76m 。

(2)桥涵构造物:当路线上有桥涵时,在设计线上方桥涵的中心位置标出其名称、种类、孔

径大小及桩号,并用符号“○”表示。如图 9-4 中在里程桩为 K0+036 处设有一座单孔石盖板涵,断面尺寸为 75cm×75cm,长度为 24.6m。新建的大、中桥桥址处还应标出水位高程。

(3)水准点:沿线设置的水准点,应在所在的里程位置上标出,同时还应标出其编号、高程和路线的相应位置。如图 9-4 所示,在里程桩为 K0+000 的右侧 25.83m 处设有第 1 号水准点 BM₁,高程为 150.368m。

第四节 横断面测量

横断面测量,就是测定中桩两侧正交于中线方向地面变坡点之间的距离和高差,并绘制成横断面图,供路基、边坡、特殊构造物的设计、土石方计算和施工放样用。设计路基横断面和布置构造物是否符合实际情况,土石方数量是否准确,都和横断面测量的精度有关。因此,对横断面测量要保证有足够的精度,切不可马虎从事。横断面测量的宽度,应根据填挖高度、边坡大小及有关工程的特殊要求而定,一般自中线向两侧各施测 20m~50m。

横断面测量包括横断面方向的确定、横断面测量和绘制横断面图。

一、横断面方向的测定

1. 直线上横断面方向的测定

直线上横断面方向应该和路线中线垂直,其方向可用方向架测定。如图 9-5 所示,将方向架置于公路中线某中桩点上,用其中一方向瞄准点的前方或后方一中桩点,则方向架的另一方向即为该测点的横断面方向。

2. 圆曲线上横断面方向的测定

在圆曲线地段,横断面方向应和测点的切线方向垂直,可用求心方向架测定。如图 9-6 所示,求心方向架是在十字方向架上安装一根可旋转的定向杆 ef ,并加有固定螺旋,其使用方法如图 9-7 所示,将方向架置于曲线起点 A 上,当 ab 方向对准交点或直线上的中桩时,则另一方向 cd 即为 A 点的横断面方向。为了测定 P_1 点的横断面方向,这时转动定向杆 ef 对准圆曲线上的 P_1 点,拧紧固定螺旋,使 ef 固定,将方向架移至 P_1 点,用 cd 对准 A 点,则定向杆 ef 的方向即为 P_1 点的横断面方向。由图 9-7 中所示可知,设 PP_1 为过 P_1 点的切线,根据同弧段的两弦切角相等原理,证明如下:

$$\because \angle PAf = \angle PP_1d = \angle bP_1f$$

$$\text{而 } \angle bP_1d = 90^\circ,$$

$$\therefore \angle bP_1d - \angle bP_1f + \angle PP_1d = 90^\circ$$

又 $\because PP_1$ 是 P_1 点的切线,故 ef 所指的方向垂直于 P_1 点的切线 PP_1 ,即 ef 为 P_1 点的横断面方向。

在 P_1 点的横断面方向定出之后,为了测定下一点 P_2 的横断面方向,在 P_1 点上以 cd 对准 P_1 点的横断面方向,转动定向杆 ef 对准 P_2 点,拧紧固定螺旋,这时方向架上定出了 P_1P_2 的弦切角,然后将方向架移至 P_2 点,用 cd 对准 P_1 点,定向杆 ef 的方向即为 P_2 点的横断面方向。用同样的方法可测出其它各点的横断面方向。

3. 缓和曲线上横断面方向的测定

缓和曲线上任意一点的横断面方向,即过该点的曲率圆之圆心的连线方向。只要获得测

点至前视点(或后视点)的偏角,即可确定该点的横断面方向,如图 9-8 所示。

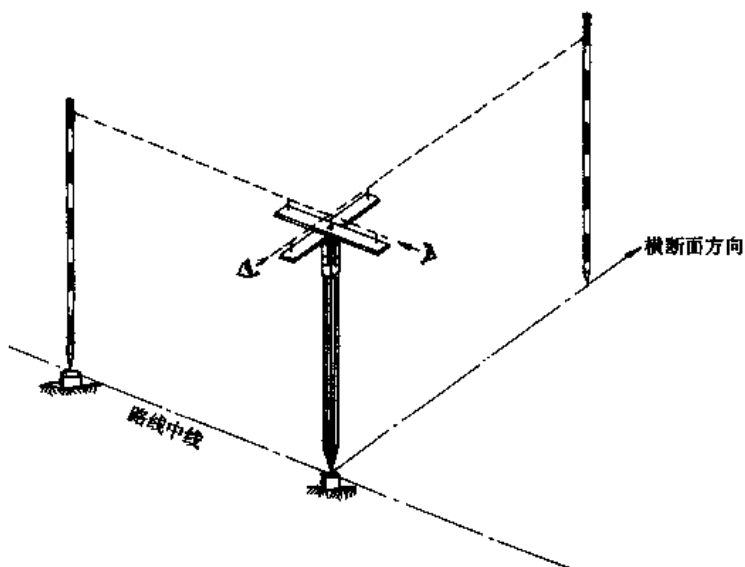


图 9-5

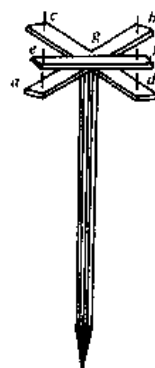


图 9-6

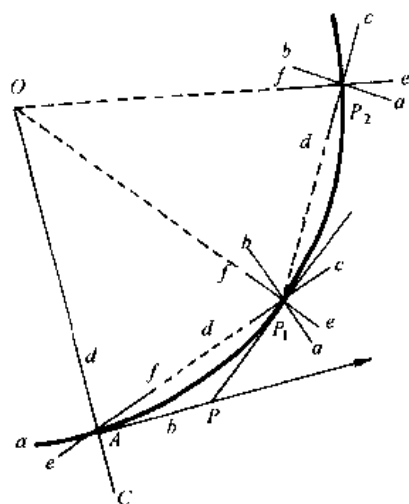


图 9-7

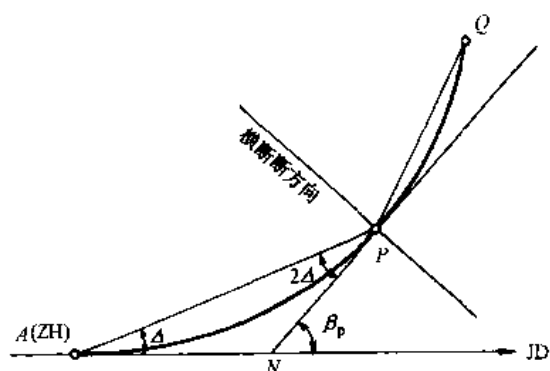


图 9-8

将经纬仪安置于缓和曲线起点 A 上,测出 P 点的偏角 Δ ,再将经纬仪移至 P 点,以 2Δ 的读数瞄准 A 点,然后旋转经纬仪照准部至 90° (或 270°),这时 90° 或 270° 所指的方向即为 P 点的横断面方向。依次法测出其余各点。

上述方法的优点是不用计算,有时为了便于测定,通常使用求心十字架法,如图 9-9 所示,要测定缓和曲线 P_1 点的横断面方向,可先计算出缓和曲线起点 A 至 N_1 点的距离 t_1 ,根据缓和曲线要素公式可知:

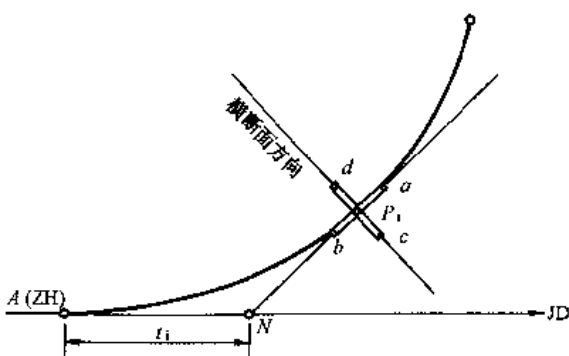


图 9-9

$$t_1 = \frac{2}{3}l + \frac{l^3}{360R^2} \quad (9-5)$$

式中: l ——缓和曲线起点至缓和曲线上任一点的长度, m ;

R ——平曲线半径, m 。

在计算 t_i 时, 若 l 较小, R 较大, 可省略 $\frac{l^3}{360R^2}$ 项, 直接取 $t_i = \frac{2}{3}l$ 。计算出 t_i 后, 从缓和曲线起点沿切线方向量取 t_i 长度得 N_i 点, 将十字架安置在 P_i 点上, 以 ab 指向对准 N_i 点, cd 所指的方向即是 P_i 点的横断面方向。

二、横断面的测量方法

横断面测量方法有多种, 下面介绍常用的几种。

1. 抬杆法

如图 9-10 所示, 抬杆法是用两根花杆测定两变坡点间的水平距离和高差。一根花杆竖立于中桩上, 另一根花杆水平横放着, 使横放的花杆一端在 1 点上, 另一端紧靠竖立的花杆, 于是, 测得两变坡点间的高差和水平距离。用同样的方法, 依次进行测量。待测完一侧后, 再测另一侧。每测量一次, 向记录者或绘图者报一次测量的数据, 同时, 记录者或绘图者应回报一次测量数据, 以免出现差错。

在测量过程中, 要保持横放花杆的水平 and 竖立花杆的铅直。横放的花杆是否水平可由记录者或绘图者在旁边目测来检查, 竖立的花杆由测量者目测确定。

2. 经纬仪视距法

如图 9-11 所示, a 、 b 、 c 为横断面方向上的地形变化点。安置仪器于中桩上, 用视距法测出各地形变化点至中桩的水平距离和高差, 然后绘制成横断面图。经纬仪视距法适用于地形比较困难、路基很宽的高等级公路及山坡陡峻的大型横断面测量。

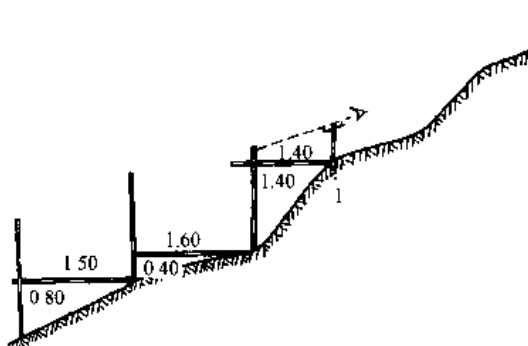


图 9-10

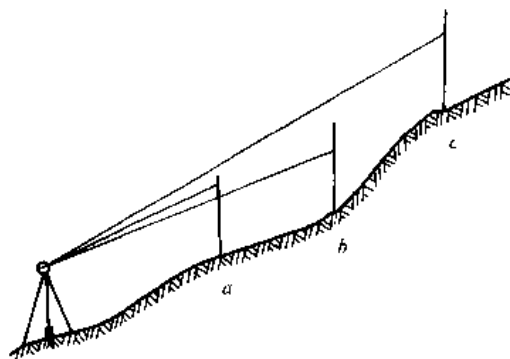


图 9-11

3. 钓鱼法

如图 9-12a) 所示, 测量中桩 A 右侧的横断面, 将花杆一端系上皮尺, 尺的另一头悬一重物, 再标定横断面方向, 即使 AD 在横断面方向上, 由花杆和皮尺长度可求得 AB 之间的水平距离 (AD) 和高差 (DB)。 B 点右侧的横断面可以根据实际地形再进行测量。

如图 9-12b) 所示, 当遇到悬崖地形, 在测量 B 点的同时, 用一根花杆水平横放着, 使一个端

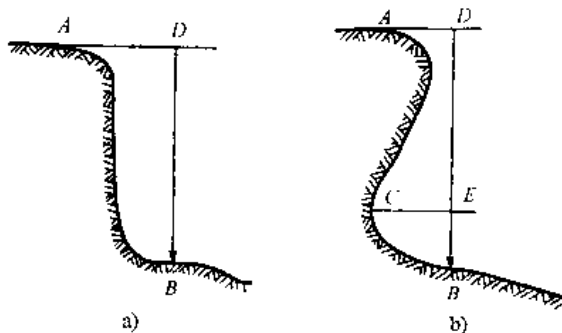


图 9-12

点在 C 点,另一个端点靠住皮尺的 E 点,那么 EB 和 EC 就是 BC 两点间的高差和水平距离。但是记录时一定要详细记录,以免出错。B 点右边可按正常的抬杆法继续进行测量。

三、横断面记录

记录表的格式如表 9-3 所示,表中按路线前进方向分左、右两侧,从下向上依次记录,以分数形式表示各测段的高差和水平距离。分子表示高差,正号为升高,负号为降低,正号可以省略,分母则表示水平距离,单位均为 m。如表 9-3 中的 $\frac{0.5}{5.0}$,表示起点桩号的左侧水平距离为 5.0m,升高 0.5m;起点桩号的右侧为 $\frac{-0.6}{8.2}$,则表示起点桩号的右侧水平距离为 8.2m,降低 0.6 m;平字代表平坡; $\frac{-1.6}{0}$ 则表示垂直降低 1.6m 等。

横断面测量记录表 表 9-3

左侧	桩号	右侧
...	...	...
水塘 $\frac{-1.6}{0}$ $\frac{-0.5}{5.6}$ $\frac{0.6}{7.4}$	+ 100	$\frac{-0.8}{6.4}$ 平 $\frac{0.6}{6.3}$
$\frac{-1.2}{6.2}$ 平 $\frac{0.8}{8.6}$	+ 050	$\frac{-0.6}{7.6}$ 平 $\frac{0.6}{2.0}$
$\frac{-0.5}{8.8}$ $\frac{1.0}{6.2}$ $\frac{0.5}{5.0}$	K0+000	$\frac{-0.6}{8.2}$ $\frac{-0.2}{6.4}$ $\frac{0.8}{5.4}$

四、注 意 事 项

- (1)凡在横断面上的地物都应在图上和记录中标注清楚,如房屋、水田、沟渠等。
- (2)沿河横断面应在图上标注洪水位、常水位和水深。
- (3)选择的测点应能反映地形地质变化分界点。如土石分界、土质变化位置等都应作为测点在图上加以注明。
- (4)当相邻的两个中桩地形变化相差不大,地质情况也相似时,可只测一个横断面,省略不测的,应注明和某桩号是同断面。

第五节 横断面图的绘制

一、比 例 尺

为计算面积的需要,公路横断面的水平距离和高差的比例尺相同,都是 1:200。公路横断面图应绘在方格米厘纸上,方格米厘纸每 1cm 处有一条粗线,每 5cm 处有一条加粗线,便于布置横断面图。

二、绘图方法

在方格米厘纸上适当选择一条纵向粗线为中心,以纵横加粗线相交点为中桩位置,然后根据中桩记录向两侧绘图。绘图前先书写中桩桩号,根据测量时记录的高差和水平距离,将地形点点在图纸上,再用直尺将这些点连接起来,即得地面线。

绘图的规则是:从下到上,从左到右。按中桩顺序号从下向上绘图,绘满第一栏后再绘第二栏。一般在 $40\text{cm} \times 25\text{cm}$ 方格米厘纸上绘 8~12 个横断面图为宜,具体参见图 9-13。

绘制横断面图的工作量很大,为了提高工作效率,往往采取现场边测边绘,这样,不但能省略记录,而且能避免从记录到室内绘图几道工序可能产生的差错。边测边绘是将图纸带到现场,测

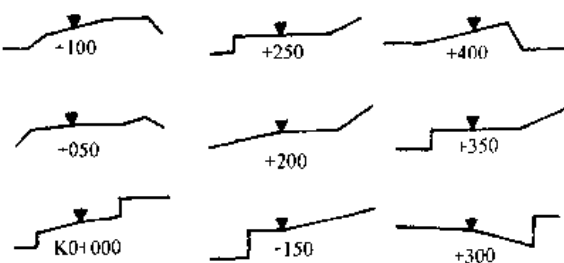


图 9-13

量员把所测得的水平距离和高差报给绘图员,绘图员应及时回报数据,并同时绘制成图。本桩断面绘制完成后,绘图员应及时与现场地形核对,如有不符,立即更正,从而大大地保证了横断面图的准确性。

第六节 纵、横断面设计简介

一、概 述

如图 9-4 所示,在公路路线纵断面图上绘有两条线,一条是地面线,它是根据各中桩点的地面高程而绘出的一条不规则的折线。另一条是设计线,它是根据公路的等级、汽车的爬坡性能、地形条件、路基临界高度、运输成本、工程经济和视觉等方面的要求,通过技术上、经济上、美学上许多方面的比较后确定下来的。

纵断面的设计线是由直线和竖曲线两部分组成。纵坡度 i 表示匀坡路段坡度的大小,它是以上升或下降的高度 h 与水平距离 l 的比值用百分数来量度的,即 $i(\%) = \frac{h}{l} \times 100$ 。纵坡度的大小和长度对汽车行驶的速度、运输的经济及行车的安全影响很大,设计时应充分考虑。

横断面的设计是路线设计的重要组成部分,对山区复杂困难地段,正确合理的路线设计往往要综合考虑平面、纵断面和横断面的要求,经反复比较、调整,才能达到设计目的。

本节将对纵、横断面的设计方法进行简要介绍。纵横断面设计的一般规定与要求在《公路概论》课程中介绍,也可参阅交通部颁《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)和《公路路线设计规范》(JTJ 011—94)。

二、纵断面设计

纵断面设计,应根据公路等级、沿线自然条件和拟建构造物的标高要求,确定路线合适的标高、各坡段的纵坡度和坡长,并设置竖曲线,做到纵断面均匀、平顺。

1. 纵断面线形布置

纵断面线形布置包括:设计标高的控制、设计纵坡度和转坡点位置的确定。

1)设计标高的控制

纵断面上的设计标高即路基设计标高。新建公路的路基设计标高为路基边缘标高,在设置超高加宽地段,为未超高加宽前的路基边缘标高;改建公路的路基设计标高一般采用路线中心标高。

设计标高的控制很重要,它关系到路基的稳定性和工程造价。设计标高的控制,就是看路线走在哪个高度上合适。

在平原地区,地面平坦,河沟纵横交错,地面水源多,地下水位较高,因此,在平原区设计标高主要由保证路基稳定性的最小填土高度所控制。

在丘陵地区,地面有一定的高差,但不很大,路线在纵断面上克服高差不很困难,因此,设计标高的选定,往往以土石方平衡作为考虑的主要因素。

在山岭地区,地形变化大,地面自然坡度大于汽车行驶可能爬上的纵坡。为了保证汽车平顺行驶,就必然产生高填深挖地段。因此,设计标高主要由纵坡度与坡长来控制,同时也要与土石方的经济合理进行比较。

沿河及受水浸淹的路段,为保证路基安全,路基应高出按表 9-4 规定的洪水频率计算的水位 0.5m 以上。

路基设计洪水频率

表 9-4

公路等级	高速公路			一般公路		
	高速公路	一	二	三	四	
设计洪水频率	1/100	1/100	1/50	1/50	1/25	按具体情况确定

设计公路与铁路交叉时,铁路轨道的标高为控制标高。当公路跨越铁路时,桥下净空应按铁路规定执行。当公路从铁路下穿过时,公路路面上的净高一般应大于 5m。

2)各坡段的纵坡设计

各坡段设计线的安排应满足如下要求:

- (1)平原、微丘区的纵坡应均匀平缓,丘陵地形的纵坡,应避免过分迁就地形而起伏过大。
- (2)山岭、重丘区的沿河线,应尽量采用平缓的纵坡,坡长不宜过短,且纵坡不宜大于 6%。
- (3)越岭线的纵坡应力求均匀,尽量不采用极限坡度,更不宜连续采用极限的陡坡夹短距离缓坡的坡型。越岭展线,不应采用反坡。

(4)小桥涵处的路线纵坡,可根据路线要求进行设计;大、中桥上纵坡不宜超过 4%;桥头引道纵坡应按当地具体情况确定,但不宜大于 3%。

3)转坡点位置的确定

转坡点(即变坡点)是两条纵坡设计线的交点,两转坡点之间的距离为坡长。转坡点位置的确定,除考虑坡长限制、缓和坡段和上述纵坡设计有关要求外,为提高行车速度和保证行车安全,使驾驶员得到视觉上和心理上的舒适感,尚应考虑纵断面线形与平面线形的互相配合问题。

当平曲线与竖曲线的距离很近或部分搭接时,应尽可能将平曲线和竖曲线重合,并使平曲线略长于竖曲线,即把竖曲线包在平曲线之内。若在凸形竖曲线的顶点设置小半径平曲线的起点,则当驾驶员来到竖曲线顶点附近时,才能发现平曲线,由于事前没有思想准备而造成严重迷惑现象,车速如果较高,由于反应不及时,可能造成驾驶的失误。

平曲线与竖曲线重合时,还应注意平、竖曲线半径要配合均匀。根据经验,平曲线半径如

果不大于 1 000m,竖曲线半径约为平曲线半径的 10~20 倍较为适宜。

2. 纵断面设计的方法

公路纵断面各路段坡度变化情况,选线人员在现场选线时,结合平面线形作了较详细的考虑,因而纵断面设计(拉坡)一般都由选线人员进行,并由地质、桥涵人员提供设计资料和意见。纵断面设计方法和步骤如下:

1)准备工作

(1)根据已复核的量角、中线、水准等野外测量记录资料,在纵断面图上点绘出里程、桩号、直线与平曲线、地面高程和地面线。

(2)标出桥梁、涵洞、地质、土质等与纵断面设计有关的资料。

2)纵断面设计的步骤

(1)标出控制点:根据选线记录和其它有关资料,在纵断面图上标出沿线各控制点标高。如公路起终点、垭口、桥涵、地质不良地段的最小填土高度、沿河线洪水位、隧道、路线交叉点等位置的要求标高,以及工程艰巨断面的最大填高或最小挖深限度等,均作为控制坡度的依据。

对山岭区路线,除按上述要求标出控制点外,还应考虑各横断面上的经济点,见图 9-14。横断面上的经济点有以下三种情况:

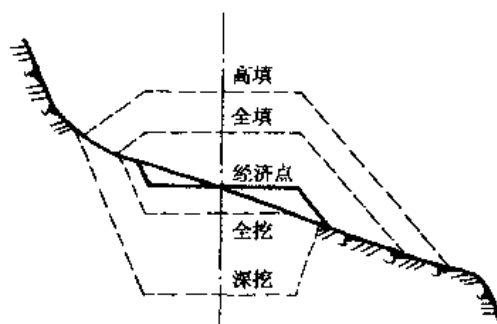


图 9-14

①地面横坡不大的断面上,填挖数量相当的标高是经济点;

②地面横坡较陡,填方不易,则宁可多挖少填,与此相应的标高是经济点;

③在陡坡地段,若修挡土墙费用较高,则可采用全挖断面,与此相应的标高是经济点。

(2)试定纵坡线:根据定线的意图,全面考虑地面线情况及各控制点和经济点的要求试定纵坡。试定纵坡既要以控制点控制,又要满足大多数经济点的要求。同时,在试定纵坡时,应注意不能仅从一头向前走,而要前后照顾,交出转坡点。

(3)调整坡度线:试定纵坡之后,首先将所定的坡度与定线时所考虑的坡度进行比较,两者应基本相符。然后检查纵坡度、坡长、纵坡折减以及与平曲线的配合是否适宜,同时,应注意坡长不要太零碎,一般转坡点设在整 10m 桩上。

调整纵坡的方法,有抬高、降低、延长、缩短坡线和加大、缩小纵坡度等。调整时应以少脱离控制点、少变动填挖为原则,以使调整后的纵坡与试定纵坡基本相符;否则,就会产生出填、挖不合理的现象。

(4)根据横断面进行核对:根据已调整的纵坡,可以从断面格子上直接读得填挖高度,对重要控制点、填挖较大和挡土墙等重要横断面进行检查。若有填方过大、坡脚交不上地面和挡土墙工程过大等情况,则须再次调整纵坡。这对某些复杂地段,如陡峻的山坡线等,尤为必要。

(5)确定纵坡度:纵坡经调整无问题后,即可确定纵坡度。一般用三角板在纵断面图上根据 mm 方格推算出坡度值(取至小数点后一位),并具体确定转坡点标高。

(6)计算设计标高:纵坡确定后,就可进行设计标高的计算。

①计算转坡点的设计标高。第二个转坡点的设计标高等于第一个转坡点(一般为起点)的高程加或减第一坡段中的坡度与坡长的乘积。

②计算各个整桩、加桩的设计标高。将计算的设计标高按桩号填入路基设计表内,见表 9-5。

桩号	平曲线		纵坡 (%) 及坡长 (m)	竖曲线		地面标高 (m)	设计高				填挖高度 (m)		路基宽 (m)		
							未计竖曲线设计高 (m)	改正值 (m)		改正后的设计高 (m)					
	左	右		凸	凹			+	-		填	挖	左	右	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
K5+050	JD ₇ R=500		-3.1 600			163.25				164.68	1.43		10	10	
+100						161.13				163.13	2.00				
+150						161.78				161.58		0.20			
+200						163.26				160.03		3.23			
+250						159.24				158.48		0.76			
+300						158.78				156.93		1.85			
+350						155.36				155.38	0.02				
ZY ₇ +399.29						155.78				153.85		1.93			
+400						156.43				153.83		2.60			
+450						+463 151.89				152.28	0.39				
+500						R=2000 T=57 E=0.81	151.26	150.73	0.34	151.07		0.19			
QZ ₇ +524.11							150.84	150.22	0.70	150.92	0.08				
+550							151.27	150.89	0.18	151.07		0.20			
+600						+577	152.07			152.19	0.12				
YZ ₇ +648.94							152.56			153.46	0.90				
+700							153.28			154.79	1.51				
+750							156.93			156.09		0.84			
+800							157.24			157.39	0.15				
+850							158.86			158.69		0.17			
+900							159.81			159.99	0.18		10	10	

设计表

表 9-5

路边及中桩与 设计高之高差 (m)			施工时 中桩 (m)		边 坡 (1:m)		护 坡 道				边 沟				坡脚坡口 至 中桩距离 (m)		备注		
							护坡道宽 (m)		边坡 (1:m)		坡度 (%)		形 状	底 宽 (m)				沟 深 (m)	内 坡
左	中桩	右	填	挖	左	右	左	右	左	右	左	右							
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	路拱 横坡 度为 1.5%
0	0.15	0	1.58		1.5														
			2.15		1.5														
				0.05		1.0													
				3.08		1.0													
				0.61		1.0													
				1.70		1.0													
		0	0.17		1.5														
		0.30		1.78		1.0													
				2.45		1.0													
			0.54		1.5														
				0.04		1.0													
			0.23		1.5														
				0.05		1.0													
			0.27		1.5														
		0.30	1.05		1.5														
		0	1.66		1.5														
				0.69		1.0													
			0.30		1.5														
				0.20		1.0													
0	0.15	0	0.33		1.5														

3. 竖曲线设计

汽车驶过纵断面上的转坡点时,受到冲击和颠簸,行车的平顺性遭到破坏,另外在凸形转坡点处还会妨碍驾驶员的视线。因此,在转坡点处应设置竖曲线来缓和。

由于转坡点的不同,竖曲线分成凸形和凹形两种,见图 9-15。由于坡度线的倾角很小,转坡角 ω (以弧度计)可用两坡度线倾角正切的代数差,即坡度差来表示,因此转坡角为: $\omega = i_1 - i_2$ 。对于凸形转坡点, ω 为正值;对于凹形转坡点, ω 为负值。

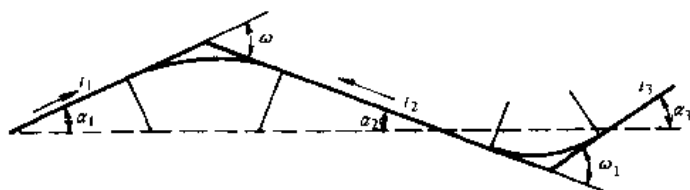


图 9-15

竖曲线的设计,应确定适当的半径,在不过分增加土石方工程数量的情况下,应尽可能选用较大的竖曲线半径。只有在条件受到限制的情况下,才采用《标准》规定的最小半径。

对行车要求来说,竖曲线长度不宜过短,应满足《标准》和《公路路线设计规范》的要求。

关于竖曲线计算,如图 9-16 所示,因转坡角很小,在测设竖曲线时,可将 T 、 E 、 L 、 x 和 y 等各项尺寸视为水平距离与垂直距离。因此,圆形竖曲线各基本要素,可按下列公式求得:

$$\text{曲线长: } L = R\omega = R(i_1 - i_2) \quad (9-6)$$

$$\text{切线长: } T = T_1 = T_2 = R \frac{i_1 - i_2}{2} \quad (9-7)$$

$$\text{外距: } E = \frac{T^2}{2R} \quad (9-8)$$

$$y = \frac{x^2}{2R} \quad (9-9)$$

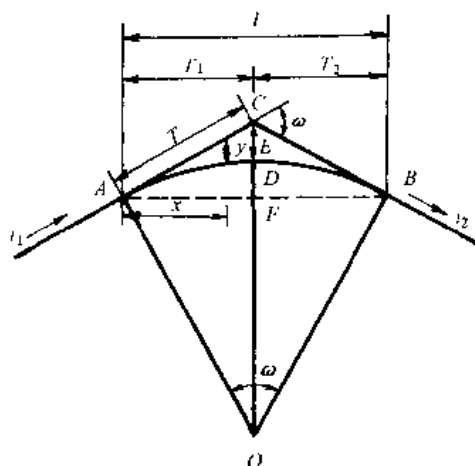


图 9-16

式中: x ——竖曲线上任意一点距竖曲线起点或终点的水平距离, m ;

y ——竖曲线上对应 x 的点距切线的垂直距离, m 。

在设计时,按切线计算出的纵断面设计标高为未计竖曲线时的切线标高,设置竖曲线后,竖曲线所在路段的设计标高应予修正,此修正值为 y 。修正方法如下:

凸形竖曲线:

$$\text{设计标高} = \text{未计竖曲线的切线标高} - y$$

凹形竖曲线:

$$\text{设计标高} = \text{未计竖曲线的切线标高} + y$$

有关竖曲线的计算请参阅表 9-5。

4. 路基设计表

路基设计表系公路设计文件的组成内容之一,它是平、纵、横等主要测设资料的综合。表中所填的所有整桩、加桩的有关纵断面内容的资料及填挖高度、路基宽度(包括加宽)、超高值等,为路基横断面设计所需要的基本数据,也是施工的依据之一。

路基设计表的填法如下:

第 1 栏“桩号”和第 7 栏“地面标高”都是从有关中线测量和水准测量记录簿上抄来的。

第 2、3 栏“平曲线”中,可仅列转角号和半径,供计算加宽和超高用。

第4栏“纵坡及坡长”和第5、6栏“竖曲线”是从纵断面图上抄下来的。转坡点要注明桩号和高程,竖曲线起、讫点的桩号也要注明。

第9、10栏的“改正值”可用公式(9-9)算得,其中 x 值为竖曲线内切线上的某点距竖曲线起点或终点之距离,半径 R 见第5或第6栏。凹形竖曲线改正值用正号,凸形竖曲线改正值用负号。

第8栏的“未计竖曲线设计标高”和第11栏“改正后的设计高”是连续计算的,常用计算机计算。在竖曲线段内,设计标高应为第8栏与第9或第10栏的代数和。

第12、13栏的填、挖为第11栏与第7栏之差,正号是填,负号是挖。

第14~22栏根据公路横断面设计资料(见后面详述)填写。其中第14、15栏为路基宽度,在弯道路段包括路基加宽值;第16、17、18栏为超高值,是根据公路的等级和平曲线半径 R 的大小来确定的;第19、20栏“填”、“挖”为第12、或13栏与第17栏之和,正号是填,负号是挖。

三、横断面设计

横断面设计,是根据行车道部分、中央分隔带和路肩、边沟等所需宽度和当地地形,并考虑影响路基稳定性的土质、地质、气候及水文条件等因素,来确定路基横断面设计线的形状和尺寸。

影响路基强度和稳定的地面水和地下水,必须采取拦截或排出路基以外的措施。设计排水设施时,应保证水流排泄畅通,并结合附近农田排灌,综合考虑。

修筑路基取土和弃土时,应尽量将取土坑、弃土堆平整成可耕地,减少弃土侵占耕地,防止水土流失和淤塞河道。

1. 横断面设计方法

横断面设计,是在纵断面设计完成之后进行的。要使平、纵、横三方面设计的经济、合理,就需要反复核对,多次调整,尤其是在复杂地段,更是如此,横断面设计,是根据纵断面图上的施工高度,考虑当地地形、自然条件,参照路基标准横断面图,在横断地面线上,逐桩绘出路基横断面图(俗称“戴帽子”)。

横断面图包括路基宽度(加宽在内)、超高、边沟、边坡、开挖台阶和视距台等。横断面图的比例尺一般用1:200,其绘制步骤如下:

(1)根据路基设计表或纵断面图的设计成果,在已绘制的横断面地面线图上逐桩标出填(T)或挖(W)的数值、中桩左右路基宽度(包括加宽)和超高(h_c)的数值。

(2)由地质人员根据所调查的资料,标出各断面的覆盖层厚度或土石分界线,设计边坡、土石成分等。

(3)根据上述设计资料,利用横断面“帽子板”或三角尺绘出横断面设计线。

(4)对于平曲线上的横断面,应检查能否保证视距要求,需设置视距台的应在图上绘出。

(5)分别计算并注明每一横断面的“填”、“挖”面积(计算方法在后面详述)。

(6)每一横断面图上应注明的项目有:填挖高度(m)和填挖面积(m^2)等,如图9-17所示。

2. 土石方计算与调配

路基土石方工程是修筑公路的主要工程项目,土石方工程数量也是比选路线设计方案的主要技术经济指标之一。路基土石方的计算与调配,关系着取土及弃土地点、范围以及用地宽度的决定,同时也影响着工程造价、所需劳动力数量和施工期限等。因此,进行土石方计算与调配必须严肃认真,不得马虎。

1) 横断面填挖面积计算

横断面面积计算方法很多,现将公路测设中常用的几种方法介绍如下:

(1) 积距法

此法计算迅速,操作简便,常为公路测设人员广泛采用。如图 9-18 所示,先将填挖面积分为若干个高度 l 相等的三角形或梯形,再量取各三角形、梯形的“平均底宽”的累计值,将累计值乘以高度 l ,即得横断面的总面积:

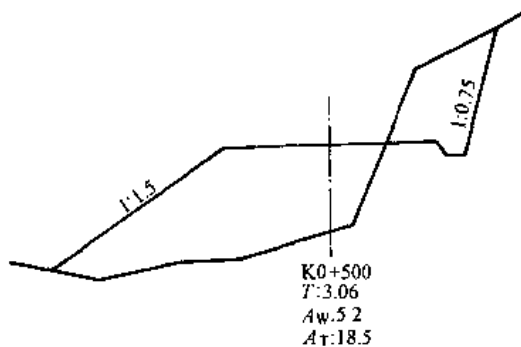


图 9-17

$$A = l \times (ab + cd + ef + gh) = l \times \text{积距} \quad (9-10)$$

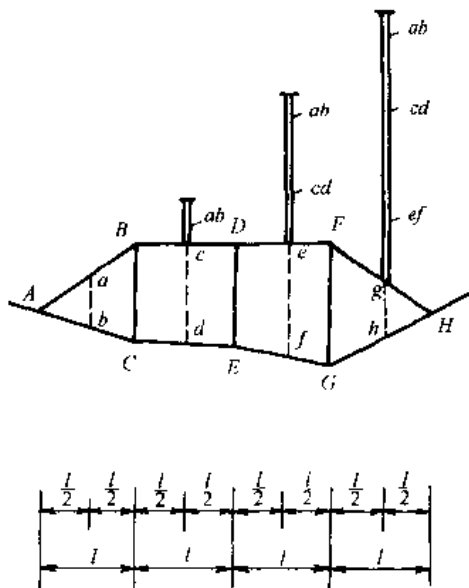


图 9-18

式中: A ——横断面面积, m^2 ;

l ——横断面所分划三角形或梯形的高,通常采用 2m 的等距。

计算方法:先用两脚规量取 ab 长,随即移至 c 点,向上方量距离等于 ab 长固定上端,将在 c 点的一端移至 d 点即得 $ab + cd$ 长。用此法量至 gh ,此时两脚间距离即为积距 $(ab + cd + ef + gh)$ 。最后将积距乘以 l 即为面积。

(2) 混合法

对于面积较大的断面,常将其中间部分划分成一个规则的几何图形,如正方形、矩形或梯形,用简单的几何公式计算其面积,其余部分用积距法量求,两者之和即为断面的面积。

(3) 求积仪法

对于极不规则的较大面积几何图形,用求积仪量面积比较方便,但操作不如积距法简便、迅速,故未广泛采用。

2) 土石方体积计算

路基土石方体积计算,一般采用列表算法,即路基土石方数量计算表,见表 9-6 所示。

此法是假定相邻两断面间为一棱柱体,其高为两断面间的中线长度。棱柱体体积按平均断面法,用下式近似求得,即:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times L \quad (9-11)$$

式中: V ——两相邻断面间的体积, m^3 ;

A_1 、 A_2 ——两相邻断面的面积, m^2 ;

L ——两相邻断面间的中线长度, m 。

填写路基土石方数量计算表时,将断面桩号、填挖面积以及土石成分等资料顺序填入表中相应的各栏,算出相邻断面的平均面积和距离,即可计算各项土石方数量。

路基土石方数量计算表一般每页作一小计,每公里作一合计,以便复核和统计。

路基土石方计算,应扣除大中桥所占路线长度。桥头引道土石方一般应视实际情况全部或部分列入桥梁工程项目中,其余列入路基土石方中,对于涵洞或小桥(跨径大于 10m 者除外)一般不扣除其所占土石方体积。

3) 土石方调配

土石方调配,是使从路堑挖得的土石方合理地移用于填筑路堤,适当地布置取土坑及弃土堆的尺寸及位置,避免不必要的取土坑,减少公路用地,同时使运土工作量最小,搬运方向也最便利。

(1) 一般要求

①土石方调配应尽可能在本桩位内移挖作填(横向运土),从而减少废方和借方。

②经济运距:一般情况下,调运路堑挖方来填筑距离较近的路堤是比较经济的(纵向运土)。如调运的距离过长,以至运价超过了在填方附近借土所需的费用时,移挖作填就不如在路堤附近就地借方经济(横向运土)。因此在某一限度距离内,可以用路堑的挖方作为路堤的填方,超出此限度,宁可将路堑的挖方废弃,另外在填方附近借方。此限度距离称为经济运距,即:

$$\text{经济运距} = S_g + S_p = \frac{B}{T} + S_p \quad (9-12)$$

式中: B ——借方的单价, $\text{元}/\text{m}^3$;

T ——远运运费单价, $\text{元}/\text{m}^3 \cdot \text{km}$;

S_p ——免费运距, km ;

S_g ——经济超运运距, km 。

土方作业包括挖、装、运、卸四项工序,在某一特定距离内,只按方计价,不另计运费,这一特定距离,称为免费运距。运土超出免费运距以外,除按方数计价外,按超运的距离,另行加计运费,超出的距离称为超运运距。

③调配时应综合考虑不同的施工方法、运输条件、施工机械化程度及地形情况等因素,选用合理的经济运距,但在取土或弃土受限制的路段可不考虑经济运距而采用远距离调运。

④路基填方如需路外借土,应根据数量结合附近地形、地质及农田排灌等情况,综合考虑借土还田、整地造田等措施予以调配。

⑤调配时应结合桥位和涵位一起考虑,需照顾到施工方便。一般不作跨沟调运和上坡调运。

⑥不同性质的土方和石方应分别调配。石方除特殊情况外,一般不进行纵向调运。

⑦土石方的运距,可按照《公路工程概预算定额》的有关规定进行计算。

路基土石方数

桩号	横断面积(m ²) (或为半面积)			平均面积 (m ³)			距 离 (m)	挖方分类及数量(m ³)												
								总 数量	土						石					
	填	挖		填	挖				松土	普通土		硬土	软石		次坚石		坚石			
		+	石		土	石				%	数量		%	数量	%	数量	%	数量	%	数量
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
K2+000	46	15.6																		
+050	48	17.2		47	16.4		50	820			80	656			20	164				
涵+086.3	44.6	18.6		46.3	17.9		36.3	650				520				130				
+100	41.2	20.8		42.9	19.7		13.7	270				216				54				
+150	18	20.6		29.6	20.7		50	1 035				828				207				
+200	18	21.9		18	21.3		50	1 065				852				213				
+250	17.2	20.3		17.6	21.1		50	1 055				844				211				
+300	15.4	18.6		16.3	19.5		50	975				780				195				
+350	12.6	16.6		14	17.6		50	880				704				176				
+400	30.4	15.8		21.5	16.7		50	835				668				167				
+450	25.6	15.4		28	15.7		50	785				628				157				
涵+475.6	26.4	14.8		26	15.1		25.6	387				310				77				
+500	27.4	15.6		26.9	15.2		24.4	371				297				74				
+550	26.4	15.4		26.9	15.5		50	775				620				155				
+600	25.6	14.8		26	15.1		50	755				604				151				
+615.6	24.6	12.6		25.1	13.7		15.6	214				171				43				
+650	23.6	12.8		24.1	12.7		34.4	437				350				87				
+673.4	22.8	14.6		23.2	13.7		23.4	320				256				64				
+700	21.8	15.4		22.3	15		26.6	399				319				80				
小计							700	12 028				9623				2405				

量 计 算 表

表 9-6

填 方 数 量 (m³)		利用方数量(m³)及运距(单位)							借方数量 (m³)及 运距(单位)		废方数量 (m³)及 运距(单位)		总 运 量 (m³ 单位)		备 注
		本桩利用		填 缺		挖 余		远运利用纵 向调配示意							
土	石	土	石	土	石	土	石		土	石	土	石	土	石	
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
								± :1200							
2 350		666	164	1530					330 ③				990		1. 30 栏 中的“()”表示 以石代 土; 2. 31 栏 中的分 母数字 为平均 超运运 距单位 数
1 681		520	130	1031					1 031 ③				3 093		
588		216	54	318					318 ③				954		
1 480		828	207	445				石:(340)	105 ③				315		
900		852	48				165								
880		844	36				175								
815		780	35				160								
700		700				4	176	± :4							
1 075		668	167	240											
1 400		628	157	615				石:(336)	515						
666		310	77	279					279 ②				558		
656		297	74	285					285 ②				570		
1 345		620	155	570					570 ③				1 140		
1 300		604	151	545					545 ②				1 090		
392		171	43	178					178 ③				534		
829		350	87	392					392 ③				1 176		
543		256	64	223					223 ③				669		
593		319	80	194					194 ③				582		
18 193		9619	1729	6845		4	676		4 965				11 671		

计算: 复核

(2) 调配方法

用土石方计算表调配土方,是目前生产上常使用的方法,其优点是调配快,同时在精度上也符合一般要求。调配工作是在表 9-6“路基土石方数量计算表”上进行的,其调配方法和步骤如下:

①土石方数量计算、复核完毕后,即可进行调配。但须先将有关桥涵位置、纵坡与大深沟等情况注在纸边,供调配时参考。

②计算本桩利用、填缺与挖余,一般以石作填土时,填入“填土”栏中,并用符号区别开来。随即按土、石分别进行闭合核算,核算式为:

$$\text{填方} = \text{本桩利用} + \text{填缺} \quad (9-13)$$

$$\text{挖方} = \text{本桩利用} + \text{挖余} \quad (9-14)$$

③根据填缺与挖余的分布情况,可以大致看出调运的方向及数量。调配前应根据不同施工方法和各种运输方式确定经济运距。调配的计价运距,就是调运挖方重心到填方重心的距离减去 20m 免费运距后的运距。调方重心可根据土石方分布情况估定。调运后,填方若有不足部分可采用借方,未调用的挖方按废方处理。

④试算符合要求后,将调运方用箭头标示在调配栏中,同时将数量分别填入“远运利用”、“借方”或“废方”各栏里。

⑤调配完成后应分页进行闭合核算,核算公式如下:

$$\text{远运利用} + \text{借方} = \text{填缺} \quad (9-15)$$

$$\text{远运利用} + \text{废方} = \text{挖余} \quad (9-16)$$

⑥每公里合计,总的闭合核算式为(土、石分别计算):

$$\text{挖方} + \text{借方} = \text{填方} + \text{废方} \quad (9-17)$$

⑦调配一般在本公里范围内进行,必要时亦可跨公里调配,但必须将数量及方向分别注明,以免混淆。

⑧按页及公里分别核算无误后,即可计算运量,并合计公里运量。

每公里土石方计算与调配完成后,还需汇总列入“路基每公里土石方数量表”,并进行总计与核算,即完成全部土石方计算工作。

第十章 施工测量放样

第一节 概 述

在公路工程设计中,确定了路线的中心位置、桥涵的中心位置和结构物的各部分尺寸。在公路工程施工阶段,必须通过测量手段,将工程结构物的中心位置和各部分尺寸按照一定的精度要求标定到地面上,这个过程称之为施工放样,具体确定下来的点称放样点,如路线的放线,桥涵的放样等。施工放样是通过公路施工测量来完成的,有时把施工测量过程称为施工放样。

放样是根据已知数据,通过反复测量来完成的,并且有一定的精度要求,放样的过程实际上是个测量过程。放样测量与普通测量有相同之处,也有不同之处。普通测量是通过测量工作来确定待定测点(线)与已知点(线)的数据关系。而放样测量是在已知点(线)的数据关系的情况下,通过测量工作来确定待定放样点(线)的位置。简单地说,测量是已知点(线)的位置求它们的数据关系,放样是已知点(线)的数据关系,确定它们的位置。测量与放样实际上是测量过程互逆关系,但它们都是通过测量手段来完成的。

放样的基本任务是确定点的空间位置,根据放样点(线)与已知点(线)之间关系数据类型不同,放样的基本类型有很多,有已知距离放样、已知角度放样和已知高差(程)放样,放样的测量工具有钢尺、经纬仪、水准仪、测距仪、全站仪、GPS等。

第二节 放样的基本工作

一、距离放样

已知放样点与已知点的距离,确定放样点的位置,称距离放样。距离放样的主要工具有钢尺、经纬仪、测距仪等。下面仅对钢尺放样加以说明,其它工具大同小异。根据对放样精度要求的不同,距离放样有两种方法,一般距离放样和精确距离放样。

1. 一般距离放样

当放样点与已知点距离不足一尺段时,由已知点出发,沿量距方向拉平钢尺,测量出放样距离,在该距离数字处标出点位,该点位即为放样点位。若放样距离大于一尺段,则先进行直线定向,然后分尺段测出放样距离即可。该方法适用精度要求较低的距离放样。

2. 精确距离放样

先按一般距离放样方法放样,并埋设标志桩,该桩位置称初步放样点,然后再按钢尺精密量距方法测量初步放样点与起始点间的精确距离,求出该精确距离与已知放样距离之差,再根据该差值按精密距离测量方法确定出放样点的精确点位,此时应注意该差值放样方向。

二、角度放样

已知放样线与起始方向线的夹角,确定放样边的具体位置,称角度放样。其放样工具有经纬仪等。

1. 一般角度放样

如图 10-1 所示,已知角的起始方向 OA ,欲放出与之水平夹角为 α 的方向边 OB 。置经纬仪于 O 点,后视点 A ,盘左盘右各拨出已知夹角 α ,定出两个方向线 OB_1 、 OB_2 (由于误差的存在,盘左盘右两次放样可能不重合),取 B_1 、 B_2 之中点 B ,确定出放样边位置 OB 。

2. 精确角度放样

当放样边精度要求高时,可先按一般角度放样方法放出放样边 OB_1 ,如图 10-2,然后根据放样精度要求,选用多测回测出放样角度 $\angle B_1OA$ 的实际值 α' ,求出放样角度 α 值与实际值 α' 之差 $\Delta\alpha = \alpha - \alpha'$,如果 $\Delta\alpha$ 满足精度要求,说明一般角度放样达到精度要求。否则,应按正切法再精确放出 $\Delta\alpha$ 角值,定出放样边的精确位置 OB ,此时应注意 B 的方向不要放反。

$$BB_1 = \Delta\alpha OB / 206265$$

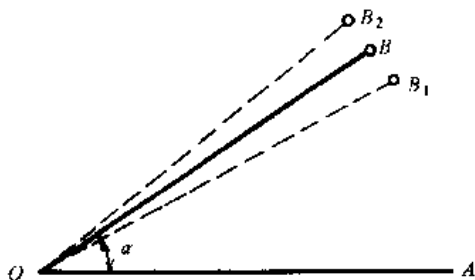


图 10-1

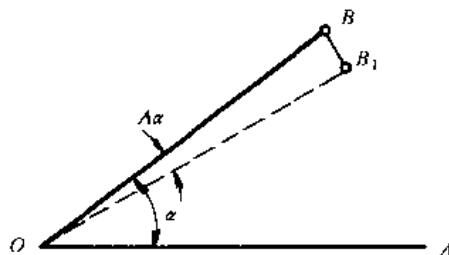


图 10-2

三、高程放样

已知放样点的高程数据,根据已知水准点将放样点的位置确定下来,称高程放样。放样工具主要为水准仪。在图 10-3 中, A 为已知点,其高程为 H_A ,放样点 B 的高程为 H_B , A 点的水准尺读数为 a ,放样点 B 的水准尺读数 b 按下式计算:

$$b = (H_A + a) - H_B$$

此时,在点 B 处钉一较长木桩,使水准尺垂直水准面,且侧面与木桩侧面相贴,上下移动水准尺,直到其读数为 b 时,在尺底面与木桩侧面相交处划一标线,该线位即为高程放样线位。

在施工测量中,常需要放坡度线,可先将坡度放样转换成一定距离两点的高程放样,分别放出两点的高程,即形成一定的坡度线 AB ,如图 10-4。

$$i = \Delta h / L = (H_B - H_A) / L$$

如果放样点与已知点的高差特别大,超过水准尺长度时,如基坑放样,可用悬垂长钢尺代替水准尺进行高程放样,如图 10-5。

四、平面点位放样

已知平面上点的相关数据,确定其点的具体位置,称平面点位放样。由于平面上已知点

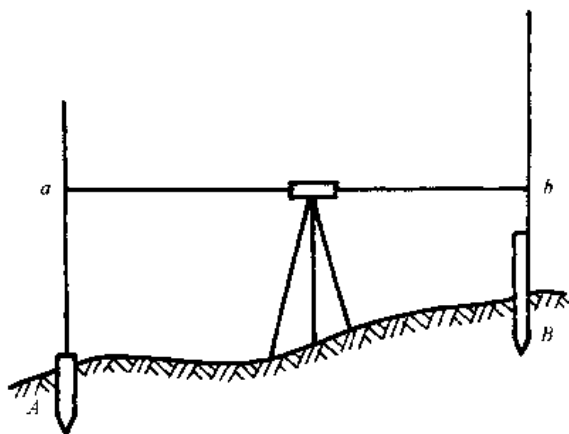


图 10-3

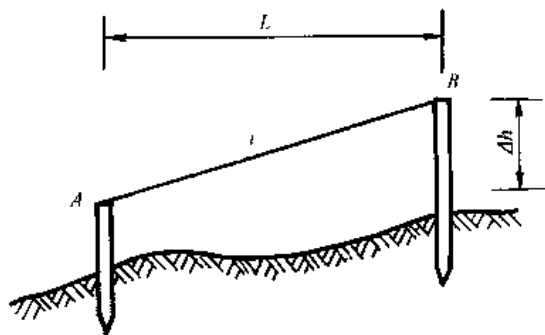


图 10-4

的相关数据类型不同,有不同的平面点位放样方法。平面点位放样实际上是距离放样和角度放样的组合。

1. 直角坐标法

已知点的平面直角坐标数据,即可按距离放样的方法,在两个相互垂直方向上按坐标数据确定出放样点的位置,这种点位放样方法称为直角坐标法。在公路中线测量中,圆曲线测设的直角坐标放样,即为直角坐标法。

2. 极坐标法

已知点的平面极坐标数据,先按角度放样方法,确定出极径方向,再按距离放样的方法,确定出极径的长度,最后确定出放样点位,这种点位放样方法称为极坐标法。如图 10-6,已知基线 AB 的方向,放样点 C 距 A 点的距离及直线 AC 与基线 AB 的夹角 α ,确定 C 点位置,即可按极坐标方法放样。置经纬仪于 A 点,先按角度放样方法放出 α 的方向 AF ,然后按距离放样方法沿极径方向定出 C 点。

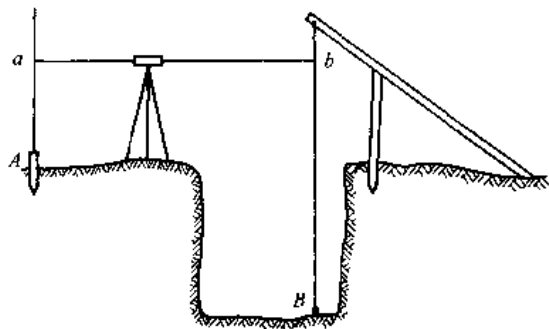


图 10-5

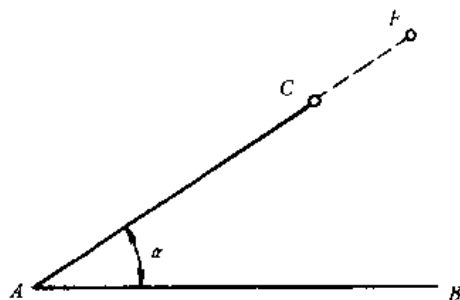


图 10-6

3. 距离交汇法

已知放样点与两已知控制点的距离,确定其点的位置,称距离交汇法。如图 10-7,分别以两已知点 A 和 B 为圆心,按照各自的距离为半径,画出两个圆弧,其交点 C 即为放样点。

4. 角度交汇法

当放样点与控制点距离过远或中间有障碍不便于用各类坐标放样时,通过计算,可将点位已知数据转化成角度数据,按角度放样方法放出两方向线,其交点即为放样点位,该方法称角度交汇法,如图 10-8。其数据转换过程如下:

$$\alpha_{AP} = \lg^{-1}((y_P - y_A)/(x_P - x_A))$$

$$\alpha_{BP} = \lg^{-1}((y_P - y_B)/(x_P - x_B))$$

$$\alpha_{AB} = \lg^{-1}((y_B - y_A)/(x_B - x_A))$$

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

$$\beta_B = \alpha_{BP} - \alpha_{BA}$$

置经纬仪于 A 点,以 AB 为方向线,放出角 β_A 的另一边方向线 AE。同理,放出角 β_B 的另一边方向线 BF,其交点为 P,则 P 点为放样点。

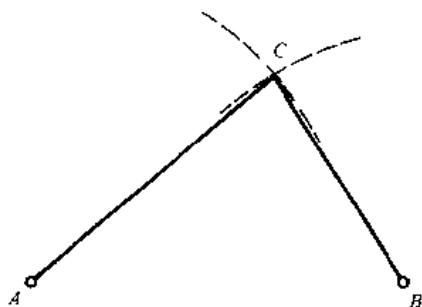


图 10-7

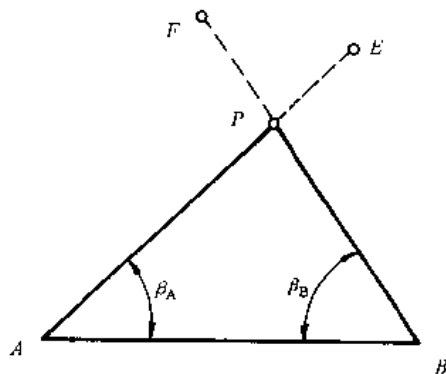


图 10-8

以上几种点位放样方法通过数据计算可以相互转换,当一种放样方法遇到障碍时,或不便放样时,可以转化成另一种放样方法。如交汇法就是由坐标法转化而成,直角坐标法也可转换成极坐标法等。

第三节 全站仪放样方法

上节讲的平面点位放样方法是基于放样点与已知点位的距离或角度,或者知道放样点的两坐标轴的具体位置。如果放样点的数据是大地坐标,我们就无法按一般点位坐标方法放样,因为无法找到大地坐标系的坐标轴,只能以导线点为基础,通过计算与已知导线点的距离和与已知导线的夹角,然后按极坐标方法进行放样。如果利用全站仪来放样,就不用这一计算过程。只要有二个已知点,利用全站仪的定向功能,先确定大地坐标的北方向,此时旋转全站仪使其水平角显示数为零,望远镜视准轴指向大地坐标北方向,然后利用全站仪放样程序即可直接放样,省去了反复计算过程和长距离放样的麻烦,详细放样方法见第十一章。

第四节 路线施工测量

路线施工测量是按照路线勘测设计文件中的要求,将路线整体位置具体落实到地面上,以便施工人员按照设计的位置与尺寸进行施工。路线施工测量主要包括路线中线放样、路基边桩放样、路基边坡放样、路线各点的高程放样。所有放样工作就是点位的放样,以点穿线,以线定面,最后完成路线立体放样工作。总的来说,是以点位基本放样方法为基础。

一、恢复路线中线

将设计文件所确定的道路中线具体落实到地面上,对于低等级公路,其中心工作就是将各交点在地面上的位置确定下来,首先利用点的基本放样方法将各交点位置确定下来,然后用路线中线测量的基本方法将路线中桩逐一放样即可。对于高等级公路,可利用全站仪放样功能,根据中桩的坐标直接放样。

二、路基边桩的放样

在路线中心确定下来以后,路基施工之前,我们要把路基轮廓在地面上确定下来,具体定出坡脚或坡顶指示桩,以便路基的开挖或填筑,常用放样方法有两种。

1. 利用横断面图放样

在路基横断面图上量出坡顶或坡脚与路中线之间的数据关系,然后实地用皮尺将其各点放到地面上,钉上指示桩。

2. 利用公式计算

根据路基宽度、填土高度、边坡度计算出坡顶或坡脚与路中线之间的数据关系,如图 10-9。

$$x = yi \quad (10-1)$$

$$x^2 + y^2 = L_{\text{下}}^2 \quad (10-2)$$

得:
$$y = L_{\text{下}} / \sqrt{1 + i^2} \quad (10-3)$$

$$x = iL_{\text{下}} / \sqrt{1 + i^2} \quad (10-4)$$

又
$$1/m = (H + x)/(y - B/2)$$

得:
$$L_{\text{下}} = (mH + B/2)\sqrt{1 + i^2}/(1 - im) \quad (10-5)$$

同理可得:
$$L_{\text{上}} = (mH + B/2)/\sqrt{1 + i^2}/(1 + im) \quad (10-6)$$

对于路堑(如图 10-10):

$$L_{\text{上}} = (mH + B/2)\sqrt{1 + i^2}/(1 - im) \quad (10-7)$$

$$L_{\text{下}} = (mH + B/2)\sqrt{1 + i^2}/(1 + im) \quad (10-8)$$

式中: B ——路基宽度(对于路堑加两侧边沟上口宽度);

H ——路基填挖值;

m ——路堤或路堑边坡坡度;

i ——横断面地面坡度;

x ——路中线地面点至坡脚的铅垂距离;

y ——坡脚至路中线的水平距离。

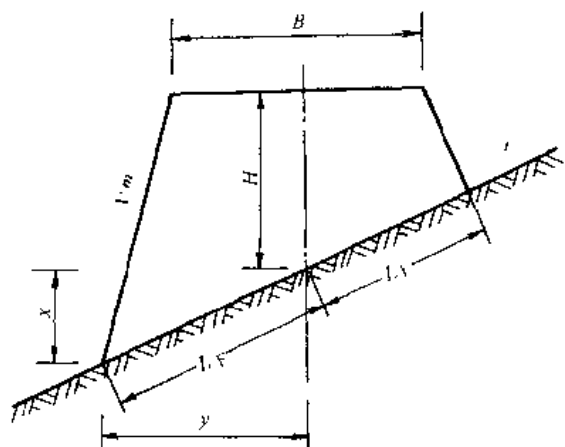


图 10-9

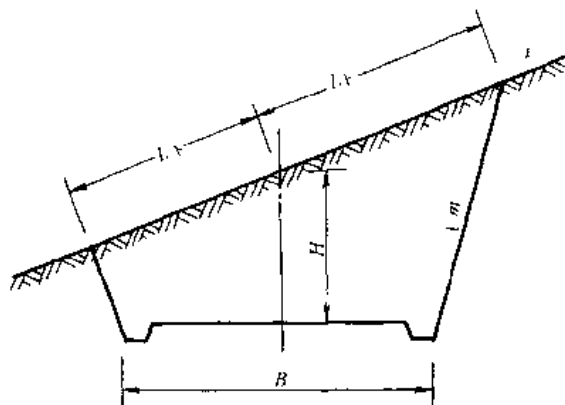


图 10-10

上述方法须知放样处横断面的地面横坡度 i , 具体坡度值可凭经验判断, 也可利用水准等简单工具测量。

三、边坡度放样

在路基填筑与路基开挖过程中, 要对边坡的坡度进行控制, 其基本方法有:

1. 麻绳竹杆放边坡

当路基不高, 工程较小时适用, 对于大型机械化施工的工程不适用, 妨碍车辆运输, 如图 10-11。

2. 用坡度尺放样

可事先做好一个坡度尺, 其斜边坡度与路基边坡度相同, 其中一水平边上固定一小水准尺, 将坡度尺斜边放于边坡上, 可根据水准气泡的移动方向判断坡度的大小, 当气泡居中时, 边坡度即满足设计要求, 如图 10-12。

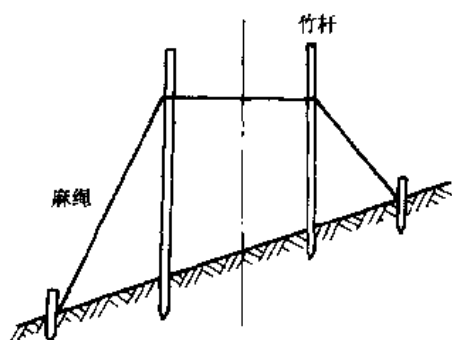


图 10-11

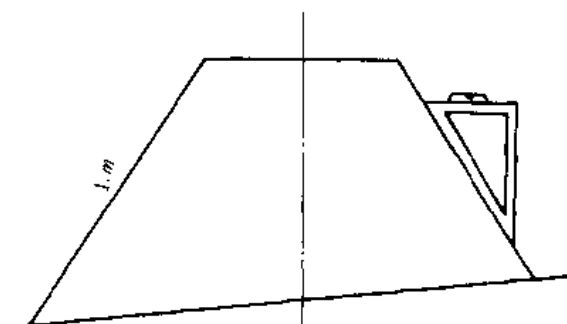


图 10-12

四、路线高程放样

对于路基路面的主要控制点的高程, 要根据设计要求进行严格控制。路线高程放样, 可按点的高程放样方法进行。其主要有路基路面的中心标高控制和路基边缘标高控制, 如图 10-3。

第五节 桥梁施工测量

桥梁施工测量是将桥梁的中轴线正确标定到地面上,并且确定各墩台的中心位置。根据桥梁所在位置的水文情况不同及公路等级的不同,可用如下两种方法测量。

一、直接丈量

桥梁位于浅水河道、干枯河道、水面很窄或水中无桥墩的河中,并且等级较低的公路,桥梁中轴线均可采用直接丈量法测量。

首先,要确定桥梁中轴线的位置,在两岸确定轴线控制桩,并且精确地测量两控制桩之间的水平距离,这一距离称之为桥梁中轴线长度,如图 10-13。当桥梁很长时,从两岸放样,能够保证桥梁各墩台的精确位置,并且便于测量工作。

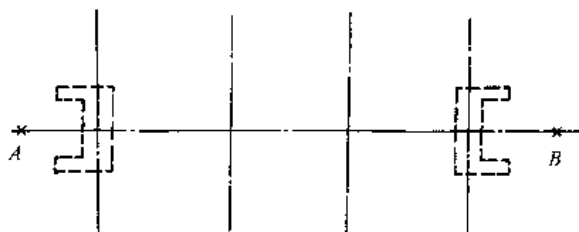


图 10-13

具体测量桥梁中轴线长度,可按钢尺精密量距方法测量,或利用红外线测距仪、全站仪测量。然后根据桥梁各墩台与控制点的距离,从两岸控制点开始按距离放样,标定出各墩台的中心。

二、角度交汇法

对于大中桥施工放样,由于河面较宽、水位深且流速大,如果没有红外线测距仪或全站仪,桥梁中轴线就不能直接测量,可利用桥位三角网进行测量(参考有关资料)。如果有测距仪,利用导线控制测量方法就可测量桥梁中轴线。

1. 桥梁中轴线的测量与计算

利用经纬仪,先确定桥梁轴线的方向,在河岸两侧设定控制点,以桥中轴线为一个边,布设相应的附和导线或闭合导线,如图 10-14。利用测距仪测量导线边长,按照导线控制测量方法,就可计算出桥中轴线控制点坐标及轴线长度。

2. 桥墩中心放样

由于桥墩放样不能按距离直接放样,可通过计算出相应夹角 α_1 、 α_2 ,利用角度交汇法确定桥墩中心位置,如图 10-15。

设 M 为某一桥墩中心位置,桥墩中心 M 到桥轴线控制桩 A 的距离 $AM = L$,基线长度为 d_1 、 d_2 ,角度 θ_1 、 θ_2 在三角网中测定。由点 M 向基线 AC 作垂线 MN ,在三角

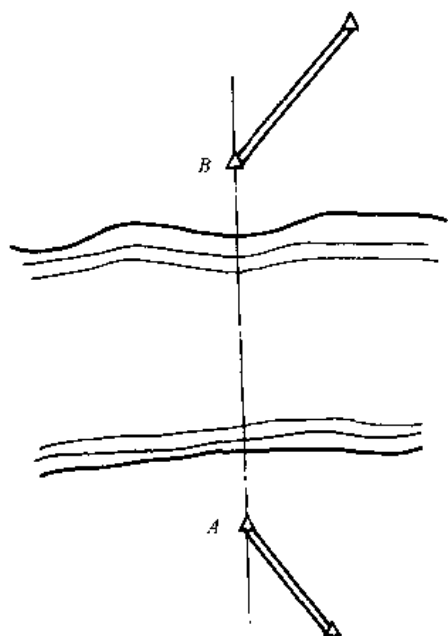


图 10-14

形 MCN 中:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = MN/CN = L \sin \theta_1 / (AC - AN) = L \sin \theta_1 / (d_1 - L \cos \theta_1)$$

$$\alpha_1 = \arctg [L \sin \theta_1 / (d_1 - L \cos \theta_1)]$$

同理可得：

$$\alpha_2 = \arctg[L \sin \theta_2 / (d_2 - L \cos \theta_1)]$$

$$\varphi_1 = \arctg[d_1 \sin \theta_1 / (L - d_1 \cos \theta_1)]$$

$$\varphi_2 = \arctg[d_2 \sin \theta_2 / (L - d_2 \cos \theta_2)]$$

对角度校核：

$$\alpha_1 + \varphi_1 + \theta_1 = 180^\circ$$

$$\alpha_2 + \varphi_2 + \theta_2 = 180^\circ$$

交汇角 α_1, α_2 正确计算出后,经纬仪分别置于 C, D 两点上,分别以 CA, DA 为基线放出 α_1, α_2 角度,其方向线交汇处 M ,即为桥墩中心点。

当桥轴线很长时,桥墩放样可分别从两岸控制点 A, B 开始,向河中心方向逐个墩位放样。

对于高等级公路,桥位利用大地坐标标定,可利用全站仪中的坐标放样程序直接确定桥位,具体测量方法见第十一章。

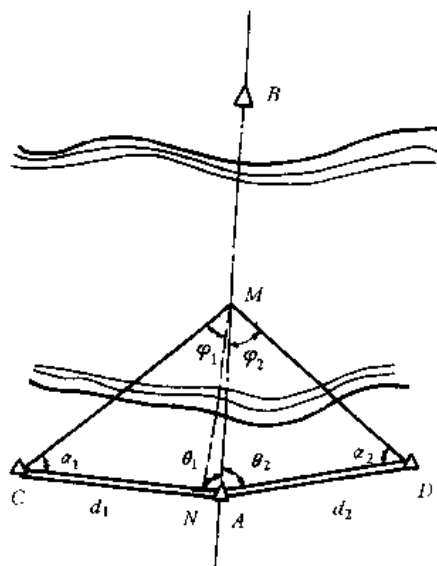


图 10-15

第十一章 光电测量仪器的应用

随着电子计算机技术的不断发展,光学技术与电子技术有机结合成一体,形成新一代光电测量仪器。其功能齐全,仪器本身除具有测量功能外,还具有数据计算功能和数据存储功能,仪器可实现遥控操作,仪器软件程序可后续开发。其中,最有代表性的光电测量仪器是应用最广泛的全站仪。另外,GPS(全球卫星定位系统)是利用电磁波定位,属于电子产品,主要用于控制测量,GPS彻底摆脱了光学系统,其测量技术更现代化。

第一节 GPS 技术简介

GPS 是英文 Global Positioning System 的缩写,它是利用卫星通过无线电磁波定位,可译为全球卫星定位系统。初期主要服务于美国军事方面,现在已形成一个完整系统,并投入商业运作,向全球用户提供完善服务。该系统主要服务于精密大地测量、工程测量、航测、地理信息数据采集、水准测量、专业导航等方面。

完整的 GPS 由三大部分组成:空间卫星系统、卫星地面控制系统、卫星地面接收系统。空间卫星系统由 48 颗卫星(另外还有 4 颗备用卫星)均匀分布于 6 个轨道平面内,组成 GPS 工作星座,以便保证地球上任意点、任意时刻均可同时接收到 4 颗以上的卫星信号,实现全球瞬时定位。卫星可同时发射信号,还可接收地面控制信号。卫星地面控制系统是由全球地面站网组成,通过地面控制信号对空中卫星实行地面控制,通过地面卫星站工作人员对卫星位置与时间等一系列严密控制,以便保证空间卫星系统的正常运行和发射精密卫星信号。卫星地面接收系统主要由 GPS 接收机和软件包组成,完成卫星数据接收和数据处理工作,确定出测站点的三维坐标,最后完成卫星全球定位。

GPS 全球卫星定位系统的定位原理是,把流动的 GPS 卫星当做已知点,进行实时空中后方交会。GPS 接收机能捕获到一定的卫星高度截止角所选择的待测卫星,并能跟踪这些卫星,对所接收的卫星信号进行变换、放大和处理,获得 GPS 信号从卫星到接收天线的传播时间,译出 GPS 信号所发送的导航电文,实时地计算出测站坐标。应该强调的是,GPS 接收机不仅需要较强的机内软件,而且需要一个多功能的 GPS 数据处理软件包。GPS 接收机和软件包的组合才是完整的 GPS 信号用户设备。

GPS 接收设备是用户设备,它主要包括接收机、天线和终端,如图 11-1 所示。其它设备还有无线电台、测弯尺、基座、仪器台、连接器、挂钩、电缆、无线电天线杆及系统配件。接收机外形是一个体积不大的小盒子,可外接天线和终端,它主要完成 GPS 信号的接收和处理;终端一般为手持式,上面有一个显示屏和各种功能键,主要用来显示输入输出数据,实现人机对话。它们是接收系统的主要设备。

目前,GPS 接收机生产厂家很多,大约有十几个生产厂家,有 200 种用途广泛的 GPS 信号接收机。我国也能生产各种型号的导航 GPS



图 11-1

信号接收机。GPS 信号接收机类型很多,按载体方式分,有车载式、手持式和最近研制出的手表式;按发射频率分,有单频和双频;按电文形式分,有 A/C 码和 P 码的。随着电子技术的不断发展,GPS 测量精度也不断提高,最高精度现已经达到 $3\text{mm} + 0.5\text{ppm}$ 。目前,在公路系统中应用较广泛的有,瑞士徕卡(Leica)公司 GPS200、GPS300、GPS350 和 GPS530,德国蔡司(Zeiss)公司的 RS—12、RD—24、RM—24 等型号,美国天宝(Trimble)公司的 Geoexplorer。

GPS 在公路系统中应用也较广泛,在高等级公路勘测的控制测量中,过去采用光学经纬仪和光学水准仪进行测量,由于受视线、视距和气候的影响,测距短,费时,费力,效率极低,现在大部分都用 GPS 进行控制测量。由于 GPS 不受视线和视距的影响,测量效率极高,并能保证测量精度要求。因此,GPS 控制测量在公路勘测和公路施工中有广泛的应用价值。目前,在省级的公路勘测设计部门普遍配有 GPS 接收机。GPS 接收机结合全站仪和电子水准仪形成了一个完整的数字化测量系统。

第二节 TPS 技术简介

TPS 是测速仪(Tachymat)、电子经纬仪(Theodolite)和全站仪(Total station)定位系统(Positioning System)的英文缩写,可简称全站仪定位系统。该系统是全站仪技术和计算机技术合为一体的真正体现。它为用户提供了多种功能和广泛用途的测量程序,是一种方便高效的测量设备。

该系统具有代表性的是全站仪,它是光学经纬仪、电子测距仪与电子计算机有机结合的产物。该仪器能测角、测距和测量高程。一台仪器能够完成三维全部测量元素的测量任务,故名全站仪。该设备能自动记录测量数据,提供数据存储、转换和计算功能,还提供了后续测量程序开发功能。数据通过大屏幕液晶显示器显示,使用户一目了然。键盘以及功能键便于理解和方便输入。通用记录卡、大容量电池和内置应用程序保证所有可提供部件集合一体。

全站仪提供了与电子计算机相连的 RS232 接口,实现了全站仪与计算机数据和程序自由交换,为计算辅助设计(CAD)提供了良好条件。该仪器具有定向与高程传递功能、已知点放样功能和其它功能测量程序。因此,在公路勘测和施工中是不可缺少的测量仪器。全站仪生产厂家很多,有瑞士徕卡(Leica)公司、日本尼康(Nikon)公司、索佳(Sokkia)公司、德国蔡司(Zeiss)公司、瑞典杰创力等。现以徕卡公司的 TC1500 全站仪为例作一简介。

一、全站仪构造及特点

1. TC1500 全站仪的构造

全站仪与普通经纬仪相比较,它在望远镜内部增加了红外线测距装置(EDM),并与望远镜同轴,同时具有测角和测距功能。全站仪内部还装有一台微电脑,完成计算机相应的各种功能,如数据的存储和计算。另外,其测角方式为连续绝对编码度盘,如图 11-2。

2. TC1500 型全站仪的特点

徕卡全站仪与其它全站仪相比有很多特点。

- (1)大屏幕液晶显示;
- (2)有距离综合改正功能,其中包括气象改正、地球曲率改正和大气折光改正;
- (3)数据显示元素多,并可任意设定;
- (4)有错误提示功能;

- (5)应用程序可进行后续开发;
- (6)有电子气泡整平功能;
- (7)用户可根据自己的需要进行重新配置;
- (8)数据管理;
- (9)连续绝对编码度盘。

二、主要技术参数

角度测量标准偏差:2"

最小读数:1"

距离测量(红外线):1/3 棱镜

范围:条件差:1200/1500

一般条件:2500/3500

良好条件:3500/5000

标准偏差:标准方式:2mm + 2ppm

跟踪方式:5mm + 2ppm

快速方式:10mm + 2ppm

三、显示屏与键盘

显示屏与键盘设置如图 11-3 所示,键盘按颜色分 4 个区域。

白色固定键共有 7 个,其功能固定不变,依次为代码键(CODE)、照明键、电子气泡键、其它功能键(aF)、确认键(CONT)、开关键(ON/OFF)和返还键(ESC)。

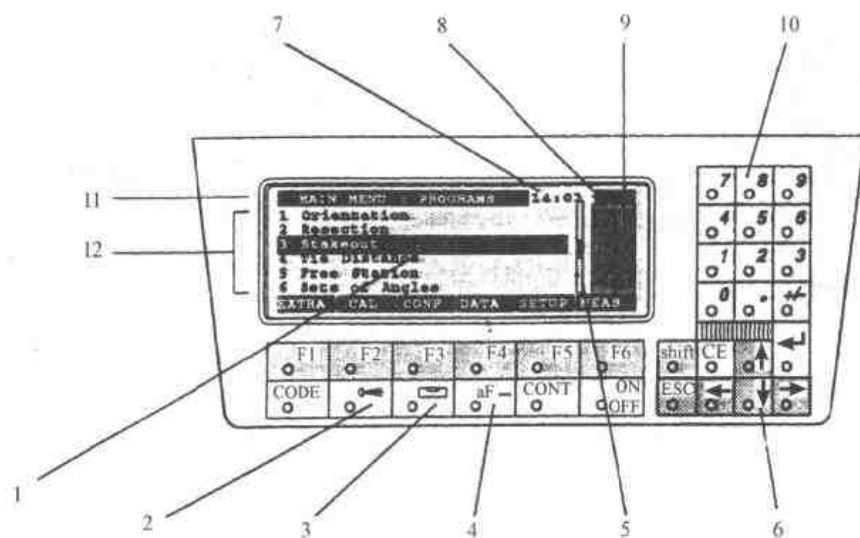


图 11-3

1-光标亮条;2-照明;3-电子气泡;4-其它功能;5-信息条;6-控制键;7-时间显示;8-电池显示;9-状态图标;10-输入键;11-标题栏;12-对话框

橙色功能键共有 7 个,F1 ~ F6 和第二功能键(shift)。该键所代表的功能是随显示屏底行

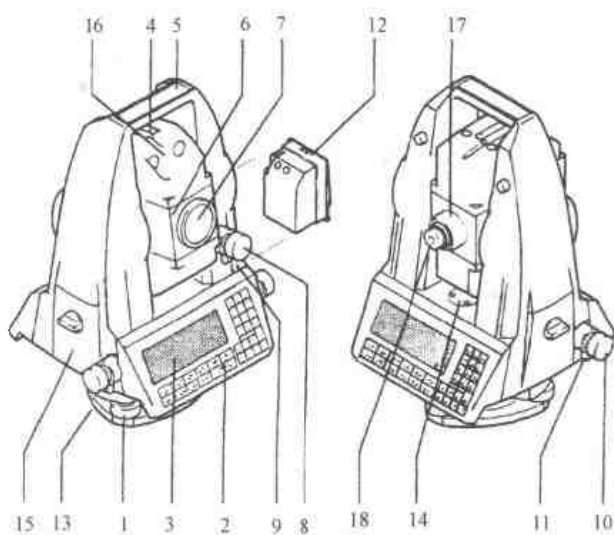


图 11-2

1-脚螺旋;2-键盘;3-显示屏;4-光学瞄准器;5-提把;6-望远镜(内置 EDM);7-测角测距同轴光学部件;8-垂直微动螺旋;9-垂直制动;10-水平微动螺旋;11-水平制动;12-电池槽;13-基座固定旋钮;14-水平圆气泡;15-存储卡槽;16-EGL1 导向光(选件);17-调焦环;18-可更换目镜

提示行(功能配置行)内容而变化的,不同菜单中代表不同的功能,详见其英文提示。

绿色控制键共有 4 个,在显示屏中,控制光标位置,用来编辑数字和字母等。

黄色输入键共有 14 个,数字键 0~9、符号键、回车键、小数点键和删除键(CE)。

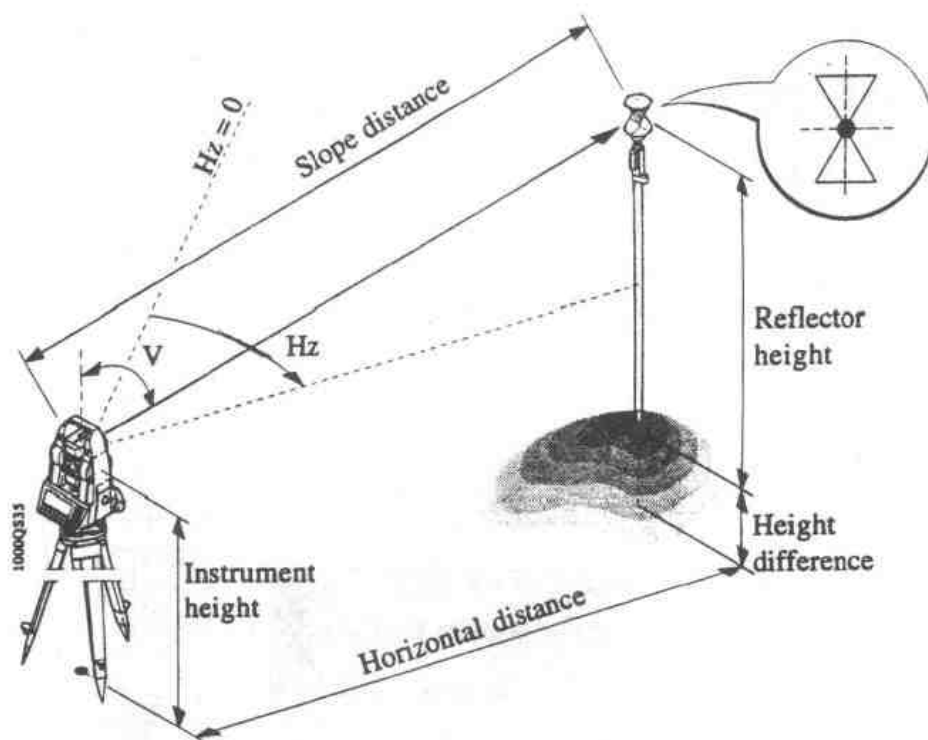
显示屏为 8 行 35 列液晶显示,全屏显示 64×201 个像素点。显示屏共划分 4 个区域,标题行(功能配置行)区,即显示屏的第一行,显示仪器当前工作状态、当前时间和电池容量。对话框区,即显示屏的第二行至第七行,显示文本和数据,完成数据的输出输入,实现人机对话。提示行(区),即显示屏的第八行,显示当前菜单下功能键 F1~F6 所代表的意义。状态图标区,即显示屏的第二行至第七行的最后 5 列,显示当前仪器某些功能工作状态的图标。

四、仪器操作的基本概念

1. 测量元素示意图

全站仪测量时所需的元素是用英文表示的,如图 11-4。其代表的意义如下(简称):

Hz——水平角;V——竖直角;Slop dist.——斜距;Horiz. dist.——平距;Instr. height——仪器高;Refl. height——镜高;Height——目标点高程;Height diff——测站点与目标点高差。



Hz = Horizontal angle
V = Vertical angle

图 11-4

2. 菜单树

功能键的操作,采用微机中菜单操作方式,形成菜单树,具体关系和意义如图 11-5 所示。

第三节 全站仪基本操作

一、测量前的准备工作

全站仪的安置同普通经纬仪一样,首先是仪器的对中和整平。但全站仪还可利用电子气泡整平,按按钮 ON/OFF 开机。开机后,简要显示仪器类型和软件版本号(操作以 2.22 版本为例),之后屏幕自动显示主菜单(或按系统设置,显示其它菜单),如图 11-6。按电子气泡整平键,进行电子气泡整平,如图 11-7。使活动小气泡中心与十字中心重合,即表示全站仪水平度盘水平,只需调节一次即可。

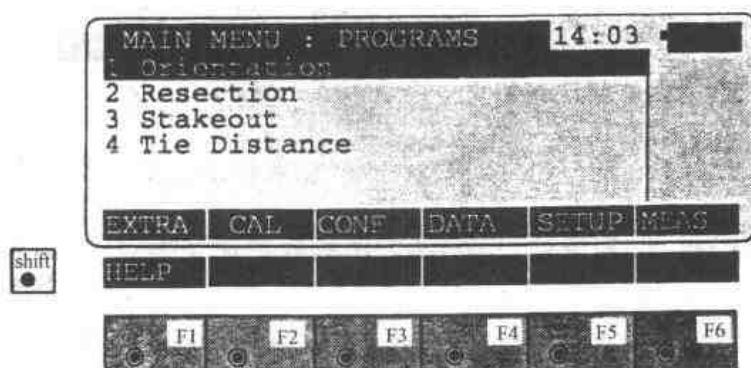


图 11-6

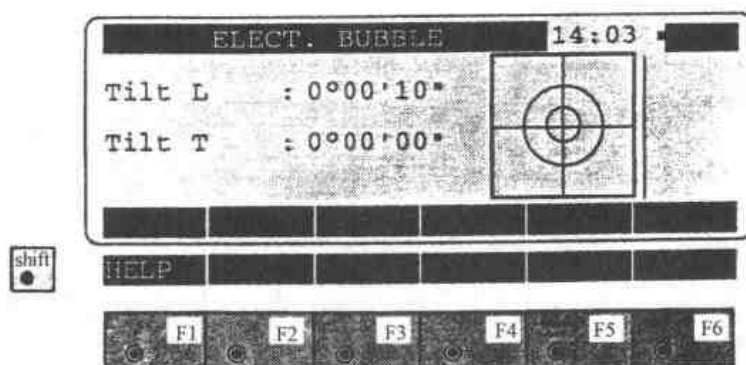


图 11-7

二、距离和角度的基本测量

仪器安置完毕,望远镜瞄准反射棱镜。在主菜单(图 11-6)下按 F6(MEAS)键,即选择了测量模式,如图 11-8。在该对话框中,可输入待测点的点号,并可进行测距、测角及数据记录等。在输入测站三维坐标的情况下,还可测出待测点的三维坐标,并可显示和记录数据。按 F1(ALL)键,开始测距并存储测量结果,但不显示测量结果。按 F2(DIST)键,开始测距,并显示测量结果,按 F3 键,存储屏幕显示值。

三、测站数据的设置

在测量之前,一般先进行测站(仪器所在点)数据的设置,输入仪器所在点的点号、坐标、高

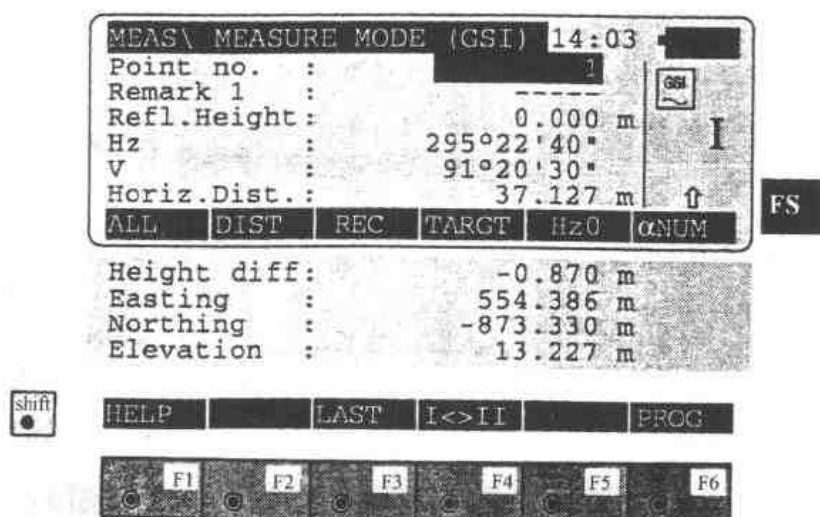


图 11-8

程、方位角及仪器高,以此来计算待测点的数据。其操作在主菜单(图 11-6)下进行,其步骤如下:

- (1)按 F5(SETUP)键,进入测站设置菜单,选择数据记录装置、用户模式和数据记录文件。
- (2)再按 F5(STAT)键,输入测站点号、坐标、高程、方位角及仪器高等。
- (3)按 F3(REC)键,在数据文件中记录测站数据,按 CONT 键,对所输入值加以确认,即认定该点数据为测站点数据,结束测站数据设置。

四、应用程序的使用

该仪器随机赠送四个应用程序,定向与高程传递、后方交汇、联测距离和放样,还有几个有偿使用程序。另外,该机还可根据不同专业的需要进行专业应用程序的开发。下面仅对几个公路工程中常用的应用程序加以介绍。

1. 定向与高程传递

定向与高程传递(Orientation and Tid)程序,是利用数个(最多 10 个)已知点位的坐标,通过全站仪的测量和计算,由全站仪确定大地坐标的北方向。旋转全站仪的望远镜,当角度显示值为 0 时,望远镜视准轴所指即为坐标的北方向。该程序为以后的测量工作确定了大地坐标系。定向是测量工作的基础,每次测量开始,都要先定向。其操作步骤如下:

- (1)输入测站数据。
- (2)在主菜单(图 11-6)中,将光标移至定向与高程传递(Orientation and Tid)程序处,按回车键,激活定向与高程传递(Orientation and Tid)程序,逐个输入目标点数据并测量。
- (3)测量完毕,按 F1(CALC)键,经全站仪计算并确定大地坐标的北方向。
- (4)按 F3(STORE)键,记录测量结果。

2. 放样

放样(Stakeout)程序是,先在全站仪中输入测站点和放样点的坐标数据,通过全站仪测量测点并计算出测点与放样点的误差,以此来调整测点,直到测点与放样点重合。即测点与放样点的误差达到要求精度,最后完成已知点放样。其操作步骤如下(极坐标放样):

- (1)输入测站数据。

(2)在主菜单(图 11-6)中,将光标移至放样(Stakeout)程序处,按回车键,激活放样(Stakeout)程序,输入目标点数据,按 CONT 键。

(3)按 F2(DIST)键,全站仪测距并显示测点与放样点的误差,逐步调整测点,直到测点与放样点的误差达到要求精度为止。

(4)按 F3(REC)键,记录放样精度等数据。

主要参考书目

1. 中华人民共和国交通部部标准.《公路工程技术标准》,北京:人民交通出版社,1997 年.
2. 钟孝顺、聂让.《测量学》,北京:人民交通出版社,1997 年.
3. 陶大鹏.《测量学》,北京:人民交通出版社,1993 年.
4. 张保成.《测量学》,北京:人民交通出版社,1997 年.

主要参考书目

1. 中华人民共和国交通部部标准.《公路工程技术标准》,北京:人民交通出版社,1997 年.
2. 钟孝顺、聂让.《测量学》,北京:人民交通出版社,1997 年.
3. 陶大鹏.《测量学》,北京:人民交通出版社,1993 年.
4. 张保成.《测量学》,北京:人民交通出版社,1997 年.