

东 北 林 业 大 学 出 版 基 金 资 助 出 版

路桥测量

L U Q I A O C E L I A N G

主 编 刘美爽 等



东 北 林 业 大 学 出 版 社

路 桥 测 量

主编 刘美爽等

东北林业大学出版社

路桥测量

Luqiao Celiang

主编 刘美爽等

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路26号)

哈尔滨市工大节能印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 14.125 字数 296千字

1999年3月第1版 1999年3月第1次印刷

印数 1—1 000册

ISBN 7-81008-927-7

U·28 定价: 19.50元

内容提要

本书作为高等院校使用教材,主要介绍了:测量学的基础知识、距离丈量及直线定向、水准测量、角度测量、测量误差的基础知识、小区域控制路线纵横断面测量、施工测量的基本工作、道路施工测量、桥涵施工测量。内容力求理论联系实际,深入浅出,通俗易懂,便于自学,是学习测量学的有力工具。全书插图 270 幅。

本书可供高等学校道路、桥梁及土木工程等相应专业的学生使用。

《路桥测量》编委会

主 编:刘美爽(东北林业大学)

孙明哲(黑龙江省路桥公司三处)

副主编:杨 誉(东北林业大学)

赵宗源(黑龙江省佳木斯市公路勘察设计院)

王文革(黑龙江省汤原县公路管理站)

于 鹏(黑龙江省佳木斯市公路管理处)

尹国学(黑龙江省方正林业土木建筑工程公司)

参 编:高力武(黑龙江省公路工程监理咨询公司)

崔 巍(黑龙江省交通高等专科学校)

武 鹤(黑龙江省交通高等专科学校)

曹继民(黑龙江省公路工程监理咨询公司)

主 审:曹文祥(黑龙江省佳木斯市公路管理处)

姜风岐(黑龙江省公路桥梁建设总公司)

前 言

本书是为高等学校道路、桥梁及土木工程等相应专业的学生而编写的教材，本教材是结合教学大纲内容及编者多年理论研究和生产实践而总结的一门专业基础教材，它是一门内容丰富、实践性强、与专业联系密切的课程。全书共分13章，力求简明扼要、深入浅出、理论与实践相结合，以利于教学和实际应用。

本教材中1.1、2.1、2.2、2.3.1、2.3.4、2.5、3.2、3.3.1、3.4、4.1~4.3、5.1~5.3、6.1、6.2、6.4、6.5.2~6.5.6、6.6、7.5、8.3、9.1.2、9.2、9.4~9.7、10.1、10.2、10.4由刘美奥同志编写；10、11、12、13由孙明哲同志编写；8、9、10、13由杨誉同志编写；2、5、6、7由赵宗源同志编写；3、5、6、9由王文革同志编写；1、7、8、13由于鹏同志编写；3、5、9、12由尹国学同志编写；1、2、3由高力武同志编写；4、5、7由崔巍同志编写；6、8、10由武鹤同志编写；9、11、12由曹继民同志编写。本书1~7章由曹文祥同志主审；8~13章由姜凤岐同志主审。全书由刘美奥同志统稿主编并兼制图。

本书承蒙东北林业大学土木系测量教研室主任刘兴库副教授的大力协助，在此表示感谢。

编 者

1998年12月

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 测量学的任务及其在公路建设中的作用	(1)
1.2 地球的形状和大小	(1)
1.3 地面点位的确定	(2)
1.4 测量工作的基本原则	(4)
2 距离丈量及直线定向	(6)
2.1 地面上点的标志	(6)
2.2 丈量的工具	(6)
2.3 直线丈量	(7)
2.4 直线定向	(11)
2.5 罗盘仪的构造和使用	(14)
3 水准测量	(17)
3.1 水准测量的原理	(17)
3.2 水准仪和水准尺	(17)
3.3 普通水准测量	(24)
3.4 水准仪的检验校正	(32)
3.5 水准测量误差	(36)
4 角度测量	(39)
4.1 角度测量原理	(39)
4.2 光学经纬仪的基本构造	(40)
4.3 水平角观测	(45)
4.4 竖直角观测	(47)
4.5 经纬仪检验校正	(49)
4.6 角度测量误差及注意事项	(53)
5 测量误差的基本知识	(57)
5.1 测量误差概述	(57)
5.2 误差传播定律	(60)
5.3 算术平均值	(63)
5.4 权和加权平均值	(65)
5.5 误差传播定律的应用	(70)
6 小区域控制测量	(73)
6.1 控制测量概述	(73)
6.2 导线测量的外业工作	(74)
6.3 导线测量的内业工作	(76)
6.4 导线测量错误的检查	(82)

6.5	小三角测量在桥梁建设中的应用	(84)
6.6	高程控制测量	(95)
7	地形测量	(100)
7.1	地形测量概述	(100)
7.2	地形图图式	(102)
7.3	测图前的准备	(108)
7.4	视距测量	(110)
7.5	地形测图的方法	(112)
7.6	地形图的拼接、检查和整饰	(117)
8	地图识图与地形图应用	(119)
8.1	地形图分幅和编号	(119)
8.2	地形图阅读	(125)
8.3	地形图应用	(128)
8.4	面积计算	(132)
9	线路中线测量	(134)
9.1	概述	(134)
9.2	路线转角的观测与记录	(137)
9.3	圆曲线主点测设	(141)
9.4	圆曲线的详细测设	(143)
9.5	遇障碍时圆曲线测设	(147)
9.6	复曲线的测设	(149)
9.7	回头曲线的测设	(150)
9.8	缓和曲线的测设	(155)
9.9	路线中线的展绘	(165)
10	路线纵横断面测量	(168)
10.1	基平测量	(168)
10.2	中平测量	(169)
10.3	纵断面图的绘制	(171)
10.4	横断面测量	(174)
10.5	土方量计算	(178)
11	施工测量的基本工作	(180)
11.1	水平距离、水平角和高程的测设	(180)
11.2	点的平面位置测设	(181)
11.3	已知坡度线的测设	(183)
11.4	平面的测设	(183)
12	道路施工测量	(185)
12.1	道路施工测量的准备工作	(185)
12.2	线路复测	(185)
12.3	中线控制桩的保护	(187)
12.4	路基放样	(189)

12.5	路面放样.....	(194)
12.6	竣工测量.....	(195)
13	桥涵施工测量.....	(196)
13.1	涵洞放样.....	(196)
13.2	桥梁轴线测定.....	(197)
13.3	直线桥梁墩台中心位置的测定.....	(199)
13.4	曲线桥梁墩台中心位置的测定.....	(202)
13.5	桥梁施工时的高程控制.....	(204)
13.6	墩台施工中的测量工作.....	(205)
13.7	双曲拱桥上部构造施工中的测量工作.....	(209)
13.8	桥台锥形护坡放样.....	(213)
参考文献.....		(215)

1 绪 论

1.1 测量学的任务及其在公路建设中的作用

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程,如何将地球表面的地形及其他信息绘成图,以及确定地球的形状和大小的科学。它一方面使用各种测量仪器和工具,通过实地测量和计算,把地球表面缩绘成地形图,供科学研究、国防建设和国民经济建设规划设计使用;另一方面是解决如何把图纸上设计的各种工程建筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

随着生产的发展和科学的进步,根据测量研究的对象及其应用,测量学的分科也越来越细。研究在地面上建立国家大地控制网,测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术与方法的学科称为大地测量学。研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科称为普通测量学。通过摄影像片和辐射能的各种图像记录手段,对其进行处理、测量、判释和研究,以测得物体的形状、大小和位置的模拟形式或数学形式的成果以及关于环境的可靠信息的学科称为摄影测量学。研究工程建设在勘测设计、施工和管理阶段进行的各种测量工作的学科称为工程测量学。

在公路建设中,首先要进行勘测设计工作,根据测量的资料进行选线,确定路线方案后,要进行路线详细测设,也就是进行中线测量、路线纵横断面测量、桥涵水文测量、地形测量等。施工前,将设计路线及桥涵位置测设到地面上。施工过程,要经常通过测量来检查工程质量。工程完工后,还要用测量来检验竣工情况,并编绘竣工图纸,以满足工程的使用、管理、维修以至扩建的需要。由此可见,测量学在公路工程建设中占有非常重要的地位。

路桥专业的学生,学习测量学之后要求达到:掌握普通测量学的基本知识和基础理论;能正确地使用测量仪器和工具;能进行小区域大比例尺地形图的测绘;在公路勘测设计和施工中,具有正确应用地形图和有关测量资料的能力;具有进行一般工程施工测设的能力,以便能灵活地应用所学的测量知识为路桥专业的各项工作提供服务。

1.2 地球的形状和大小

测量学研究的对象是地球表面,因此在学习测量时,首先应该对地球的形状和大小有所了解。

地球表面起伏不平,有高山、深谷、平原、海洋等,这是地球的自然表面。由于地球表面71%是海洋,29%是陆地,假设把自由静止的海水面延伸穿过陆地,包围整个地球,形成一个闭合的曲面,这个静止的海水面称为水准面。因海水有潮汐,时涨时落,所以水准面有无数个,其中与平均海面相一致的水准面称为大地水准面,如图1-1所示。由此面所围成的几何形状称为大地球体,可以把它看作是地球的形状。

水准面的特征是面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。但是由于地球内部质量分布的不均匀,引起铅垂线方向发生变化,使大地水准面成为一个有微小起伏的不规则曲面。如

果将地球表面上的图形投影到这样一个不规则的曲面上,在测量计算和制图上都将非常困难。

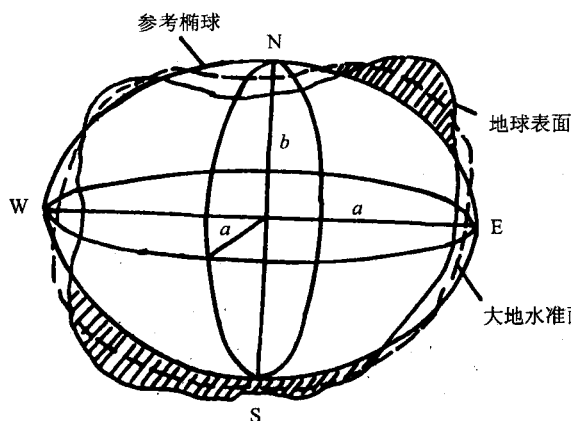


图 1-1

为此在测量学上选用一个和大地水准面总的形状很接近的能用数学式子表示的规则曲面,来代替大地水准面作为测量计算的基准面,并在这个曲面上建立大地坐标系。这个用数学式子表达的几何形状,是由椭圆 NESW 绕其短轴 NS 旋转而成的两极略扁平的球体,称为参考椭球体,如图 1-1 所示。其形状大小由参考椭球体的元素来表示。

现在我国正利用人造卫星的观测成果及全国大地测量资料,计算适合我国实际情况的参考椭球体元素。目前暂时采用克拉索夫斯基参考椭球体元素值。

$$\text{长半轴 } a = 6\,378.245\text{km}$$

$$\text{短半轴 } b = 6\,356.863\text{km}$$

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

1979 年第 17 届国际大地测量与地球物理联合会通过并推荐的参考椭球体元素值为

$$a = 6\,378.137\text{km}$$

$$b = 6\,356.752\text{km}$$

$$\alpha = \frac{1}{298.257}$$

由于参考椭球体的扁率很小,在地形测量学的范围内,可把地球看作圆球,其平均地径为

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6\,371\text{km}$$

1.3 地面点位的确定

地面上各种地貌和地物的平面形状,都是由它们的轮廓线所围成的,而轮廓线又是由一系列连续不断的点所组成。因此确定地面上的图形,最基本的工作就是确定地面点的位置。一个点的空间位置需要用三个量来确定,在测量工作中,也就是用地面点在投影面上的坐标和高程来表示。

1.3.1 地面点在投影面上的坐标

1.3.1.1 独立平面直角坐标

当测区较小时,可以把投影面看作平面,地面点在投影面上的位置可用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标如图 1-2 所示,规定南北方向为纵轴 x ,向北为正,向南为负。以东西方向为横轴 y ,向东为正,向西为负。原点一般选在测区的西南角,使测区内各点的 x 、 y 坐标均为正值。象限按顺时针方向编号。 x 与 y 轴同数学坐标轴相反,这是由于在测量工作中坐标系中的角度以北方为准,按顺时针方向到某条边的夹角。

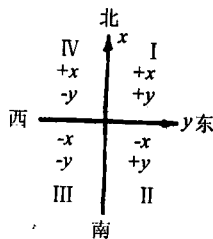


图 1-2

而三角学中,三角函数的角则是从横轴起按逆时针方向计算。把 x 与 y 轴互换后,全部三角函数公式都能在测量中应用。

1.3.1.2. 高斯平面直角坐标

当测区范围较大时,就不能将这块较大的地表面当作平面看待,更不能用一个独立平面直角坐标系来表示点位。为了使全国有一个统一的坐标系,并且测量计算又能在平面上进行,我国采用高斯投影的方法,用高斯平面直角坐标来表示地面点在投影面上的位置。这种坐标系是取投影带的中央子午线即坐标纵线,作赤道的平行线即坐标横线,从而构成一个平面直角坐标系。赤道以北 x 为正值,以南 x 为负值。我国位于北半球,所以 x 全为正值。中央子午线以东 y 为正值,以西 y 为负值。为了使用坐标的方便,避免 y 出现负值,将坐标原点沿赤道西移 500km。见图 1-3。

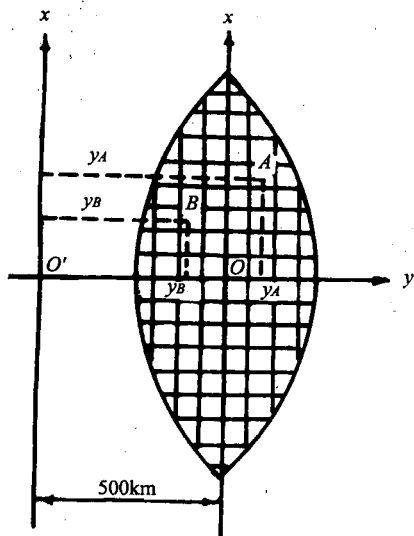


图 1-3

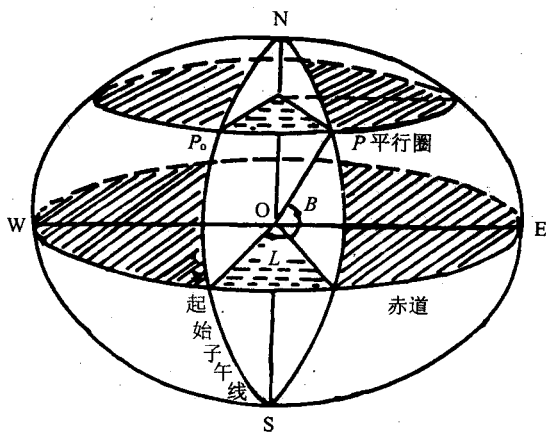


图 1-4

高斯平面直角坐标与大地坐标的经纬度发生联系,因此,适用大范围的测量工作。

1.3.1.3 大地坐标

以参考椭球体和法线为依据确定的地面点的大地经度和大地纬度,测量上统称为大地坐标。其点用大地坐标表示的位置,是该点的球面上的投影位置。

在图 1-4 中,NS 为椭球的旋转轴,N 表示北极,S 表示南极,O 为球心。通过椭球旋转轴的平面,称为子午面,而其中通过英国原格林威治天文台的子午面称为起始子午面。子午面与椭球面的交线称为子午线。通过椭球中心并与椭球旋转轴正交的平面称为赤道面,它与椭球面的交线称为赤道。

过地面上任一点 P 的子午面与起始子午面的夹角,称为 P 点的大地经度,以 L 表示。由起始子午线向东称为东经,向西称为西经,各为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

过地面点 P 的法线(在该点与椭球面的切平面相垂直的线)与赤道平面的夹角,称为 P 点的大地纬度,以 B 表示。在赤道以北称为北纬,以南称为南纬,各为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

大地经纬度是根据一个起始的大地点(通常叫做大地原点,这个原点的大地经纬度与天文经纬度一致)的大地坐标,按大地测量所得的数据推算而得。

1.3.2 地面点的高程

地面点到水准面的垂直距离,称为高程。地面点到大地水准面的垂直距离,称为绝对高程或海拔。地面点到假定水准面(选定的某水准面)的垂直距离,称为假定高程或相对高程。如图 1-5 所示, A 点的绝对高程为 H_A , 假定高程为 H'_A ; B 点的绝对高程为 H_B ; 假定高程为 H'_B 。A、B 两点的高程差以 h_{AB} 表示, 则

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

我国的绝对高程是以青岛港验潮站历年记录的黄海平均海水面为准(其高程为零),并在青岛市内一个山洞里建立水准原点,其高程为 72.289m。全国布置的国家高程控制点,都以这个水准原点为基准测算出来的。这就是我国大地法规定的 1953 年黄海高程系统。

由此可见,地面点间的位置关系是以距离、水平角和高程来确定的,所以,高程测量、水平角测量和距离测量是测量学的基本内容,高程、水平角和距离是确定地面点位的基本要素。

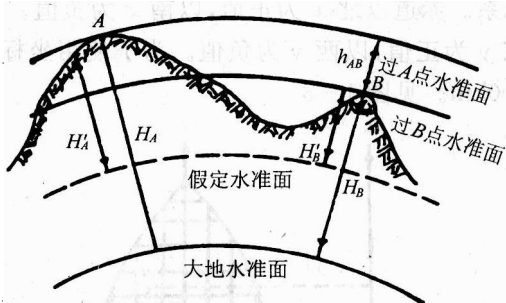


图 1-5

1.4 测量工作的基本原则

地球表面的形状很复杂,可以分为地物和地貌两大类。地表面的固定性物体称为地物,如房屋、江河、道路、森林等。地面上的高低起伏形态称为地貌,如山岭、谷地、陡崖等。地物与地貌统称为地形。测量的任务就是要测定地形的位置并把它画在图纸上。如图 1-6(a)为一幢房屋,其平面位置由房屋轮廓线的一些折线所组成,如果能确定 1~4 各点的平面位置,这幢房屋的位置就确定了。图 1-6(b)是一条公路,它的边线有直线和曲线,如果测定了它的直线、直线与曲线的衔接点和曲线上的 1~8 各点的平面位置,这条公路的位置就确定了。图 1-6(c)为小山头,当 1、2、3...等地面坡度变化点的平面位置及高度测定后,这个山头起伏变化情况就可以大致反映出来。

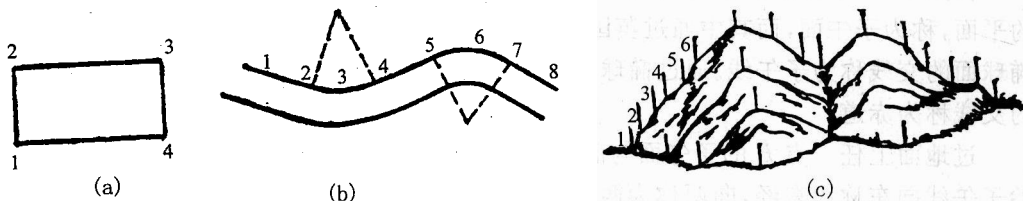


图 1-6

地物和地貌的形态和大小都是由一些特征点的位置所决定的。这些特征点又称碎部点。测量时,主要就是测定这些碎部点的平面位置和高程。当进行测量工作时,不论用何种方法,使用何种仪器,测量结果都会带有误差。为了防止测量误差的积累,提高测量精度,在测量工作中,必须遵循由“整体到局部,先控制后碎部”的测量原则。如图 1-7 所示,先在测区内选择若干具有控制意义的点 1、2、3...作为控制点,用精密的仪器和方法测定其位置,作为全面测量的依

据,这些控制点所组成的图形称为控制网。进行这部分测量工作称为控制测量,然后,再根据这些控制点测定碎部点的位置。

例如在控制点 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。同样测定其他碎部点,这个地区的形状和大小情况就可以表示出来了。

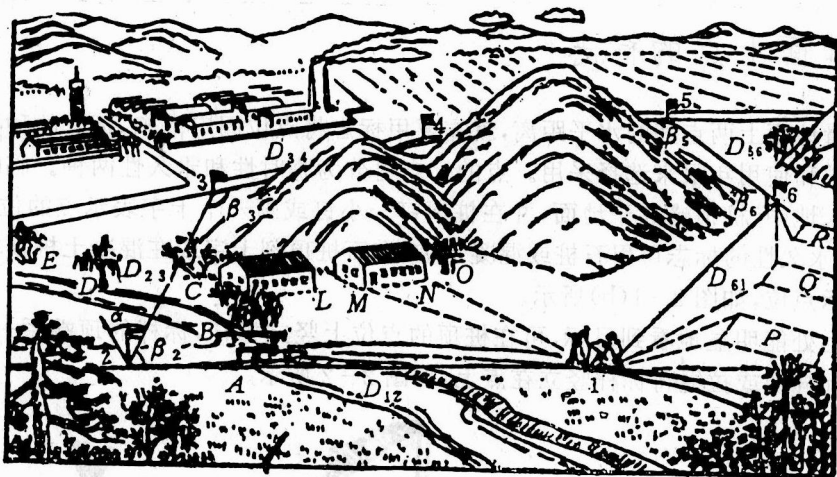


图 1-7

测定工作有内业与外业之分,利用测量仪器在野外测出控制点之间或控制点与碎部点之间的距离、角度、高差称为测量外业。将外业成果,在室内进行整理计算和绘图等工作称为测量内业。

测量人员必须爱护仪器,养成正确使用仪器的良好习惯,要认真做好记录,要求正确、清洁、干净。对各项成图要准确、整洁、清晰、美观。测量工作完工后,对内外业资料以及图纸、记录和有关资料应及时整理存档,以便查阅。

2 距离丈量及直线定向

2.1 地面上点的标志

要丈量地面上两点间的水平距离,就需要用标志将点位固定下来,标志的种类应根据测量的具体要求和使用年限来选择采用。点的标志可分为临时性和永久性两种。临时性的标志可用木桩打入地中,桩顶略高于地面,并在桩顶钉一小钉或画一个十字表示点的位置,如图 2-1(a)所示。永久性的标志可用石桩或混凝土桩,在石桩顶刻十字或在混凝土桩顶埋入有十字的钢柱以表示点位,如图 2-1(b)所示。

为了远处能明显地看到目标,可在桩顶的点位上竖立标杆,标杆的顶端系一红白小旗,标杆也可用标杆架或拉绳将标杆竖立在点上,如图 2-2 所示。

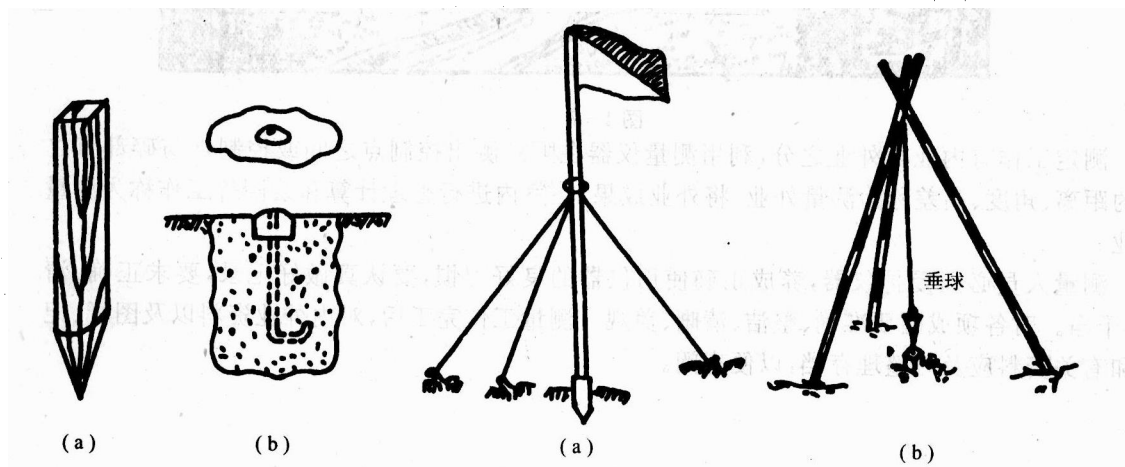


图 2-1

图 2-2

2.2 丈量的工具

根据测量工作精度要求,可采用不同的工具、不同的方法来进行距离丈量。通常使用的量距工具为钢尺、皮尺、竹尺和测绳,辅助工具有测钎、标杆和铅垂。

皮尺又称布卷尺,如图 2-3(a)所示,是由麻布织入铜丝而成,呈带状。现在有用塑料制成的,长度有 20m、30m、50m 等几种。一般刻划到 cm,尺的零点在尺的最外端。皮尺的耐拉能力较差,伸缩较大,用于普通低精度量距。

钢尺又称钢卷尺,如图 2-3(b)所示,由带状薄钢条制成,有后柄式和皮盒式两种。长度有 20m、30m、50m 等几种。在尺的起点 1 dm 内刻至 mm,其他地方刻划至 cm,按尺的零点位置可分为端点尺和刻线尺两种。端点尺是从尺的端点开始,如图 2-4(a)所示;刻线尺是从尺上一条横线作为起点,如图 2-4(b)所示。使用时必须注意钢尺的零点位置,以免发生错误。

竹尺是用均匀薄而光滑的竹片连接制成的,结头处用钢丝绑扎,一般用于山区公路中线丈

量,如图 2-3(c)所示。

绳尺是用麻线和金属丝制成的,长度为 100m,每米注记,一般用于精度要求较低的勘测工作。

标杆又称花杆,长为 2m 或 3m,由直径为 3~4cm 的木杆制成,杆上按 20cm 间隔涂上红白漆,杆底为锥形铁脚,用于显示目标和定线,如图 2-5(a)所示。

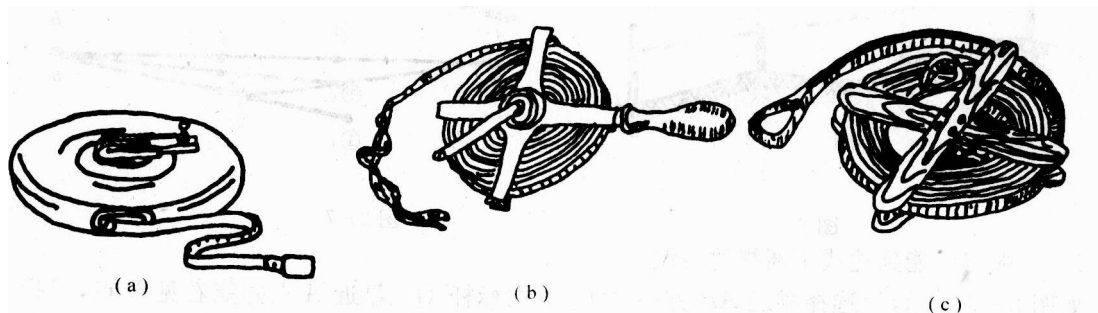


图 2-3

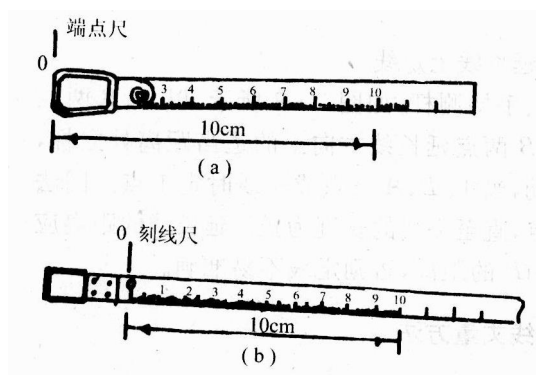


图 2-4

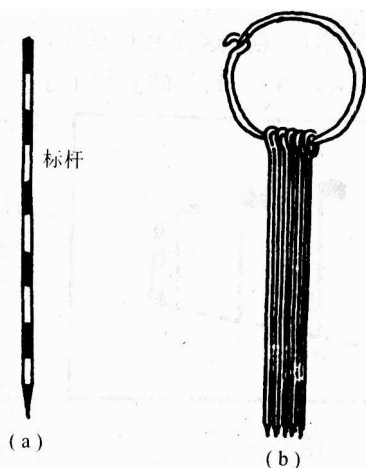


图 2-5

测钎用粗铁丝制成,长为 30cm 或 40cm,6 根或 11 根为一组,穿于铁环中,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,如图 2-5(b)所示。

2.3 直线丈量

2.3.1 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,在两点连线之间竖立一些标杆,把许多标杆定在已知直线上的工作称为直线定线。在丈量距离精度要求不高时,可用目估法定线,如果精度要求较高时,则要用经纬仪定线。

2.3.1.1 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 之间标定①、②等点,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 1~2m 处,由 A 端瞄向 B 点,使单眼的视线与标杆边缘相切,甲以手势指挥持标杆的乙移动,直至 A 、①、 B 三点在一直线上,然后将标杆

竖直插在①点上。用同样的方法标定②点。

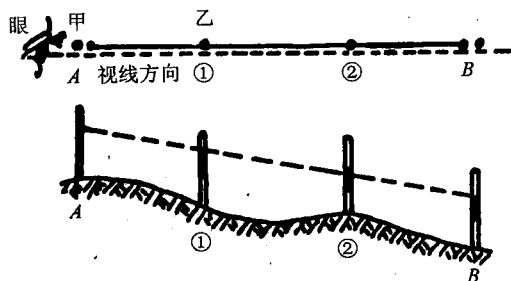


图 2-6

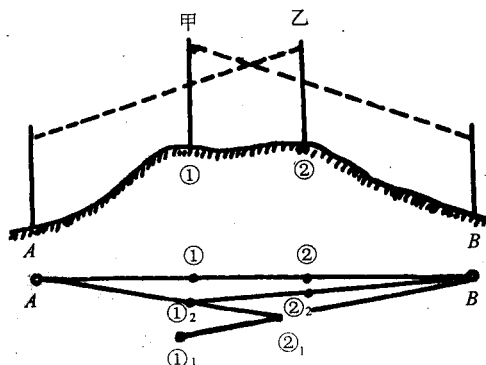


图 2-7

2.3.1.2 端点不能到达或不通视的定线

如图 2-7 所示,甲选择靠近 AB 方向的①₁ 点立标杆,①₁ 靠近 A 点并能看见 B 点,甲指挥乙将标杆定在 $B①_1$ 线上得②₁ 点,要求②₁ 靠近 B 点,并能看见 A 点。然后由乙指挥甲把标杆移到 $A②_1$ 线得①₂ 点。这样互相指挥,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 $A、B$ 的直线上了。

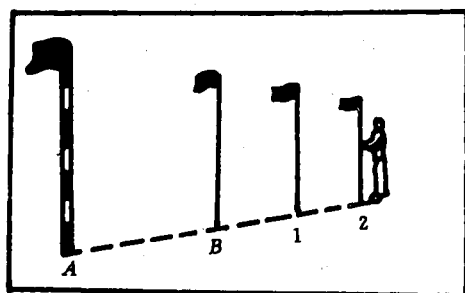


图 2-8

2.3.1.3 延长线上定线

定线人手持测杆,如图 2-8 所示,以 $A、B$ 两点为准,在 AB 两点延长线方向上的适当距离处立杆,经左右移动,当 1、 $B、A$ 三点成一线时定 1 点。同法定其他各点,直至需要的长度为止。延长线的距离应短于直线 AB 的距离,否则定线不易准确。

2.3.2 直线丈量方法

2.3.2.1 平坦地面的直线丈量

如图 2-9 所示,首先在 $A、B$ 两端点立杆,后尺员持一测钎和尺的零端立于 A 点,前尺员持五支测钎和尺的终端,以及一根测杆,沿直线 AB 方向前进,待尺全部伸出后停止前进,在后尺员的指挥下定线,然后,前尺员依照定线所得点把尺铺在直线方向上,二人同时把尺伸直、拉紧、抬平,当后尺员把尺的零点对准 A 点时喊“好”,前尺员在尺的终端刻线旁竖直插测钎,得 1 点。这样便量完一个整尺段的距离。后尺员拿起原有一支测钎,同前尺员一起把尺抬起共同前进,当后尺员到达 1 点时喊“停”,依同法量出第二尺段。量毕,后尺员再拔起 1 点的测钎如前法继续丈量下去,直至不足一整尺段 $n \sim B$ 时,前尺员把某一整分划对准 B 点,后尺员在尺的零端分米内读出毫米数,求出零尺段长。在计算测钎数时,最后不足整尺的一支不计算在内。

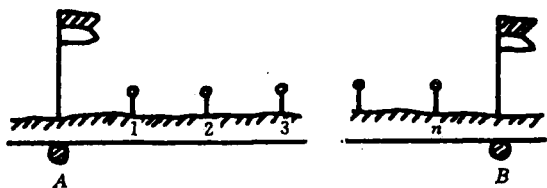


图 2-9

AB 的水平距离为

$$L = nl_1 + q \quad (2-1)$$

式中: l_1 —— 整尺长度;