

中等技术学校教材

测 量 学

北京水力发电学校編

水利电力出版社

內 容 提 要

本书为中等技术学校的教材。全书共分十三章，包括直綫丈量，直綫定向，水平角測量，几何水准測量，三角高程測量，气压高程測量，視距測量，导綫測量，三角控制測量，碎部測量，路綫水准測量工作和工程建筑物的桩定工作等。

本书除适用于水利电力部系統之中等技术学校水利工程和水力发电工程等相关专业外，还可供省、专区、县的水利技术人員作为工作和学习中的参考。

測 量 学

北京水力发电学校編

*

2201 S 669

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里内）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店北京科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168 1/32开本 * 5 1/2印張 * 150千字

1959年9月北京第1版

1959年9月北京第1次印刷(0001—4,690册)

統一书号：15143·1777 定价(第9类)0.79元

目 录

第一章 緒論	4
§1-1 測量學研究的對象及分類	4
§1-2 測量學發展簡史	4
§1-3 測量在國民經濟建設和國防建設上的作用	6
§1-4 地球的形狀和大小	7
§1-5 測量學上的基準綫及基準面	8
§1-6 測量的概念	10
§1-7 測量誤差的概念	11
第二章 直綫丈量	13
§2-1 地面上點和直綫的標誌	13
§2-2 直綫定綫	15
§2-3 直綫丈量使用的工具	17
§2-4 丈量方法及計算	19
第三章 直綫定向	25
§3-1 直綫定向的意義	25
§3-2 真方位角與磁方位角的关系	25
§3-3 座標方位角與象限角的关系	27
§3-4 正方位角及反方位角, 正象限角及反象限角	27
§3-5 羅盤儀的構造及使用	29
第四章 水平角測量	32
§4-1 水平角測量原理	32
§4-2 經緯儀構造及使用	33
§4-3 經緯儀的主要部件原理	37
§4-4 經緯儀的安置及使用	47
§4-5 經緯儀的檢驗及校正	48
§4-6 水平角測量方法	54

第五章	几何水准测量	59
§5-1	水准测量的基本知識、方法及用途	59
§5-2	水准仪与水准尺及其使用	61
§5-3	水准仪的檢驗及校正	66
§5-4	水准基点及水准网的布置	67
§5-5	几何水准測量方法	69
§5-6	水准測量誤差	73
第六章	三角高程測量	74
§6-1	三角高程測量概念	74
§6-2	三角高程測量儀器的垂直度盤	75
§6-3	三角高程測量實施	77
§6-4	高差計算公式	77
第七章	气压高程測量	78
§7-1	气压高程測量的概念	78
§7-2	气压測量儀器(气压計)	79
§7-3	气压計測高方法	82
§7-4	气压高程測量的計算工作	83
第八章	視距測量	86
§8-1	視距測量的概念	86
§8-2	視距測量的原理	86
§8-3	視距計算盤的应用	89
§8-4	視距計算表的应用	90
§8-5	視距常数 <i>K</i> 与 <i>C</i> 的測定	93
第九章	導綫測量	94
§9-1	導綫測量的概念	94
§9-2	導綫的种类	94
§9-3	導綫測量的外業(野外)工作	96
§9-4	導綫測量的內業(室內計算)工作	97
第十章	三角控制測量	104
§10-1	三角控制測量的意义	104

§10-2	三角测量的图形	105
§10-3	三角测量的等级	107
§10-4	三角控制测量的外业(野外)工作	108
第十一章	碎部测量	119
§11-1	碎部测量概念	119
§11-2	碎部测量使用的仪器	119
§11-3	碎部测量准备工作	124
§11-4	碎部测量基本方法	134
§11-5	地物点位置测定及精度要求	136
§11-6	地貌的测定	138
§11-7	等高线及其性质与勾绘的基本方法	140
§11-8	根据地形点高程勾绘等高线方法	143
§11-9	地形图的整理	146
§11-10	地形图的应用	146
第十二章	路线水准测量工作	156
§12-1	纵向水准测量基本目的	156
§12-2	曲线三主点计算与设置	157
§12-3	干导线上纵向水准测量具体作法	159
§12-4	纵向水准测量成果的整理	161
§12-5	横断面水准测量工作	162
§12-6	纵横断面图的绘制	164
§12-7	根据横断面测量记录绘制狭长地形图	166
第十三章	工程建筑物的桩定工作	166
§13-1	工程建筑物桩定的意义(建筑物的定位放线)	166
§13-2	标定建筑物主轴线的准备工作及几种方法	166
§13-3	厂房建筑物的测定工作	172
§13-4	土堤的桩定工作	172
§13-5	隧洞中心线的测定	173
§13-6	在地面上设直线和设水平角	174
§13-7	平曲线的测设	175
§13-8	桩定工作的特殊问题	184

第一章 緒 論

§1-1 測量學研究的對象及分類

測量學是研究地球表面各個部分的大小和形狀的科學。

它的基本任務包括下列兩方面：

一、運用各種不同的測量方法測量一部分或整個地球表面的形狀和大小，並按縮小的比例尺繪製成圖。

二、確定建築物或機器的設計位置，也就是把設計所決定的建築物位置按圖的比例尺在地面上放大並確定出來。

我們知道，地球表面是一個曲面。因此在廣大的區域內（這些區域都是曲面上的一部分）進行測量時，必須考慮到球形曲面這一情況。然而在狹小地區進行測量時，因面積小與整個地球比較起來可以當平面來考慮。因此，在測量學上分成二類：

1. 高等測量學：研究整個地球的形狀、大小，並考慮到地球為一球體來對地球表面上大區域的形狀、大小進行測定的科學。

2. 普通測量學：研究地球表面上較小區域的形狀、大小，而將這些小區域看作平面（即不考慮地球表面的曲率）來進行測定的科學。

測量學與很多科學門類之間有着密切的關係。許多科學都需要用到測量學的成果。尤其是地質學、地球物理學、土壤學以及一切工程技術科學等，這些科學都需要測量學的知識。反過來說，測量學也需要別種科學知識，例如：數學、物理學、光學、電學、天文學等等。由此可見，測量學與其它科學相互間的關係很密切，而科學愈發展，這種關係將愈密切。

§1-2 測量學發展簡史

測量學的發展與國民經濟和人民生活，以及人們對自然界征

服程度的发展是分不开的，概括起来简述如下：

早在公元前40世紀，埃及因尼罗河每年定期的泛滥，河流两岸农田边界常被淹没，每年必須經過測量来重新划定边界。繼埃及之后，希腊人約在公元前6世紀創立了大地为球形的假定，并編制了第一幅地理图，并用圓周測量角度。

約12世紀航海罗盘仪經阿拉伯人自中国傳到欧洲，15世紀哥倫布发现美洲証实了地球为球形，以及17世紀自然科学的发展，望远鏡的出現，解析几何、球面三角、对数等的发明，为測量工作奠定了一个穩固的基础。在这几个世紀里，測量学发展得很快。如法国在1730~1780年第一次进行了全国地形測量。到了20世紀，欧洲各国大致都有了較精确的地图。

苏联在16世紀已开始編繪了俄国第一張地图。偉大的十月社会主义革命胜利后，苏維埃政府頒布了列宁亲自簽署的指令，成立了国家測繪总局，統一了全国基本測量工作，測制全国性的地形图。現在全国大部地区已完成了各种測量工作，并已有了精确而詳細的地图。

我国古代利用磁石制成了世界上最早的指南工具，解决了測量工作中的定向問題。殷周就已設置过专管图籍的官吏。晉代(3世紀)裴秀制定了“制图六体”，这是世界上最早的制图工作规范。元代(13世紀)郭守敬发起測量全国緯度的計劃。清朝康熙(18世紀)时曾測全国各省重要市鎮經度。国民党統治时期，全国各省虽曾設过測量局，但測得之图大部均质量过低，且数量甚少，不能滿足建設的需要。

自1949年偉大的中华人民共和国成立后，由于社会主义建設事业蓬勃发展的需要，測繪事业有了迅速的发展，各項工作都取得了很大成績，并培养了大批測繪专门人材。目前全国性大規模的測量工作正在展开，并初步获得了成績。我們深信，在党的領導下，只要我們堅定信心，辛勤地劳动，那么一定会使祖国的測繪事业大放光彩，使之更好地为建設服务。

§1-3 測量在國民經濟建設和國防建設上的作用

我們國家的建設事業正在日新月異地蓬勃發展着，我們正處在如偉大的馬克思所說的“一天等於二十年”的飛躍時代，在這樣高速度發展着的國民經濟中，測量學担负着相當重大的任務。測量工作所得的地形圖無論對於國家的經濟建設和國防建設都具有十分重要的意義。現在簡要地分述如下：

一、經濟建設方面

工業、農業、交通運輸業等部門的各項經濟建設，都需要各種比例尺的精確地圖和很多種的測量數據，才能據以擬訂準確的計劃和施工方案或進行專門的圖上設計，使完成的事業合乎多、快、好、省的方針。

例如為了水電站的建設，要進行設計，必須事先進行一系列的多種勘測工作，首先要測出建站地區的地形圖，然後才能在這個圖上並根據一系列的其它測量數據（如測得的地勢高程的數據等）來解決建築物和壩址的位置及其穩固程度、發電能力以及攔河壩所引起的水淹地區面積、庫容量的計算等等問題。

在修建工廠、火力發電廠、鐵路、公路、橋梁、碼頭、礦山，以及其他工程建築物前，也需要根據測量所得的地形圖及一系列的測量數據來選擇最合适的位置及路線。又如在開隧道時就需要特設的測量工作（即大地控制網），來準確決定隧道的軸綫，確保開掘方向的高度可靠性，其次在某些工廠的一些大中型機器的安裝，也往往需要精密的測量工作來控制和保障其安裝的可靠性和準確性，從而最大可能地消除或避免安裝上的不精確或其它意外。

測量學與地質學的關係尤為密切，我國地下寶藏豐富，某些地區岩層複雜，地質查勘就必須要有精確的地形圖作為依據，在圖上來進行測制地質查勘點完成各種地質圖，提供設計施工部門。

總之，由上述種種來看，測量學對經濟建設的作用不能不說

是相当巨大的。

二、国防建設方面

精确完整的地形图，在国防事业中是很重要的。战场上指挥員要根据地形图作战略战术上的布置，尤其在現代化战争中，各级总指挥部更必需根据各种比例尺的地图，部署各种兵种和野战部队。“地图是指挥員的眼睛”，可見其重要了。军队調动时要根据地图决定行軍路綫和宿营地及各兵种配备，在战斗配置中还必需根据精确的地图以充分利用有利地形来杀伤敌人。炮兵要根据地图选择制高点、观测所及射击障地。航空部队要根据地图作自己路綫的計劃，以及降落場，攻击点的选择等。軍事工程师要根据地形图草拟坚固的或临时的防御工事計劃。医务人員要根据地形图作野战医院、綑带所、救护站的选择。在現代国防化学战斗中利用地形图找出地势高低的趋向来机动兵力更具有重要意义。总之由此很清楚地可以看到，地形图在战略战术中是取得有利地形的保証。現在我們国家人民一方面大力地从事和平建設，另一方面还必須百倍警惕地巩固我們的国防。这样就給我們完成我国精密完整的地形图，提出了艰巨而又光榮的任务。

§1-4 地球的形狀和大小

要研究測量学，首先必須对測量学的根本对象——地球的形狀大小有一个明确的概念。

地球的形狀大小究竟怎样呢？如果只需初步的研究（或粗略地研究）这一問題时，我們可以將地球当作一个球体，半徑约为 6,371 公里。

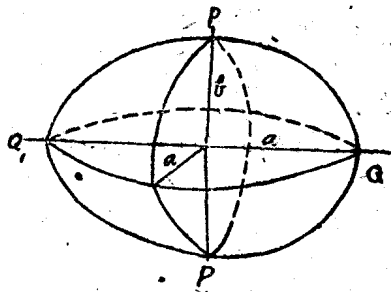


图 1-1

然而，我們进一步严格地来研究，就可以知道地球实际上是一个两极稍扁的旋轉橢圓体

(如图1-1)。

这个椭圆体的大小可用其元素(即称地球椭圆体元素): 长半径 a , 短半径 b , 扁率 $e = \frac{a-b}{a}$ 来表示。地球椭圆体元素历年来世界上已有不少国家的一些科学家以不同的精确度先后测定和计算过, 所得出的结果也各不相同, 这里选择了一些主要的列举如下表:

计算者	年代和国家	a (公尺)	b (公尺)	$e = \frac{a-b}{a}$
白塞尔	1841德国	6377397	6356079	$\frac{1}{299.2}$
克拉克	1880英国	6378249	6356515	$\frac{1}{293.5}$
海福特	1909美国	6378388	6356909	—
克拉索夫斯基	1940苏联	6378245	6356863	$\frac{1}{298.3}$

海福特元素在1924年于马德里代表大会上, 大地测量及地球物理学会中选定为国际统一采用的椭圆体数据, 我国过去也曾采用过。

克拉索夫斯基元素, 是在最先进的科学的测量工作基础上求得的, 精确度很高。这一工作曾获得斯大林奖金。苏联在1946年采用。

我国自1951年开始已采用克拉索夫斯基的地球椭圆体元素 a 、 b 及 e 。

应当指出, 最精确的地球椭圆体元素的测定, 对于全世界的测量科学是极大的贡献。

§1-5 测量学上的基准线及基准面

一、铅垂线、水平线和水平面

1. 鉛垂綫：重力綫的方向 称为 鉛垂綫：如图 1-2，吊一垂球，球受重力方向的吸引，則該垂球的垂球綫可視作鉛垂綫；

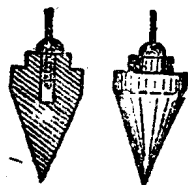


图 1-2

2. 水平綫：垂直于鉛垂綫的綫；

3. 水平面：垂直于鉛垂綫的面。

二、地表面和大地水准面

1. 地表面：地球上起伏的自然表面，如山脉河流等。大家知道地表面起伏很大。最高的山高达 8,800 公尺，最深的海低达 -18,000 公尺。既然如此，我們要測量这些山脉海洋河流等的位置和高低就必须选择一个基准面，以它为准来量定这些山脉海洋河流等的高程及分布位置。測量是在地球上进行的，而海洋恰占了整个地球的四分之三，因此，我們就可以利用静止的海水面来考虑选择其准面的問題。

2. 大地水准面：静止时的水表面称为水准面。假想海水为静止的表面，将这个面延长穿截整个地球大陆，而得的一个闭合曲面，称为大地水准面。

必須指出，当海水面静止时，其海水每一个质点必然会受到地球重力的吸引，因此，我們說大地水准面的重要特性就是：这个面上任何一点的鉛垂綫均垂直于这个表面。

由于地球内部物质分布不均，地球上各点的重力会发生局部的变化，鉛垂方向便有局部的偏斜。因此作为处处与之垂直的大地水准面来讲，显然是一个不规则的表面。

上述大地水准面看来，似乎是假想的，但是实际上我們的測量工作也就是以这个面为基础的。例如：測量工作都是利用水准器来安置仪器的，而水准器气泡的居中就直接受着地球上点的重力(或称鉛垂方向)的引向的，显然这样的情况是完全附合于大地水准面特性的，再如測量上一切高程的起算，均应用海水平均高度面而开始起算的，于是不难設想我們測量所得的这些結果，應該說是在以大地水准面作为基准面的。

§1-6 测量的概念

一、地面点的平面位置

地面上点是高低起伏很不规则的，必须应用投影的方法才能绘在图纸上，我们用铅垂线作为投影方向，将地表面上的点投影在一个水平面上，这水平面叫做投影面。投影面上点 a, b, c, d, e 相应于地面上点 A, B, C, D, E ，当地表面上 $\overline{AB}, \overline{BC}, \overline{CD}, \overline{DE}, \overline{EA}$ 等直线不为水平时，则它们与相应的投影面上投影线段 $\overline{ab}, \overline{bc}, \overline{cd}, \overline{de}, \overline{ea}$ 之长度也必不相等。在实际测量时需要将地表面上的倾斜线长度化算成投影面上的水平长度。

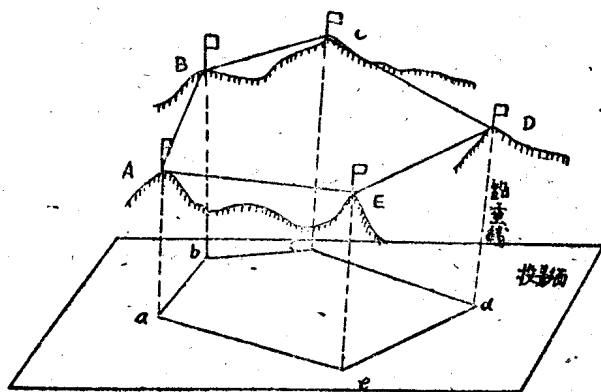


图 1-3

二、高程

表示点的位置不仅是用平面位置来表示，而且还要表示点的高程，否则起伏就表现不出来了，表示点位高程的方法有下列二种：

1. 绝对高程：由大地水准面起算的高(又称海拔)；
2. 相对高程：由假定的任意一水准面起算的高。图中 Δh_{AB} ，称 AB 两点之高程差简称高差，即

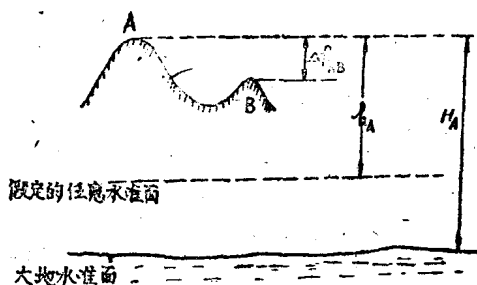


图 1-4

$$\Delta h_{AB} = H_A - H_B = h_A - h_B.$$

三、测量概念

为了繪制某一地区的地形图，而在野外进行的各种量度（如量距，测角，测高等）称为测量。由测量的结果可确定地面上各点的相互位置（平面位置及高程）。

在测量某一地区时，我们可以采用不同的步骤进行。例如，从一个起点逐次量度，从一点到另一点的进行，最后完成所有各点的位置的测定。但是这种方法不好，因为前一个点量度的误差，将传到最后一点，使误差可能累积起来，大大的影响测量结果的精确度。因此我们要采用另外一种步骤：

1. 敷設控制网：由许多地面点的連線組成的网形称控制网。我们以足够的精确度来测定网的各个边长及角度，然后通过一系列的計算求出各地面点（称控制点）的座标（即平面位置）和高程。

2. 进行碎部测图：即測繪地形图。此时地形图的測繪完全是以控制点作为依据的。显然，如果控制点本身具有足够的精确度时，那么依此而測得的地图的精确度也就有了足够的保証，不会超出一定的限度范围，或者说地形图的精确度严格的受到控制点精确程度的控制。

§1-7 测量误差的概念

一、测量误差产生的原因

在实际的测量工作中，由于种种原因，不可避免的会使我們

測量的結果中包含有誤差，歸納起來，其原因不外下列三種：

1. 儀器誤差：由於儀器不夠完善所引起的誤差（例如尺的長度不準確等）；

2. 外界誤差：測量時受外界環境的影響所產生的誤差（如溫度的變化，大氣折光等）；

3. 人差：由於人的感覺器官的某些限制所引起的誤差（如測量者眼睛的鑑別能力的某些不足等）。

二、測量誤差種類按照誤差性質的不同，誤差可分為三類

1. 粗差：由於觀測者或記錄者粗心大意所造成的錯誤稱粗差。例如，數字6誤讀為9，數字4誤聽為10，以及計算上的錯誤等。顯然粗差是可以避免的，尤其是經過嚴格的或重複多次的測量是很容易發現，並且可以糾正的。

2. 系統誤差：在一定的條件下，誤差的出現，無論在數值上或在符號上，一般都是比較固定的，且隨着觀測次數的增加而積累，這種誤差稱為系統誤差。例如，有一條鋼尺比標準尺長2公厘用它來量長度時，每量一次產生-2公厘的誤差，量十次則有 $(-2)\text{公厘} + (-2)\text{公厘} + (-2)\text{公厘} + (-2)\text{公厘}$ ，共十個相加，總影響為-20公厘。此類誤差其數值與符號出現均為相同，且隨着量的次數而積累的，因此，稱為系統誤差。

不难看出，系統誤差也同樣是可以通过各种方法来加以消除的。如果首先將鋼尺與標準尺長進行比較，知道其過長的數值後，按照測量的次數計算出改正數的大小，在測量結果中加計算改正，如此誤差便可消除了。

3. 偶然誤差：凡誤差出現純粹屬於偶然性質，其出現的大小不能確知，符號為正為負又有同樣出現的可能的，稱為偶然誤差。

例如，用望遠鏡去瞄準一測量目標，由於我們眼睛的缺點和望遠鏡放大倍數的不足，因而使觀測目標象的線條混淆不夠清晰，以致產生的誤差，既不能確知其大小，且誤差正負符號的出現都有相同的可能。

必須指出，正是由于偶然誤差具有其特有的偶然特性，因此它是不可进行消除的。在測量学中專門另辟課題——“測量平差法”来进行研究，此处不加詳述。

第二章 直綫丈量

§2-1 地面上点和直綫的标志

任何一种測量，都是以点的測量开始，点可以組成綫。因此在測量时，对于点的选择和安排是十分重要的。在地面上将点确定以后，应该把它标志出来，标志方法是根据測量目的、要求和使用期限不同来决定，使用期限短的，通常用木桩打入地面来标定。如果点使用期限較长，且要求測量精度較高时，可用石桩、混凝土桩、金属細杆等。具体采用那种方法，要依据現場材料及地区的土质(軟土、硬土、岩石等)而决定，如图 2-1 所示。

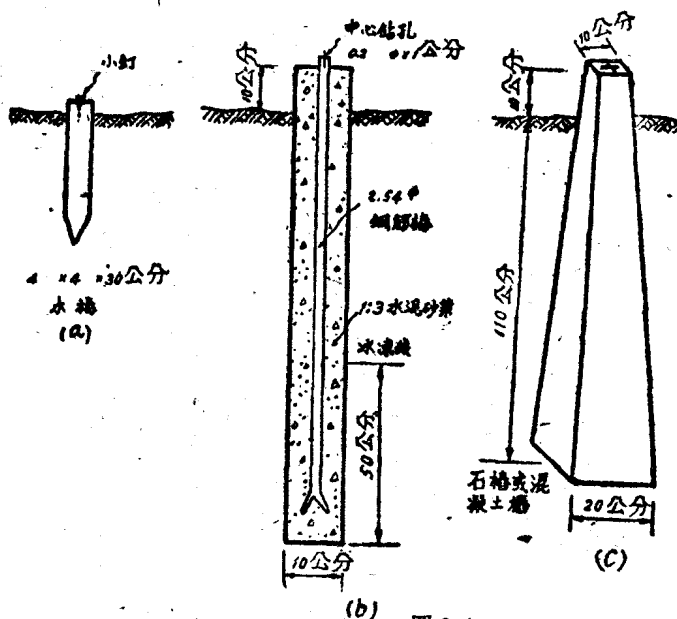


图 2-1

在某些重要点，根据需要尚需繪制附近的地形草图，如图2-2所示。此外，为了容易找到点位，并能得到很好的保护，有时在点的周围挖一个圆形边沟。

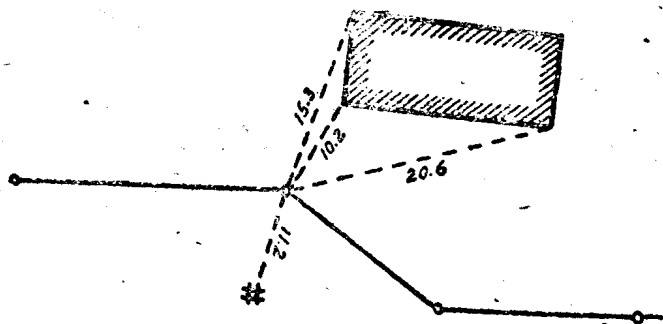


图 2-2

点的标志一般均設置于地面上，远处往往很难看到，为了使相距較远的点間就能得到相互通視，故在距离較远或全国性的控制点上还应建造三脚或四脚型的錐形觇标，如图 2-3 所示。

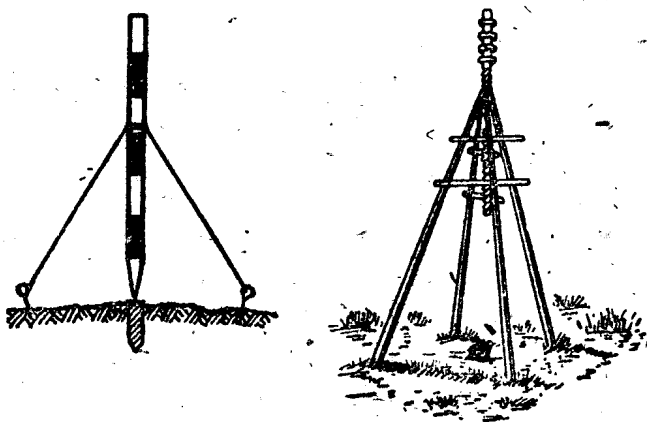


图 2-3

普通測量中由于点間距离較短，故一般均采用直徑約 5 公分

长达2~3公尺的标杆代替觇标，方法是直接在点上豎立标杆，以便于点与点之間能相互瞄准。

§2-2 直綫定綫

为了使各标杆点都能严格的齐列在一条直綫上而进行工作，称为直綫定綫。

定綫可用眼睛来目估，称为目估定綫。也可用带有望远鏡的仪器来进行較精密的定綫，称为精密定綫。其方法如下：

一、在兩点的延長綫上定綫(图2-4)

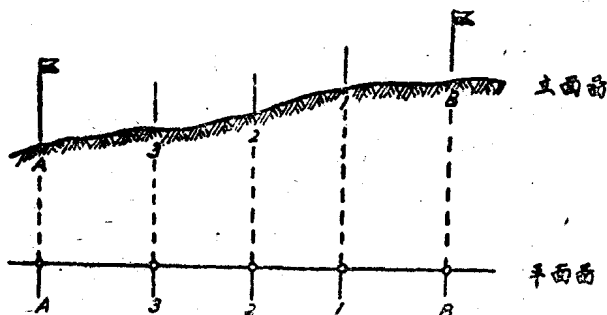


图 2-4

延長标杆 AB 所定的直綫，定綫員拿足够数量的标杆，采用目估法在方向綫上豎立标杆1，从1向 BA 看三杆是否重合，如不重合向左(或右)移动，直至重合为止，然后插紧标杆1。同法用目估繼續定出2、3等各点。

二、在兩点間定綫(图2-5)

設直綫 AB 可以互相看見，且点上分別立有标杆。用目估定綫即一人(甲)立在 A 后几步，插上 B 杆，另一人(乙)带足够的标杆，以 B 开始，按甲的指揮，順序地在 AB 方向綫上豎立标杆1、2、3这时如果沿方向綫插准，标杆都应重合在一起。定綫时要注意将标杆扶直或者插直。由直綫远处向近处一端逐次豎立标杆时，称为走近定綫。反之称为走远定綫。走近定綫較走远定綫准些。