

高等学校测绘学科教学指导委员会推荐用书

Celiangxue



高等学校“十五”规划教材

测量学

高井祥 主编

中国矿业大学出版社

TD17
G-436.2

“五”规划教材

高等学校测绘学科教学指导委员会推荐用书

测 量 学

高井祥 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是高等院校非测量专业的专业基础课教材。全书共分 17 章,第 1 至第 9 章为基础部分,包括绪论、距离测量和直线定向、水准测量、经纬仪测量、测量误差的基本知识、小地区控制测量、大比例尺地形图的测绘、地形图的读法和应用、测设的基本工作;第 10 至第 17 章为各专业根据不同需要的选学部分,包括地质勘探工程测量、井下测量、巷道施工测量、矿图、地表与岩层移动简介、铁路与公路工程测量、管道工程测量、工业与民用建筑施工测量。

本书主要适用于采矿工程、矿井建设、地质工程、交通运输、土木工程、建筑学、工业与民用建筑、暖通工程等专业大类或方向使用,也可作为与上述专业有关的函授大学、职业大学及自学者的教材,同时亦适合做中专有关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

测量学/高井祥主编. —徐州:中国矿业大学出版社,
2004.9(2005.5 重印)
ISBN 7-81040-858-5

I. 测... II. 高... III. 测量学—高等学校—教材 N. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 093454 号

书 名 测量学

主 编 高井祥

责任编辑 耿东锋

责任校对 崔永春

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮政编码 221008)

排 版 中国矿业大学排版中心

印 刷 江苏徐州新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×960 1/16 印张 22 字数 419 千字

版次印次 2004 年 9 月第 3 版 2005 年 5 月第 2 次印刷

印 数 16201~21200 册

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《测量学》编委会成员

主 编 高井祥

副 主 编 张书毕 于胜文 王庆林

编写人员 高井祥 张书毕 于胜文 王庆林

汪应宏 张绍良 朱 光 张健雄

前 言

本书自1998年初版以来,已有近4年时间。在这4年中,随着现代测绘科学技术的不断发展,测量新技术、新仪器层出不穷,同时,各高校的专业设置也做了不同程度的调整和拓宽,教学形势有了很大的发展,原教材的部分内容已不能适应新的教学需要,需要增加新的内容。因此,我们根据原煤炭高校非测量专业《测量学》新的课程教学大纲,对原教材进行部分修订。同时,也更正了原教材中的一些错误。

本教材的编写,本着有利于加强基础理论学习、有利于提高能力培养、有利于知识面的拓展和少而精的原则,努力做到先进性、实用性、通用性和高质量四者相统一;同时,针对非测量专业学生学习测量学的特点,教材内容力求简明扼要、深入浅出,从而使教材不仅便于教师组织教学又适合学生自学。教材在结构上,分为必学和选学两部分:第1章至第9章是基础部分,为各个专业学生的必学内容;第10章至第17章是专业应用部分,供不同专业学生根据需要选学。

本教材适用于地质工程、采矿工程(地采和露采)、矿井建设、土木工程、建筑学、工业与民用建筑、暖通工程、交通运输等专业大类或方向使用,也可供有关技术人员参考。本书由中国矿业大学高井祥、张书毕、汪应宏、张绍良,焦作工学院王庆林、张健雄,山东科技大学于胜文,北京建筑工程学院朱光共同编写。全书由高井祥任主编并统稿,张书毕、于胜文、王庆林任副主编。

本次再版,对原书的部分内容做了修改,并改正了一些错漏之处。

在本书的编写过程中,参阅了大量文献,引用了同类书刊中的部分资料,在此,谨向有关作者,表示衷心的感谢!承蒙周立吾教授审阅了全部书稿并提出了宝贵的修改意见,中国矿业大学出版社也为本书的出版做了大量工作,在此也深表谢意!

在本书的编写及出版过程中,编者做了很大努力,书中如有不妥之处,恳请广大读者予以批评指正。

编 者

2004年1月

目 录

前 言	1
第1章 绪 论	1
1.1 测量学的任务及其在工程中的作用	1
1.2 地面点位的确定	2
1.3 测量工作概述	5
复习思考题	6
第2章 距离测量和直线定向	7
2.1 距离测量	7
2.2 直线定向	11
复习思考题	15
第3章 水准测量	16
3.1 水准测量的原理	16
3.2 水准测量的仪器和工具	17
3.3 水准仪的使用	20
3.4 水准测量的外业	22
3.5 水准测量的内业	26
3.6 数字水准仪简介	29
复习思考题	30
第4章 经纬仪测量	31
4.1 水平角测量原理	31
4.2 DJ6 级光学经纬仪	31
4.3 水平角观测	37
4.4 竖直角观测	40
4.5 三角高程测量	44
4.6 视距测量	45
4.7 全站仪简介	48
复习思考题	49

第5章 测量误差的基本知识	50
5.1 概 述	50
5.2 衡量精度的指标	53
5.3 误差传播定律	57
5.4 算术平均值及其中误差	60
复习思考题	63
第6章 小地区控制测量	64
6.1 概 述	64
6.2 经纬仪导线测量	67
6.3 经纬仪导线计算	70
6.4 交会法和小三角测量	80
6.5 高程控制测量	86
6.6 GPS 技术在控制测量中的应用	89
复习思考题	101
第7章 大比例尺地形图的测绘	104
7.1 地形图的基本知识	104
7.2 地貌与等高线	110
7.3 常规测图方法	116
7.4 数字化测图技术介绍	123
7.5 航空摄影测量简介	125
复习思考题	130
第8章 地形图的读法和应用	133
8.1 高斯平面直角坐标系	133
8.2 地形图的分幅与编号	136
8.3 地形图的判读与应用	140
复习思考题	149
第9章 测设的基本工作	150
9.1 水平距离、水平角度和设计高程的测设	150
9.2 点的平面位置的测设方法	154
9.3 设计坡度线的测设方法	156
复习思考题	157

第10章 地质勘探工程测量	158
10.1 勘探工程测量	158
10.2 地质剖面测量	161
10.3 地质填图测量	163
复习思考题	165
第11章 井下测量	166
11.1 近井点和井口水准基点	166
11.2 矿井平面联系测量	166
11.3 矿井高程联系测量	182
11.4 井下平面测量	184
11.5 井下高程测量	191
复习思考题	193
第12章 巷道与井筒施工测量	194
12.1 井下巷道中线的标定	194
12.2 曲线巷道中线的标定	196
12.3 井下巷道腰线的标定	197
12.4 激光给向	199
12.5 立井施工测量	201
12.6 贯通测量	211
复习思考题	214
第13章 矿图	215
13.1 概述	215
13.2 标高投影	217
13.3 采掘工程平面图	223
13.4 其他矿井测量图	230
复习思考题	231
第14章 地表与岩层移动简介	232
14.1 地表与岩层移动的几个基本概念	232
14.2 地表移动的观测	238
14.3 保护煤柱的留设	246
复习思考题	249

第 15 章 铁路与公路工程测量	251
15.1 概 述	251
15.2 铁路初测中的测量工作	263
15.3 定线测量	267
15.4 曲线测设	269
15.5 线路纵横断面图的测绘	276
15.6 铁路施工测量	279
15.7 公路施工测量	282
15.8 桥梁测量	283
复习思考题	287
第 16 章 管道工程测量	288
16.1 概 述	288
16.2 管道中线测量	288
16.3 管道纵横断面图测绘	290
16.4 管道施工测量	293
16.5 管道竣工测量	298
复习思考题	300
第 17 章 工业与民用建筑施工测量	303
17.1 概 述	303
17.2 建筑场地施工测量	303
17.3 民用建筑施工测量	307
17.4 工业厂房施工测量	309
17.5 高层建筑施工测量	314
17.6 建筑物的沉降观测	316
17.7 竣工总平面图的编绘	321
复习思考题	322
附录 CASIO fx-4800P 科学计算器的使用方法	324
参考文献	340

第1章 绪 论

1.1 测量学的任务及其在工程中的作用

测量学是一门古老的科学。相传在公元前 21 世纪,禹奉舜命治理洪水,《史记·夏本纪》中有“左准绳,右规矩”的记载,就是对当时进行测量工作的描述。测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面点位置的科学。它的主要内容包括测定和测设两部分。测定就是使用测量仪器和工具,将测区内的地物和地貌缩绘成地形图,供规划设计、工程建设和国防建设使用。测设(也称放样)就是把图上设计好的建筑物和构筑物的位置标定到实地上去,以便于施工。

随着国民经济的发展和科学技术的进步,测量学在生产中的作用越来越大,所涉及的内容也愈来愈丰富,并派生出许多分支学科。如研究整个地球的形状和大小以及大地区控制测量问题的大地测量学;研究测绘小地区地形图、把地球表面看做平面而不考虑地球曲率影响的地形测量学;利用摄影像片来测定物体的形状、大小和空间位置的摄影测量学,它又可分为航空摄影测量学、地面摄影测量学、水下摄影测量学和航天摄影测量学等分支学科;以海洋和陆地水域为对象进行测量工作的海洋测绘学;为满足工程建设的需要,结合各种工程建设的特点而进行测量工作的工程测量学;研究如何确保矿产资源的合理开发、安全生产和矿区环境治理的矿山测量学;研究利用所获得的测量成果资料,编绘和制印各种地图的制图学。随着遥感(RS)、卫星全球定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)等新技术的不断发展,新的测量分支学科不断涌现。本书的前半部分主要讲述地形测量学,后半部分主要讲述工程测量学和矿山测量学的内容。

测绘科学的应用范围很广:在国民经济建设和社会发展规划中,测绘信息是最重要的基础信息之一;在国防建设中,军事测绘和军用地图是现代化大规模诸兵种协同作战必不可少的重要保障;在科学实验、航空航天、地壳形变和地震预报等研究工作中,也都要应用测绘资料。

在地质勘探工程中的地质普查阶段,要为地质人员提供地形图和有关测量资料作为填图的依据;在地质勘探阶段,要进行勘探线、网、钻孔的标定和地质剖面测量。

在采矿工程中,测量工作起着重要的作用,在矿区开发的全过程中都要进行测量工作。在矿井建设阶段,要进行建井和开拓所需的施工和设备安装测量;在

生产阶段,除进行井下控制测量和采区测量外,还要开展矿体几何和储量管理、岩层移动监测和地面建筑物保护、矿区环境治理等工作。

在建筑工程中,测量工作也有着广泛的作用。在规划和勘测设计的各个阶段,都要求提供各种比例尺的地形图;在施工阶段,要将设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设于实地,作为施工的依据;工程施工结束后,还要进行竣工测量,绘制各种竣工图,以供日后改建、扩建或维修之用。

通过以上介绍可以看出,测量工作在各种工程中均占有重要的地位。因此,地质、采矿和建筑等专业的学生都必须学好测量学,以便在实际工作中运用测量知识解决实际问题。

1.2 地面点位的确定

一、地球的形状和大小

测量工作是在地球表面进行的。自然地球表面很不规则,有高山、平原、深谷、丘陵和海洋等。地球上最高的珠穆朗玛峰,高出平均海面 8848.13 m(1992 年 9~10 月重新测定),最低的马里亚纳海沟,大部低于平均海面 8000 m,最深处达 11034 m。这些高低起伏与巨大的地球半径(平均为 6371 km)相比,可以忽略不计。若顾及到地球上陆地面积仅占整个地球表面的 29%而海洋面积占 71%,则可以认为地球是被静止的海水面所包围的球体。

由于地球的自转运动,地球上任一点都受到地球引力和离心力的双重作用,这两个力的合力,称为重力。 Δ 重力的方向线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。静止的水面所形成的曲面称为水准面。过水准面上的任意一点所作的铅垂线,在该点均与水准面正交。与水准面相切的平面称为水平面。由于水面可高可低,因此水准面有无穷多个,其中与平均海面重合并向陆地延伸所形成的封闭曲面,称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体,它代表了地球的自然形状和大小。

大地水准面与地球自然表面相比,可称得上是一个光滑的曲面。但由于地球内部质量分布的不均匀性,使得铅垂线的方向产生不规则的变化,结果大地水准面就变成了一个有微小起伏变化的、不规则的复杂曲面(图 1-1)。在这样的曲面上是无法进行测量计算的。因此,为了计算和绘图方便,通常选择一个非常接近于大地水准面并可用数学式表示的几何曲面来代表地球的形状,这个面称为旋转椭球体面或地球椭球体面。如图 1-2 所示,旋转椭球体的大小由长半径 a 和短半径 b ,或由一个半径 a 和扁率 α 所决定。 α 由下式计算:

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

式中 a, b, α ——旋转椭球体元素。

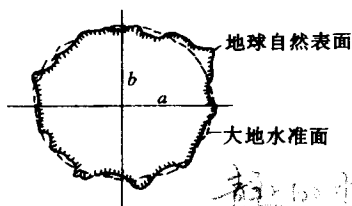


图 1-1

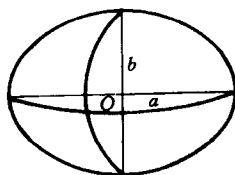


图 1-2

世界各国都采用适合本国情况的椭球体元素。我国在解放前采用海福特椭球,解放后曾一度采用苏联的克拉索夫斯基椭球参数作为测量计算的依据,其数值为:

$$a = 6378245 \text{ m} \quad \alpha = 1 : 298.3$$

目前我国采用的椭球元素数值为:

$$a = 6378140 \text{ m} \quad \alpha = 1 : 298.257$$

并选择西安附近的泾阳县永乐镇某点作为大地原点。由此建立的坐标系称为“1980 年国家大地坐标系”。

因地球椭球扁率很小,所以当测区范围不大时,可将地球视为圆球,其半径为 6371 km。

二、地面点位置的表示方法

测量工作的基本任务是确定地面点的位置。确定地面点的空间位置需要三个量,即平面坐标和高程。

(一) 平面坐标

1. 地理坐标

在球面上,地面点的位置通常用经纬度表示。某点的经纬度称为该点的地理坐标。

如图 1-3 所示,NS 为地球自转轴,称为地轴。通过地轴和地球上任意一点 P 的平面与地球表面的交线称为 P 点的真子午线或经线。通过英国格林尼治天文台的子午线,称为本初子午线。垂直于地轴的各平面与地球表面的交线,称为纬线。过地心且与地轴垂直的平面称为赤道面,赤道面与地球表面的交线称为赤道。

经度从本初子午线起算,向东为东经($0^\circ \sim 180^\circ$),向西为西经($0^\circ \sim -180^\circ$),经度通常用符号 λ 表示。纬度从赤道起算,向北为北纬($0^\circ \sim 90^\circ$),向南为南纬($0^\circ \sim$

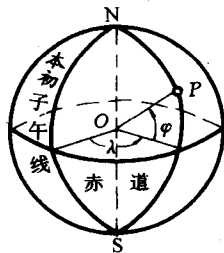


图 1-3

-90°), 纬度通常用符号 φ 表示。我国位于东半球和北半球, 所以国内的地理坐标都是东经和北纬。例如北京市某点的地理坐标为东经 $116^\circ 20' 50''$ 、北纬 $39^\circ 55' 37''$ 。

上述 P 点的经纬度, 称为天文经纬度, 它是以过 P 点的铅垂线为依据的。若以椭球面的法线为依据, 则 P 点的经纬度称为大地经纬度, 并分别以 L 表示大地经度, 以 B 表示大地纬度。由于所依据的基准线不同, 所以两者稍有差异, 但差异很小, 在地形测量中可不予考虑。

2. 平面直角坐标

大地水准面虽是曲面, 但当测量区域较小(如在半径小于 10 km 的范围内)时, 可以将其当做平面来看待。在这种情况下, 地面点的位置可用平面直角坐标表示。图 1-4 所示为测量工作中采用的坐标系。规定南北方向为纵轴, 记为 x 轴, x 轴向北为正, 向南为负; 以东西方向为横轴, 记为 y 轴, y 轴向东为正, 向西为负。测量坐标系的 I、II、III、IV 象限为顺时针方向编号。测量坐标系与数学坐标系的规定是不同的, 其目的是为了便于定向, 可以不改变数学公式而直接将其应用于测量计算中。地面某点 P 的平面位置可用 x_P 和 y_P 表示。

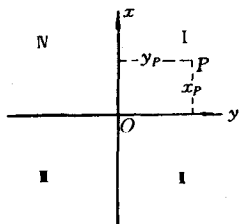


图 1-4

当测区范围较大时, 就不能把水准面看做水平面, 必须采用适当的投影方法, 建立全球性的统一平面直角坐标系。测量中通常采用高斯投影方法和高斯平面直角坐标系, 有关内容将在本书第 8 章介绍。

(二) 高程

1. 绝对高程

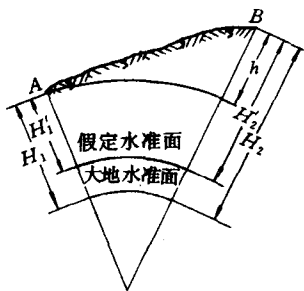


图 1-5

地面点到大地水准面的铅垂距离, 称为该点的绝对高程或海拔。两点间的高程差, 称为高差。如图 1-5 所示, H_1 、 H_2 分别表示 A 、 B 两点的绝对高程, h 为两点间的高程差, 即:

$$h = H_2 - H_1 \quad (1-2)$$

解放前, 我国采用的高程基准面十分混乱, 解放后国家在青岛设立了验潮站。根据 1950~1956 年的验潮资料, 推算的黄海平均海水面作为我国高程的起算面。据此推求的青岛国家水准原点的高程为 72.289 m。这一系统简称为“1956 年黄海高程系”。80 年代初, 国家又根据 1953~1979 年的验潮资料, 推算出新的平均海水面。据此推求的青岛国家水准原点的高程为 72.260 m。这一系统称为“1985 年国家高程基准”。该基准于 1985 年执行, 因此当使用以前的高程测量成果时, 应注意高程基准的统一和

换算。

2. 假定高程

在局部地区或某项工程建设中,当引测绝对高程有困难时,可以任意假定一个水准面为高程起算面。从某点到假定水准面的垂直距离,称为该点的假定高程或相对高程。如图 1-5 中 H'_1 、 H'_2 为 A、B 两点的假定高程。采用假定高程时,应先在测区内选定一个高程基准点并确定其假定高程值,再以它为基准推算其他各点的假定高程。但应注意,在一个特定的区域内,只能选择一个假定水准面,否则,会发生混乱。

1.3 测量工作概述

做任何工作都必须遵循一定的原则,按照一定的步骤进行,才能做到有条不紊、保质保量。测量工作也不例外。

测量工作的服务领域虽然十分广泛,内容也很繁杂,但其含义不外乎两大类:即地形图测绘和施工放样。其基本工作内容就是测角、测距和测高差。

地球表面复杂多样的形态可分为地物和地貌两大类。地面上的固定性物体,如房屋、道路、桥梁等,称为地物;地球表面各种高低起伏的形态,如高山、深谷、陡坡、悬崖和冲沟等,称为地貌。地物和地貌总称为地形。下面以将地物和地貌测绘到图纸上为例,介绍测量工作的原则和程序。

图 1-6(a)所示为一幢房屋的示意图,其平面位置图由一些折线组成,如能确定 1~4 各点的平面位置,则这幢房屋的位置就确定了。图 1-6(b)所示是一个池塘的示意图,只要能确定 5~16 各点的平面位置,则这个池塘的位置也就确定了。一般将表示地物形态变化的 1~16 点称为地物特征点,也叫碎部点。至于地貌,虽然其地势起伏变化较大,但仍然可以根据其方向和坡度的变化,确定其特

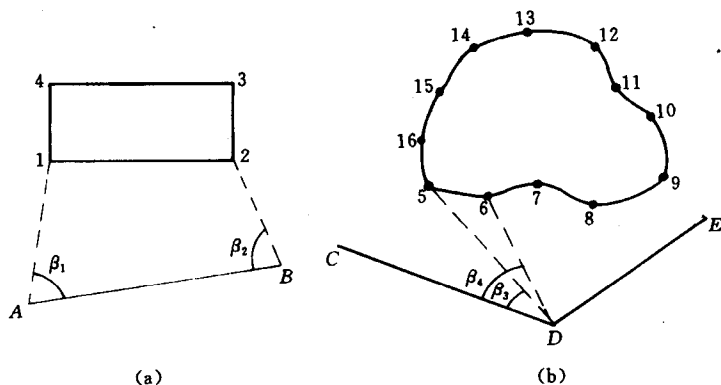


图 1-6

征点,并据此把握地貌的形状和大小。因此,不论地物还是地貌,其形状和大小都是由一系列特征点(或碎部点)的位置决定的。测图工作主要就是测定这些碎部点的平面坐标和高程。

如图1-6所示,如果事先已用较精确的方法测定了 A 、 B 、 C 、 D 、 E 点的坐标,测图时,在 A 点架设仪器,测出1点与 AB 边的夹角 β_1 和1点到 A 的距离,则根据 A 、 B 两点的坐标,就可求出1点的坐标。同理,可求出2、3……16等各点的坐标。有了这些坐标,就可以在图纸上绘制地形图了。在测量工作中,把 A 、 B ……诸点称为控制点,由控制测量方法得到,而测定碎部点1、2……的工作,称为碎部测量。因此,测定碎部点的位置通常分两步进行:先进行控制测量,再进行碎部测量。这种“先控制后碎部、从整体到局部”的方法是测量工作应遵循的原则。只有这样,才能保证全国统一的坐标系统和高程系统,使地形图可以分幅测绘,加快测图速度;才能减少误差的累积,保证测量成果的精度。测量工作应遵循的另一个原则就是“步步有检核”。这一原则的含义是,测量工作的每项成果必须要有检核,检查无误后方能进行下一步工作,中间环节只要有一步出错,以后的工作就会徒劳无益。如从上述测图过程可知,当测定控制点的相对位置有错误时,以其为基础所测定的碎部点位也就有错误。因此,只有坚持“步步有检核”的原则,才能保证测量成果合乎技术规范的要求。

综上所述,无论是控制测量、碎部测量还是施工放样,其实质都是确定地面点的位置,也就是先测定三个元素——水平角 β 、水平距离 l 和高差 h 。所以说,高程测量、距离测量和水平角测量是测量的基本工作,观测、计算和绘图是测量工作的基本技能。

复习思考题

1. 测量工作在各类工程中有哪些作用?
2. 测定和测设有何区别?
3. 何谓大地水准面、绝对高程和假定高程?
4. 测量学中的平面直角坐标系与数学中坐标系的表示方法有何不同?
5. 测量工作的两个原则及其作用是什么?
6. 测量工作的基本内容是什么?

第2章 距离测量和直线定向

2.1 距离测量

距离测量是测量的基本工作之一。所谓距离,就是指两点间的水平直线距离。如果测量的是斜距,还必须将其换算为水平距离。

一、量距工具

测量距离的工具通常有钢卷尺、布卷尺(皮尺)、测绳、光电测距仪和光学视距仪等。测距的辅助工具有测钎和花杆等(见图 2-1)。本节主要讨论钢尺量距和光电测距方法。

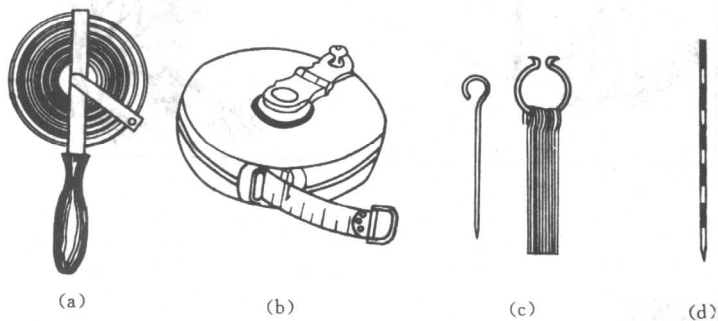


图 2-1

(a) 钢尺 (b) 皮尺 (c) 测钎 (d) 花杆

钢尺是用薄钢制成的带尺,常用的钢尺宽度为 1.0~1.5 cm,长度有 2 m、20 m、30 m、50 m 等多种,其中以 30 m 和 50 m 长的钢尺最为常用。

钢尺的零分划位置有两种形式:一种是零点位于尺端(拉环的外缘),这种尺子称为端点尺[图 2-2(a)];另一种有零分划线,这种尺子称为刻线尺[图 2-2(b)]。端点尺因零点易受磨损而不如刻线尺好。

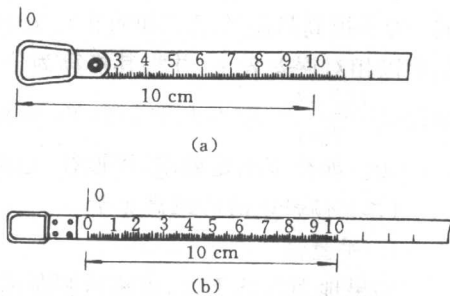


图 2-2

(a) 端点尺 (b) 刻线尺

二、直线定线

当两点间的距离大于钢尺长度时,需分段丈量。分段点必须位于同一直线上。将分段点标定在一条直线上的工作称为直线定线。直线定线可以用仪器来完成,当精度要求不高时也可以用目估法定线,即人眼用三点一线的原理将分段点标定于同一直线(图 2-3)。

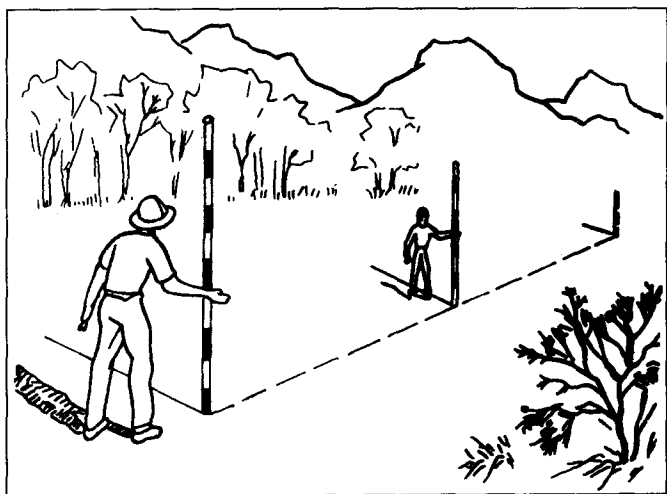


图 2-3

三、钢尺量距

定线完毕后,就可用钢尺进行量距了。下面介绍用钢尺量距的一般方法。

(一) 平坦地面的距离丈量

在平坦地面丈量距离时,可把尺子放在地面上进行。丈量工作一般由两人完成。为了提高量距的精度和防止丈量中出现错误,丈量至少要往返各一次。量距精度以相对误差表示,并将其换算为分子为1的分数形式。一般规定,往、返测相对误差 $\frac{|l_{\text{往}} - l_{\text{返}}|}{l_{\text{平均}}}$ 应不大于 $1/2000$,在量距困难的地区,其相对误差也不应大于 $1/1000$ 。如精度满足要求,可取往、返测距离的平均值 $l_{\text{平均}}$ 作为丈量最后结果。

(二) 倾斜地面的距离丈量

1. 平量法

如果地面起伏不大,可将待测距离分段,然后用钢尺拉平丈量(如图2-4)。丈量时将尺子一端抬高,并用目估法使尺子大致水平,然后用测钎将尺子的端点投到地面上。若量得各段的水平距离为 l_1 、 l_2 、 l_3 ,则 $l = l_1 + l_2 + l_3$ 。