# 第二篇

# 矿山工程测量与制图

# 第一章　矿山工程测量概述

## 第一节　矿山测量工作的主要任务

测量学的研究对象是地球表面的形状、大小和地面点之间的相对位置。它的基本任务有两项：一项是测绘各种地形图及其他图纸，供经济建设、国防建设和科学研究进行规划设计之用，简称为测图；另一项是把图纸上设计好的建筑物、构筑物的位置，用测量方法标定于实地，作为施工的依据，通称为施工放样（或称测设、标定）。测量工作包括大地测量、地形测量和工程测量等。煤矿测量，如果单从测量的范畴看，是一种工程测量；但它是为煤矿的建设和生产服务的，从它研究的内容和服务的对象看，则是采矿工程学科的组成部分。

能源部 1989 年颁发的《煤矿测量规程》中提出煤矿测量工作的主要任务为下列九项：

（1）建立矿区地面和井下（露天坑）测量控制系统，为煤矿各项测量工作提供起算数据；

（2）依据设计文件，进行采掘（剥）、土建、管线和机电安装等工程测量工作，并在煤矿基本建设和生产各个阶段，对采掘（剥）工程是否按设计施工进行检查和监督；

（3）利用测绘资料，解决煤矿生产，建设和改造中提出的各种测绘问题，并为煤矿灾害的预防，救护提供有关的测绘资料；

（4）测绘各种煤矿测量图，满足煤矿生产、建设和规划各阶段的需要；

(5)定期进行矿井“三量”(开拓煤量、准备煤量和回采煤量)、露天矿“二量”(开拓矿量、回采煤量)和露天矿采剥量的统计分析,正确反映煤矿采掘(剥)关系现状。按《生产矿井储量管理规程》的要求,对煤矿各级储量动态及损失量进行统计和管理工作,对煤炭资源的合理开采进行业务监督;

(6)建立地表、岩层和建(构)筑物变形观测站,开展矿区地表与岩层移动规律、采矿或非采矿沉陷综合治理以及环境保护工作的研究;

(7)根据矿区地表与岩层移动变形参数,设计和修改各类保护煤柱。参与“三下”(铁路下、水体下和建筑下)采煤和塌陷区综合治理以及土地征用和村庄搬迁的方案设计和实施;

(8)进行矿区范围内韵地籍测量;

(9)参与本矿区(矿)月度、季度、年度生产计划和长远发展规划的编制工作。

前四项任务基本属工程测量范畴,主要是测图和施工放样。第5项、第9项任务是参与煤矿生产管理工作。第6项、第7项任务是有关“三下”采煤和矿区综合治理问题。第8项任务是近几年刚进行的,由此看出,煤矿测量工作是相当宽广的,任务是很重要的,它是矿山建设、生产、改造和编制长远发展规划等各项工作的基础。

上述任务,在一些局、矿已由地测部门来负责。由于各矿务局(矿)的具体情况不同,管理体制也有所差别,不能强求一致。

小型煤矿测量的任务和上述任务没有根本的区别,只是矿区范围小,测量精度要求低些,相应的测量工作简单一些,有些工作可能不一定进行。

## 第二节　地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的,有许多测量问题与地球形状、大小有关。

### 一、地球的自然表面

实际地球表面称为地球的自然表面。它上面自然地分布着高山、深谷、陆地、海洋、丘陵、平原等,是很不平坦的复杂曲面,不可能用某种数学公式表示出来。因此,在地球的自然表面上,进行测量的成果整理、计算与绘图,也将是不可能的。这就要求人们找一个与地球形状近似且又规则的曲面来代替地球的自然表面。

## 二、大地水准面

地球的自然表面上，海洋约占 71%，陆地约占 29%。世界上最高的珠穆朗玛峰高出海平面 8848.13m，最低的马里亚纳海沟斐查兹淘渊低于海平面 11043m。这样的高低起伏，相对于庞大的、半径约为 6371km 的地球来说是微不足道的。因此，对于地球的形状，人们可以看成是一个被海水包围的球体。

设想有一个静止的海水面，延伸并穿过陆地而形成一个封闭的曲面，这个静止的海水面称为水准面。水准面的特点是水准面上任何一点的铅垂线（重力方向线）都垂直于该面。水准面有无数多个，其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面。由大地水准面所包围的地球形体，称为大地体。

由于地球内部物质分布不均匀，所以地面上各点的铅垂线方向随之产生不规则的变化，致使大地水准面成为有微小起伏的不规则的曲面，在这样的曲面上也无法进行计算。为此，需选用一个与大地水准面相近似的几何面宋代替它。

## 三、参考椭球体

测量科学工作者根据大量的观测数据，推算了一个非常接近大地体，并可用数学公式表达的几何形体代替大地体，这就是地球椭球体，又称参考椭球体，如图 2－1－1a。参考椭球体面与大地水准面不完全一致，有的地方稍高一些，有的地方稍低一些，如图 2－1－1b。

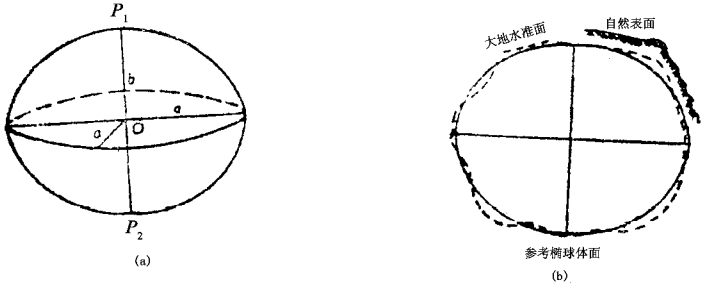



图 2－1－1

参考椭球体的大小，由长半径（轴）a、短半径（轴）b 或由一个半径和扁率 $\alpha=(a-b)/a$ 来决定。a、b、α 称为参考椭球体元素。

建国后，我国现行的大地坐标系为 1954 年北京坐标系，该系是采用苏联克拉索夫斯基椭球元素平差计算的，其参数为：

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

建国多年来，我国测绘工作者在全国范围内进行了天文大地测量，积累了丰富资料，确定建立新的国家大地坐标系，定名为 1980 年国家大地坐标系。该系采用的椭球元素为：

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

1980 年国家大地坐标系，大地原点位于陕西省泾县境内，处于全国中心位置。1980 年国家大地坐标系和 1954 年北京坐标系可互相换算。

在小型煤矿测量中，因矿区面积不大，可以把地球椭球体当作圆球看待，它的半径取为 6371m。

## 第三节　确定地面点位置的坐标系统

测量中的主要工作，是测定地面点的位置。地面点的位置是用坐标和高程表示的。

### 一、地面点的坐标

#### (一)地理坐标

地理坐标就是用经纬度来表示地面点的球面坐标，坐标值都是角值。如图 2－1－2，NS 为旋转椭球体的旋转轴，通称地轴，O 为地球中心。过地轴的任一平面称子午面，子午面与椭球面的交线称子午线，又称经线。通过英国格林尼治天文台的子午面及子午线，国际公认为首子午面和首子午线。过地球中心且与地轴垂直的平面称赤道面。赤道平面与椭球表面的交线称为赤道。其他凡垂直于地轴的平面与椭球面的交线称纬线。

地理坐标系统，就是以首子午面和赤道面来作为起算面的。

通过地面上任一点 P 的子午面和首子午面所夹的两面角，称为该点 P 的经度，通常用希腊字母 $\lambda$ 表示。经度从首子午面起，向东 0° ~ 180°，叫东径；向西 0° ~ 180°，叫西径。过 P 点作球面的法线与赤道平面的交角，称为 P 点的纬度，通常用希腊字母 $\varphi$ 表示。纬度从赤道平面算起，向北 0° ~ 90°，叫北纬，向南 0° ~ 90°，叫南纬。

#### (二)平面直角坐标

地面点的位置可用地理坐标来表示。但要测量与计算点的经纬度，其工作是相当繁杂的，为此，在工程测量中均用平面直角坐标来表示地面点的位置。

如图 2－1－3 所示，平面直角坐标系由两条互相垂直的坐标轴组成。南北方向为纵轴，并记为 x 轴；东西方向为横轴，并记为 y 轴；两轴交点 O 为坐标原点。纵坐标 x，从横轴向北为正（如 $x_A$），向南为负（如 $x_B$）；横坐标 y，从纵轴起向东为正（如 $y_A$），向西为负（如 $y_B$）。由纵横两坐标轴将坐标系划分为四个象限，按顺时针方向编号为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ象限。由图 2－1－3 可见，测量上的平面直角坐标系与数学上用的平面直角坐标系的区别有：(1)坐标轴的注字不同；(2)象限编号顺序相反。这样变换的目的是为了使测量计算可以直接应用数学上的三角公式而无需作任何修改。

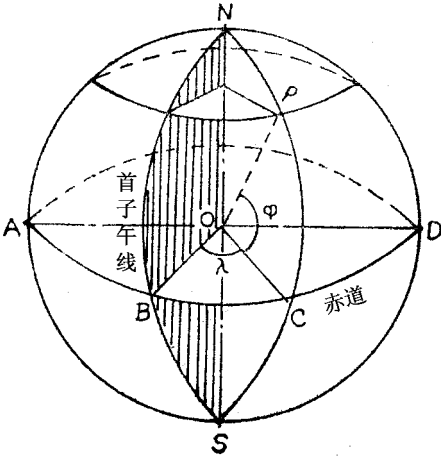



图 2－1－2

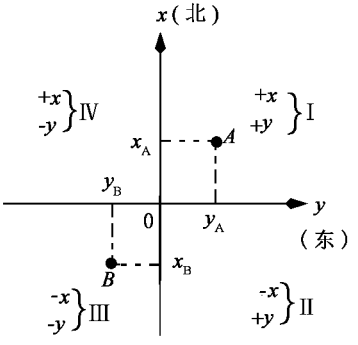



图 2－1－3

### （三）高斯平面直角坐标系

因为地球表面是曲面，当测区范围较小时，用水平面代替水准面是可以的。如果测区范围较大，就不能把地球表面的很大一块地表当成平面看待，这就必须采用适当的投

影方法使投影变形限制在一定的范围内。高斯等人提出的投影方法，较好地解决了这个问题。我国采用高斯投影分带的方法来建立统一平面直角坐标系统，通称高斯平面直角坐标系。

高斯投影原理本书从略，其分带方法如图 2－1－4 所示。按经差 6°或 3°划分投影带（图 2－1－4b），在每个投影带中以中央子午线（海带中央的子午线）为 x 轴，赤道为 y 轴，两轴的交点为坐标原点，则组成高斯平面直角坐标系。为了将长度变形限制在一定范围内，对于中小比例尺测图，采用 6°投影带，对于大比例尺测图，则采用 3°投影带。

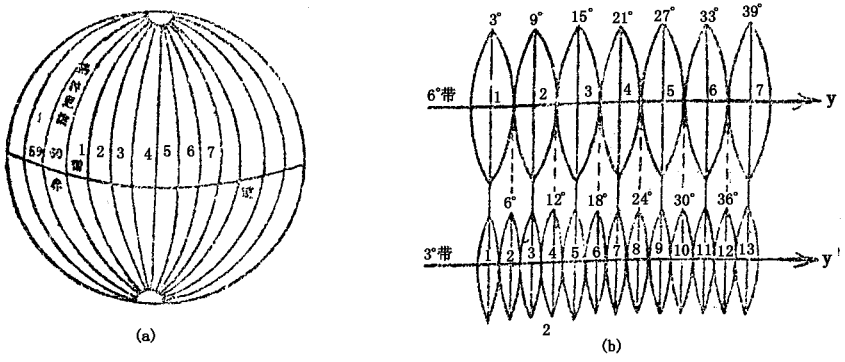



图 2－1－4

6°投影带是从首子午线起，依次向东每隔经度 6°划分为一个带，整个地球等分为 60 个投影带，并依次用阿拉伯字 1～60 编号（图 2－1－4a），即 0～b°为第 1 带，3°线为第 1 带的中央子午线，6°～12°为第 2 带，9°线为第 2 带的中央子午线，依此类推（图 2－1－4b）。

3°带自东经 1.5°的子午线起，自西向东每隔 3°为一带，将全球分为 120 个带，并依次用阿拉伯数字进行编号。它与 6°带的关系如图 2－1－4b 示。从图中可以看出，3°带的奇数带，其中央子午线与 6°带的中央子午线相重合，而其偶数带的中央子午线与 6°带的边界子午线相重合。3°带、6°带的带号，与相应的中央子午线的经度关系为：

$$\left.\begin{aligned} L_3 &= 3^\circ \times N_3 \\ L_6 &= 6^\circ \times N_6 - 3 \end{aligned}\right\} \qquad (2-1-1)$$

式中　$L_3$、$L_6$——分别为 3°带、6°带的中央子午线经度；

$N_3$、$N_6$——分别为 3°带、6°带的带号数。

这样，在每个投影带中，便构成了一个既和地理坐标有直接关系，又各带独立的平面直角坐标系。如图 2－1－5，纵坐标自赤道向北为正，向南为负，横坐标自中央子午线向东为正，向西为负。我国领土位于北半球，纵坐标均为正值，而横坐标则有正有负。为便

于计算和表示，我国规定，将 6°带及 3°带中所有点的横坐标加上 500km（6°带每带的边界子午线离中央子午线最远为三百多公里），也即将坐标原点西移 500km，这样每带中所有点的横坐标值都变成了正值。

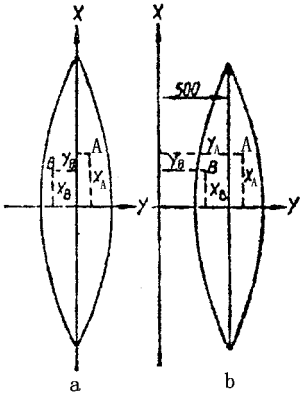



图 2－1－5

为了明确点位位于何带，还规定在加 500km 后的横坐标值前，再加上该点所在投影带的带号。未加 500km 和带号的横坐标值称为自然值，加上 500km 和带号的横坐标值称为通用值。

图 2－1－5 中，设 A、B 两点位于 3°投影带的第 40 带内，其横坐标的自然值为：

$y_A = +33580.586\text{m}$　　（位于中央子午线以东）

$y_B = -41613.070\text{m}$　　（位于中央子午线以西）

将 A、B 两点横坐标的自然值加上 500km，再加注带号，则其通用值为：

$$y_A = 40533580.586\text{m}$$

$$y_B = 40458386.930\text{m}$$

（四）独立平面直角坐标系

进行小矿区的矿图测绘时，应采用统广的高斯平面直角坐标系，使所测的图纸纳入国家统一系统，统一使用。若矿区范围内没有国家的平面控制点，无法建立国家统一平面直角坐标系，而又急需测图时，可采用独立平面直角坐标系。

独立平面直角坐标系，通常以真子午线（或磁子午线）为 x 轴（纵轴），向北为正；与纵轴相垂直的东西方向为 y 轴（横轴），向东为正。一般把坐标原点 O 选在测区的西南角，使测区内各点的坐标 x、y 值均为正值。

## 二、地面点的高程

由高程基准面(或称高程起算面)起算的地面高度叫做高程。地面点的高程是指该点到高程基准面的垂直距离。由于选用的基准面不同而有不同的高程系统。如图 2－1－6,当以大地水准面为高程基准面时,称为绝对高程,又称标高或海拔。图中,A、B 两点的绝对高程为 $H_A$ 和 $H_B$。以任意水准面为基准面时,称相对高程或假定高程。图中 A、B 两点的相对高程为 $H'_A$、$H'_B$。

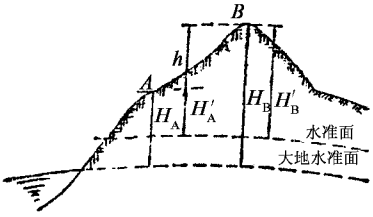



图 2－1－6

地面两点间的高程差称为高差。图中 B 点相对于 A 点的高差为:

$$h = H_B - H_A = H'_B - H'_A \qquad (2-1-2)$$

我国曾采用青岛验潮站 1950～1956 年观测成果所推算的黄海平均海水面,作为全国的高程起算面,通称 1956 年黄海高程系。新的国家高程基准称 1985 国家高程基准,业经国家批准,于 1987 年 5 月 26 日由国家测绘局发布启用。以 1985 国家高程基准为准的高程值,可在 1956 年黄海高程系高程值上改正一固定数值。

若矿区附近没有国家高程控制点时,可采用以任意水准面为准的假定高程系。

# 第四节　直线定向

在平面直角坐标中,可以根据纵横坐标确定点的平面位置。直线的方向如何确定呢?确定直线方向,就是确定直线与标准方向线间的夹角关系。

## 一、标准方向

直线定向时通常采用的标准方向有:

真子午线：即地理坐标系统中的子午线，其方向可用天文测量或陀螺经纬仪测量的方法确定。

磁子午线：磁针自由静止时，磁针轴线所指的方向，可用罗盘仪测定。

坐标纵线（轴）：平面直角坐标系的纵坐标轴（x 轴）以及平行于纵坐标轴的直线。

## 二、直线方向的表示方法——方位角与象限角

### （一）方位角

从标准方向北端起，顺时针方向量到某直线的水平角，称为该直线的方位角。方位角的取值范围是 0° ~ 360°。若以坐标纵线为标准方向来计算方位角（图 2 - 1 - 7），称坐标方位角，常简称方位角，一般用表示。在图 2 - 1 - 7 中，通过 O 点的四条直线 O1、O2、O3 和 O4，与坐标纵线的水平夹角分别为 $\alpha_1$、$\alpha_2$、$\alpha_3$ 和 $\alpha_4$，表示相应直线的坐标方位角。

若方位角是以真子午线方向为准来计算，则称真方位角；以磁子午线为准来计算，则称磁方位角。

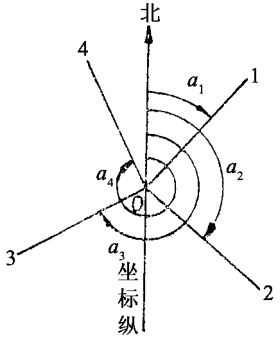



图 2 - 1 - 7

### （二）正、反坐标方位角

直线的坐标方位角与直线的方向有关。如图 2 - 1 - 8，在 2 直线的坐标方位角为 $\alpha_{12}$，2—1 直线的坐标方位角为 $\alpha_{21}$。若规定 $\alpha_{12}$ 为正坐标方位角，则 $\alpha_{21}$ 为直线 1—2 的反坐标方位角；反之亦然。正、反坐标方位角相差 180°，即

$$\alpha_{21} = \alpha_{12} \pm 180° \qquad (2-1-3)$$

式中 $\alpha_{21}$ 大小 180°时，取“ - ”号；否则，取“ + ”号。

例：　$\alpha_{12} = 30°$，则 $\alpha_{21} = 30° + 180° = 210°$

$\alpha_{12} = 320°$，则 $\alpha_{21} = 320° - 180° = 140°$

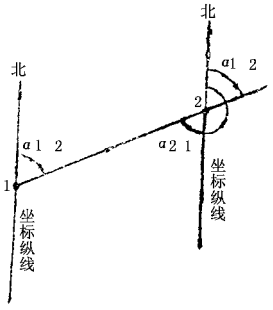



图 2－1－8

### (三)象限角

一直线和标准方向间的锐角称该直线的象限角,。以 R 表示。象限角是由标准方向的北端或南端起,按顺时针或逆时针方向量至该直线的锐角,角值由 0°～90°。用象限角表示直线方向时,除了注明角值外,还须注明直线所在象限的名称 :北东、南东、南西、北西。图 2－1－9 中,直线 O1、O2、O3 和 O4 的象限角分别表示为 :北东 $R_1$、南东 $R_2$、南西 $R_3$、北西 $R_4$。

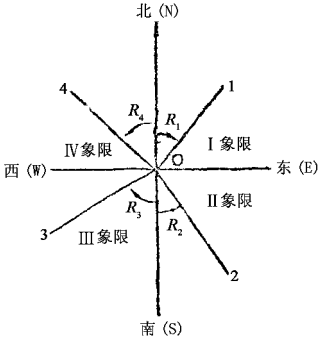



图 2－1－9

## 三、坐标方位角与角限角的关系

在测量计算中,常需把坐标方位角换算为象限角,或相反。坐标方位角与角限角的关系,如图 2－1－10 所示。它们之间的换算公式,如表 2－1－1 所列。

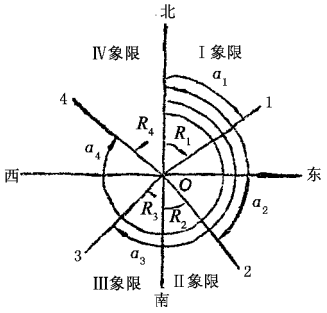



**图** 2 – 1 – 10

**表** 2 – 1 – 1

| 直线方向 | 由象限角求方位角 | 由方位角求象限角 |
|---|---|---|
| Ⅰ象限,北东 | $\alpha_1 = R_1$ | $R_1 = \alpha_1$ |
| Ⅱ象限,南东 | $\alpha_2 = 180° - R_2$ | $R_2 = 180° - \alpha_2$ |
| Ⅲ象限,南西 | $\alpha_3 = 180° + R_3$ | $R_3 = \alpha_3 - 180°$ |
| Ⅳ象限,北西 | $\alpha_4 = 360° - R_4$ | $R_4 = 360° - \alpha_4$ |

## 第五节　坐标计算原理

### 一、坐标增量

直线终点与起点坐标之差称为坐标增量。如图 2 – 1 – 11,设直线起点 A 和终点 B 的坐标分别为 $x_A$、$y_A$ 和 $x_B$、$y_B$,$\Delta x_{AB}$、$\Delta y_{AB}$分别表示由 A 到 B 的纵坐标增量和横坐标增量,即

$$\left.\begin{aligned}\Delta x_{AB} &= x_B - x_A\\ \Delta y_{AB} &= y_B - y_A\end{aligned}\right\} \qquad (2-1-4)$$

反之,若直线起点为 B,终点为 A,则 B 到 A 的纵横坐标增量为:

$$\left.\begin{aligned}\Delta x_{BA} &= x_A - x_B\\ \Delta y_{BA} &= y_A - y_B\end{aligned}\right\} \qquad (2-1-5)$$

可见，A 到 B 和 B 到 A 的坐标增量，绝对值相等，符号相反。

一直线的坐标增量的正、负号，取决于该直线的方向，图 2－1－12 所示的为坐标增量正、负号与直线方向的关系。

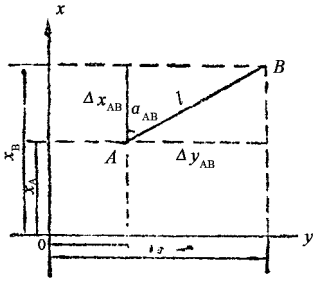



图 2－1－11

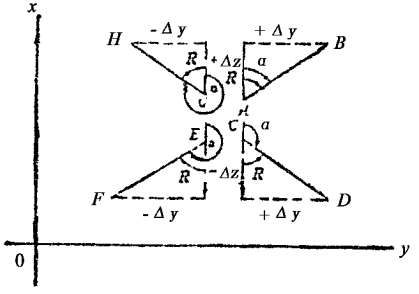



图 2－1－12

如果已知直线 AB 的长度 $l$，坐标方位角为 $\alpha_{AB}$，则 A 到 B 的坐标增量可由下式计算：

$$\left.\begin{aligned}\Delta x_{AB} &= l \cdot \cos\alpha_{AB}\\ \Delta y_{AB} &= l \cdot \sin\alpha_{AB}\end{aligned}\right\} \qquad (2-1-6)$$

坐标方位角 $\alpha_{AB}$ 由 0°～360°，故坐标增量的正、负号取决于 $\alpha_{AB}$ 所在的象限，见表 2－1－2。

## 二、坐标正算

根据直线起点的坐标，直线的水平距离及其方位角，计算直线终点的坐标，称为坐标正算。

如图 2－1－11 示，先按式(2－1－6)计算其坐标增量，则 B 点的坐标为：

$$\left.\begin{aligned}x_B &= x_A + l \cdot \cos\alpha_{AB}\\ y_B &= y_A + l \cdot \sin\alpha_{AB}\end{aligned}\right\} \qquad (2-1-7)$$

坐标增量的计算，一般用电子计算器进行。

例 1：设一直线 AB，起点 A 的坐标为：$x_A = 2507.687\text{m}$，$y_A = 1215.630\text{m}$；AB 的水平距离 $l = 225.850\text{m}$，其方位角 $\alpha_{AB} = 157°00'36''$，求 B 点坐标 $x_B$、$y_B$。

解：由公式(2－1－7)得：

$$x_B = 2507.687 + 225.850\cos 157°00'36'' = 2299.776\text{m}$$

$$y_B = 1215.630 + 225.850\sin 157°00'36'' = 1303.840\text{m}$$

表 2－1－2

| 直线的方向 | | 函数的符号 | | 坐标增量的符号 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 坐标方位角 | 相应的象限 | cos | sin | Δx | Δy |
| 0～90° | 北　东 | + | + | + | + |
| 90～180° | 南　东 | − | + | − | + |
| 180～270° | 南　西 | − | − | − | − |
| 270～360° | 北　西 | + | − | + | − |

## 三、坐标反算

根据直线起点和终点的坐标，计算直线的边长和方位角，称为坐标反算。

如图 2－1－11，若已知 A、B 两点的坐标分别为 $x_A$、$y_A$ 及 $x_B$、$y_B$，则可按下式计算 AB 直线的坐标方位角 $\alpha_{AB}$ 及长度 $l$：

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha_{AB} &= \frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \\ \alpha_{AB} &= \operatorname{arctg}\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \end{aligned}\right\} \qquad (2-1-8)$$

$$l = \frac{\Delta y_{AB}}{\sin\alpha_{AB}} = \frac{\Delta x_{AB}}{\cos\alpha_{AB}} = \sqrt{\Delta x_{AB}^2 + \Delta y_{AB}^2} \qquad (2-1-9)$$

由式(2－1－8)求出 $\alpha_{AB}$ 后，再由式(2－1－9)计算出 $l$。按正弦、余弦及坐标增量直接计算出的 $l$ 可互相校核。不论直线的坐标方位角如何，由式(2－1－8)直接计算出来的角度绝对值都为小于(或等于)90°的角限角值。故还应根据其坐标增量的正、负号，按表 2－1－1 中的关系，换算成相应的坐标方位角。

例 2：设直线 A、B 两点的坐标分别为：

$$\begin{cases} x_A = 104342.990\text{m} \\ y_A = 573814.290\text{m} \end{cases} \qquad \begin{cases} x_B = 102404.500\text{m} \\ y_B = 570525.720\text{m} \end{cases}$$

求算 AB 距离及坐标方位角。

解：　　$\Delta y_{AB} = -3288.570\text{m}$，$\Delta x_{AB} = -1938.490\text{m}$

由坐标增量的符号判断，AB 直线所指方向为第三象限，由式(2－1－8)计算出的象限角值为：

$$R_{AB} = 59°28'56''$$

则

$$\alpha_{AB} = 180° + 59°28'56'' = 239°28'56''$$

$$l_1 = \frac{\Delta y_{AB}}{\sin\alpha_{AB}} = 3817.386\text{m}，l_2 = \frac{\Delta x_{AB}}{\cos\alpha_{AB}} = 3817.385\text{m}，$$

$$l_{中} = \frac{1}{2}(s_1 + s_2) = 3817.386\text{m}$$

# 第二章　方向、距离与角度测量

## 第一节　方向测量

### 一、地面点的标志

要进行测量工作，首先应在地面上设立需要测定点的标志，共有两种：

（一）永久性标志

要求精度较高，如需长期保留时，用水泥桩或金属标埋入地下，上刻十字或圆点作为点位。

（二）临时性标志

要求精度不高，无需长期保存时，用木桩打入地面露出桩顶，钉一小钉作为点位。

为便于照准目标，在永久性标志点上需架设钢或木制觇标。在临时性标志点上可临时树立标杆。

### 二、标准方向

在测量工作中，当量出任两点间的水平距离后，该两点的相对位置仍未确定，如圆周上的所有点均与圆心成等距离，因此还必须知道该直线的方向，这就需要有一标准方向作为依据。测量工作常用的标准方向有三种：

（一）真北方向

通过地球表面某点，指向地球北极的方向即为真北方向（或称真子午线方向）。它是

用天文测量方法测定的，一般指向北极星的方向可以近似地作为真北方向。由于它在长时期内变化微小，故作为标准方向较为理想。

（二）磁北方向

在地球表面某点的磁针静止时，磁针北端所指的方向即为磁北方向（或称磁子午线方向），它可用罗盘仪来测定。由于地球磁场的南北极与地球的南北极并不一致，而使磁北方向偏离真北方向某一角度，该角称为磁偏角，以 $\Delta$ 表示。磁北方向偏离真北方向以东叫东偏，$\Delta$ 取正号。磁北方向偏离真北方向以西叫西偏，$\Delta$ 取负号（见图 2－2－1）。由于各种因素对地磁场的影响，各地区的磁偏角随时间、地点而不同，少则几分，多则几度。我国绝大部分地区的磁偏角为西偏，只有乌鲁木齐、南沙群岛、曾母暗沙群岛的磁偏角为东偏。因此，选用磁北方向作标准方向，精度是不高的，只能作粗略依据。其唯一优点是近于真北方向，看起来方便，在测区不大，精度要求不高的工程及地质勘探工作中可采用之。对全国性大地区测量精度要求高时，则仍应选用真北方向作为标准方向。

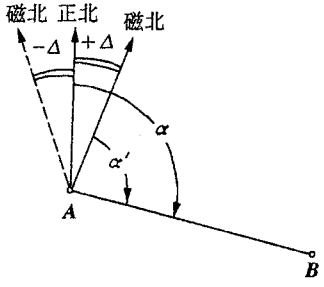



图 2－2－1

（三）坐标纵线北向

在平面直角坐标中，其坐标纵线表示在此坐标系中所指的北向，也称坐标北向。坐标北向偏离真北方向的角度称为子午线收敛角，以 $\gamma$ 表示。其符号也是东偏为正、西偏为负。而磁北方向偏离坐标纵线的角度称为磁坐偏角，以 $G$ 表示。东偏为正、西偏为负。见图 2－2－2$\Delta$、$\gamma$、$G$ 三者之间的换算关系式为：

$$G = \Delta - \gamma \qquad (2-2-1)$$

上式中 $\Delta$、$\gamma$、$G$ 各自带有自己的符号，图 2－2－2 中：

$$-G = -\Delta + \gamma \text{ 亦即 } \quad G = \Delta - \gamma$$

在一幅地形图中，同时标有真北、磁北和坐标北向（即三北线），见图 2－2－2。我们可根据实际需要选择使用。

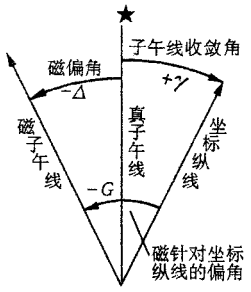



图 2－2－2

## 三、方位角

地面上任一直线的方向常用方位角来表示。

(一)方位角的定义

自标准方向北端起算,顺时针转至某直线的水平夹角,称为该直线的方位角。其大小为 0～360°。根据所选择的标准方向不同,方位角分下列三种(见图 2－2－3):

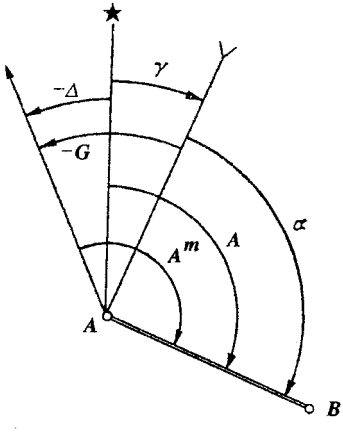



图 2－2－3

(1)真方位角。由真北方向起算的方位角,以 $A$ 表示。由于它是球面上的角度,也称球面方位角。

(2)磁方位角。由磁北方向起算的方位角,以 $A^m$ 表示。

(3)坐标方位角。由坐标北向起算的方位角,以 $\alpha$ 表示。由于它是千面上的角度,也称平面方位角,简称方位角。

### (二)正、反方位角的关系

某直线 $AB$,由 $A$ 点坐标北向起算到 $B$ 的方位角称正方位角,以 $\alpha_{AB}$ 表示。反之,由 $B$ 点坐标北向起算到 $A$ 的方位角称反方位角,以 $\alpha_{AB}$ 表示。一直线的正、反方位角相差 180°。如图 2-2-4(a),作 $AB$ 之延长线,则可看出:

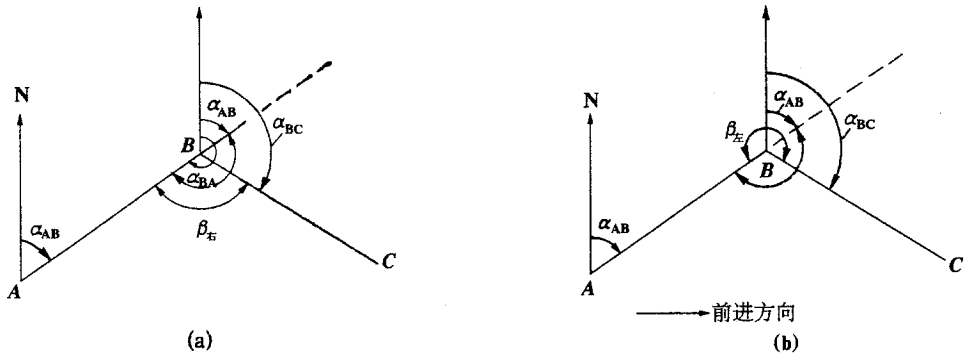



图 2-2-4

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180° \qquad (2-2-2)$$

$\alpha_{BA}$ 即为 $\alpha_{AB}$ 之反方位角。

在实际测量工作中,只有起始边的方位角需要直接测定,而与起始边相连接的其余各边的方位角,就可根据起始边的方位角和各相邻边间的水平夹角推算出来,如图 2-2-4(a)、(b)。

当所测相邻边间的水平夹角在前进方向 $A \rightarrow B$ 的右边叫右角,以 $\beta_{右}$ 表示。根据 $\alpha_{AB}$ 可推算出 $\alpha_{BC}$。

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180° - \beta_{右} \qquad (2-2-3)$$

当所测相邻边间的水平夹角在前进方向 $A \rightarrow B$ 的左边叫左角,以 $\beta_{左}$ 表示。根据 $\alpha_{AB}$ 可推算出 $\alpha_{BC}$

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180° + \beta_{左} \qquad (2-2-4)$$

最后得通用公式为:

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + 180° \pm \beta_{右}^{左} \qquad (2-2-5)$$

但需注意 如算出的 $\alpha_{前} > 360°$,则应减去 360°。

如($\alpha_{后} + 180°$) $< \beta_{右}$,则应加 360°再减 $\beta_{右}$。

以上推算方位角的方法,在计算导线点坐标时,就可用来推算导线各边的方位角。

## 第二节　距离测量

距离测量是最基本的测量工作之一。要测定距离，首先需用标志把待测定的距离标定出来，这两点间距离指的是水平距离，即两点在水平面上垂直投影间的长度，用 $D$ 表示。根据测量的精度要求和使用的方法、工具不同而分为直接量距和间接量距。

### 一、直接量距

#### (一)工具

常用钢卷尺〔如图 2－2－5(a)〕，长度有 20m、30m、50m 等几种。钢尺的基本分划为厘米，在每分米、米的分划处有数字注记。在钢尺零端有 10cm 长内刻有毫米分划〔见图 2－2－5(b)〕。还有布卷尺(即皮尺)，见图 2－2－6，用于精度较低的测量工作。

其它量距工具有标杆、测钎，标杆又名花杆，长 2 或 3m(见图 2－2－7)，漆成红白相间，以便远处清晰可见，作测量标志用。

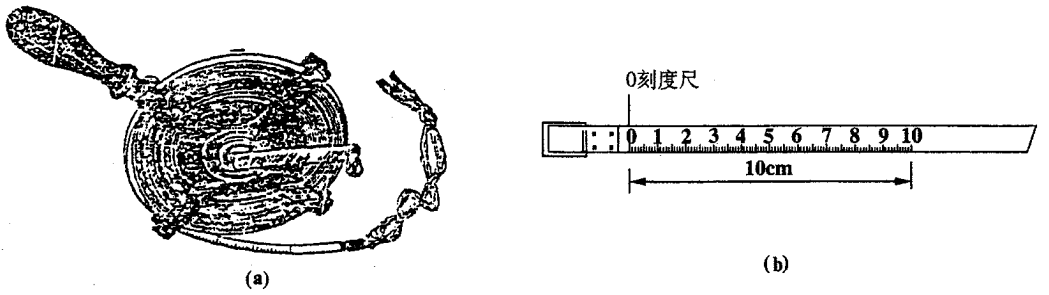



图 2－2－5



图 2－2－6

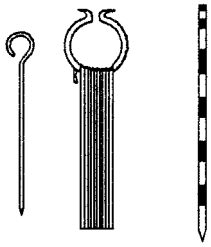


图 2－2－7

(二)直线定线

当地面两点间距离较长时,不能用一整尺量完,则需将该直线距离分成若干段进行丈量,就应进行直线定线。如图 2－2－8 所示 在欲量直线 $AB$ 两点立标杆,测量员甲站在 $A$ 点标杆后约 1 ~ 2m 处,用眼由 $A$ 瞄向 $B$,使视线与标杆同侧边缘相切。测量员乙手持另一标杆,放在 $AB$ 线上,听从甲的指挥,左右移动标杆,直到将标杆准确地立在 $AB$ 直线方向上为止。这样,由远到近,依次把 1、2、…… 等标杆定在 $AB$ 直线上,至此完成了在直线 $AB$ 间的直线定线工作。

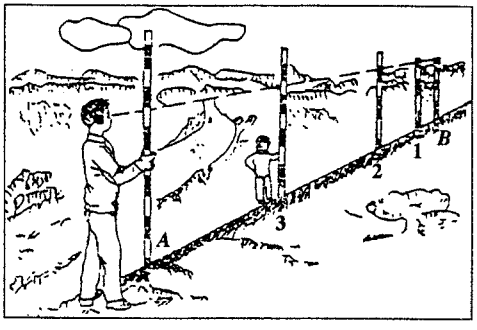



图 2－2－8

(三)直线丈量(地面水平时)

进行直线定线后,开始丈量,先把几个整尺量出,再量出不足一整尺的长度,把量得长度相加即等于全长。丈量时,一般至少要往测、返测各量一次,以检查有无错误。其往、返测长度之差与全长平均值之比不大于 $\frac{1}{2000} \sim \frac{1}{3000}$。如在允许范围内,取平均值作为最后结果。如超限,则应返工重量。例如 :往测全长 875.15m ;返测全长 874.85m ;其差为 0.30m。

$$\text{丈量精度为}:\frac{0.30}{875(\text{平均值})} \approx \frac{1}{2900}$$

**(四)斜距的丈量**

当地面倾斜有坡度(如图 2－2－9),可直接量出斜距 $D'$,地面倾角 $\delta$。则所求水平距离

$$D = D' \cdot \cos\delta \tag{2-2-6}$$

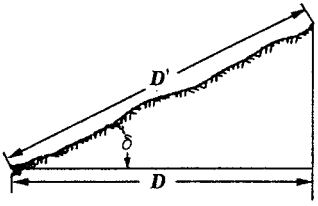



图 2－2－9

## 二、间接量距

**(一)经纬仪视距测量**

见本节第四部分。

**(二)光电测距**

即利用电磁波测距,其基本原理是测定电磁波在 $A$、$B$ 两点间往、返传播所需时间 $t_{2D}$ 来计算水平距离 $D$ (见图 2－2－10)。

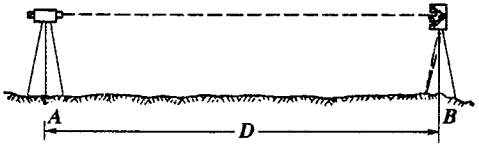



图 2－2－10

$$D = \frac{1}{2} C \cdot t_{2D} \tag{2-2-7}$$

$$C = \frac{c_0}{n} \tag{2-2-8}$$

式中　$C$ ——光速;

$c_0$ ——光波在真空中传播的速度,为 299792.458km/s;

$n$ ——测量时的空气折射率。

## 第三节　角度测量及视距测量

在测量工作中最常用的测角仪器是经纬仪。它可用来测量水平角和竖角，又可测定距离和高差，其种类甚多，精度不一，下面介绍常用的普通光学经纬仪。

### 一、经纬仪的构造

经纬仪的读数装置有分微尺或测微器。下面主要介绍 $J_6$ 级分微尺光学经纬仪，它的构造如图 2－2－11 所示，主要有照准部，水平度盘和基座三大部分。图 2－2－12 是三大部件的示意图。

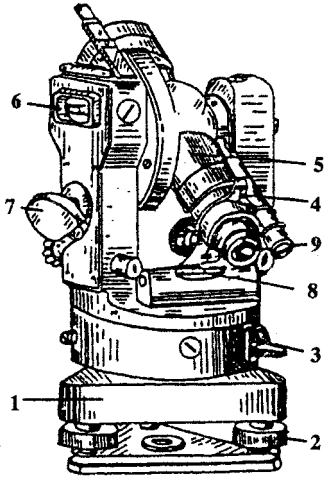



图 2－2－11

1—基座；2—脚螺旋；3—水平度盘离合按钮；4—瞄准孔；5—望远镜；6—指标水准器；7—反光镜；8—照准部水准管；9—读数显微镜

#### (一)照准部

由望远镜、水准器、竖盘所组成。照准部能绕仪器作水平方向转动，旋转轴的几何中心线就是竖轴。照准部上有支架，水平轴安置在支架上，望远镜与水平轴固连在一起。为了能瞄准高低不同的目标，望远镜可随着水平轴一起作上下转动，同时竖盘也随之一

起转动。在水平轴与竖轴的转动部分各装有一对制动钮和微动螺旋，以控制其转动或固定，或微动。

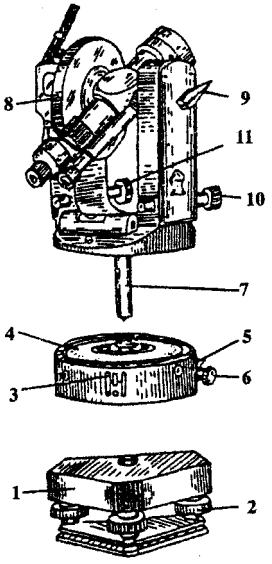



图 2－2－12

1—基座；2—脚螺旋；3—水平度盘离合按钮；4—水平度盘；5—水平制动螺旋；6—水平微动螺旋；7—竖轴；8—竖直度盘；9—望远镜制动螺旋；10—望远镜微动螺旋；11—指标水准管微动螺旋

1.望远镜

瞄准目标用。其作用是使瞄准的目标清晰而准确。图 2－2－13 是内对光望远镜的乐意图，它由物镜、对光透镜、十字丝和目镜筒等部分组成。其中物镜和对光透镜的作用是，使所观测的目标成倒立实像于十字丝面上。目镜筒的作用是使目标所成之像放大。十字丝则作为瞄准目标的标志，其上、下各有一根短横丝叫做视距丝，可用来测量距离。中间那根十字丝横丝也叫中丝。十字丝交点与物镜光心的连线称为视准轴。

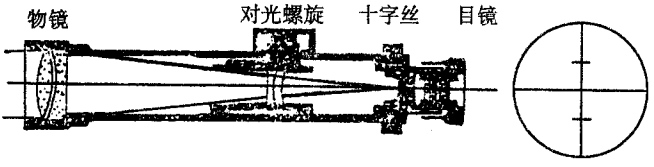



图 2－2－13

使用望远镜时，首先必须把望远镜对准浅色背景（如天空、白墙），旋转目镜筒，使十字丝清晰，然后利用镜筒上方的准门和准星，先在外面瞄准目标，这时在镜内看出的像可能是模糊不清的，就调节对光螺旋使像清晰，整个过程叫“对光”。同时再把眼睛上、下微动，如发现十字丝和像有相对移动，则说明成像不在十字丝面上。这种现象叫十字丝视差，这会影响测量的精度，可采用重复对光方法，直到视差消失为止。

2.水准器

使仪器上的各平面或轴线处于水平或垂直位置。管状的称为管水准器，供精确整平用。圆形的称为圆水准器，供粗略整平用。管水准器由内表面纵向呈圆弧形的玻璃管制成，如图 2－2－14，管内装有酒精和乙醚混合液，加热封闭就有一气泡。通过玻璃管圆弧刻划中点的切线称为水准管轴。由于气泡总是往高处跑，当气泡两端与刻划中点成对称（即气泡居中）时，水准管轴就处于水平位置。亦即表示水平度盘处于水平位置或仪器竖轴处于铅垂位置。使用经纬仪时，一般先用圆水准器粗略整平，再用管水准器精确整平。



图 2－2－14

3.竖盘

观测竖角用，下面再详细介绍。

（二）水平度盘

用来记录和表示角度的大小。水平度盘由光学玻璃制成。通过反光镜将外部光线反射进来而照亮度盘，再经过一系列光学装置，最后将水平度盘和竖盘的像都折射到一个读数显微镜里。观测者在瞄准目标后，可以方便地在望远镜旁的读数显微镜中读得观测数据。

水平度盘按顺时针方向自 0°至 360°每隔一度作一刻划并注记数字。图 2－2－15 上半部（有“水平”注记）是从读数显微镜中看到的水平度盘的像，此例能看到度盘上 129°和 130°两条刻度线；另外注有小号数字的分划称为分微尺。分微尺从分划 0 到分划 6 的长度与度盘上一格的长度相等。度盘上一格为 1°，分微尺从 0 到 6 有 60 小格，每一小格即为 1′。显然，不满 1°的角值可利用分微尺直接读到 1′估读到 0.1′。读数时要注意的是，分微尺上的 0 线是指示线，它所指的位置即应读数之处。例如，此处。线已过 130°，读数一定是 130°多一点，故水平度盘的读数应为：

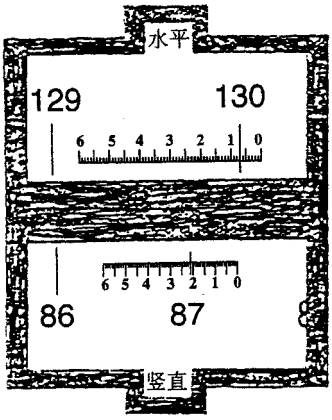



图 2－2－15

| | |
|---|---|
| 度盘上读数 | 130° |
| 分微尺上读数 | 07′ |
| 完整的读数为 | 130°07′ |

竖盘的读数在同一读数显微镜中的下半部(“竖直”)读取,图 2－2－15 中竖盘读数应为:

| | |
|---|---|
| 竖盘上读数 | 87° |
| 分微尺上的读数 | 21′ |
| 分微尺上估读为 | (0′.2)12″ |
| 完整的读数为 | 87°21′　12″ |

在水平度盘处装有制动和微动螺旋,图 2－2－12 中之 5、6,以及水平度盘离合按钮,图 2－2－11 中之 3,以控制照准部与水平度盘的相对转动。若将水平度盘离合按钮按下,照准部即与水平度盘固连在一起,这时松开制动螺旋,水平度盘就可跟着望远镜同时旋转,因而水平度盘读数保持不变;关紧制动螺旋后,转动微动螺旋,读数也不变。若将水平度盘离合按钮板上,水平度盘随即固定不动,这时松开制动螺旋,转动照准部,水平度盘读数即起变化。关紧制动螺旋,转动微动螺旋,照准部相对水平度盘有微小转动,因而读数也有小的变化。没有离合按钮的经纬仪,常装置一个度盘变换手轮(图 2－2－16 中之 7)来代替,当需要变换度盘位置时,则转动变换手轮即可。

(三)基座(附三脚架)

基座(图 2－2－12 中之 1)是仪器的底座,其上有三个脚螺旋,调节它可使水平度盘处于水平位置。基座和三脚架头的中心螺旋相连接,使仪器固定在三脚架上。因此,架仪器时首先要检查中心螺旋是否已把仪器拧上,以免摔坏仪器。

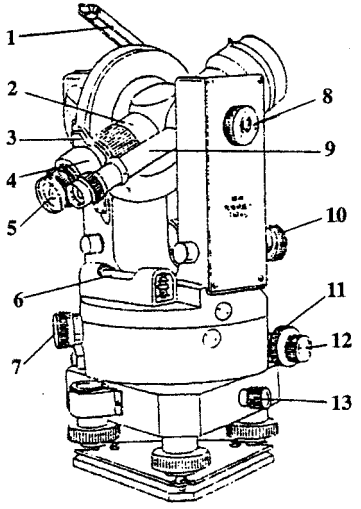



图 2－2－16

1—指标水准器反光镜；2—望远镜对光螺旋；3—粗瞄准照门；4—分划板护罩；5—望远镜目镜；6—照准部水准管；7—度盘变换手轮；8—望远镜制动螺旋；9—读数显微镜；10—望远镜微动螺旋；11—水平微动螺旋；12—水平制动螺旋；13—中心锁紧螺旋

## 二、水平角及其观测方法

### (一)水平角的概念

水平角指的是地面上两直线之间的夹角在水平面上垂直投影的角度，如图 2－2－17 中，地面上 $OA$ 与 $OB$ 两边的夹角为 $\angle AOB$，测量上所指的水平角是 $\angle AOB$ 在水平面 $P$ 上的投影 $\angle aob$。在几何概念上即为通过 $OA$，$OB$ 两垂直面间的一个两面角。此两面角在两垂直面的交线 $\overline{Oo}$ 上任一点位均可测出。设想在 $o'$ 位置上安放一个有顺时针刻划的水平度盘，则 $OA$ 在水平度盘上的投影可得一读数 $a$，$OB$ 在水平度盘上的投影可得一读数 $b$，这样就可求得水平角 $\beta$ 的大小：

$$\beta = \angle aob = b - a \qquad (2-2-9)$$

根据上述水平角观测的原理，人们设计制造了测角仪器 —— 经纬仪。这种仪器必须满足三个要求：

(1) 度盘中心 $o'$ 必须在过 $O$ 点的铅垂线上(亦即需要把仪器的水平度盘中心安置在欲测角之顶点上，这就叫“对中”)。

(2) 水平度盘必须处于水平位置(即要仪器“整平”)。

(3) 望远镜转动时,视线应划出一个垂直面(即保证在同一垂直面内的方向线,其投影在水平度盘上的读数不变)。

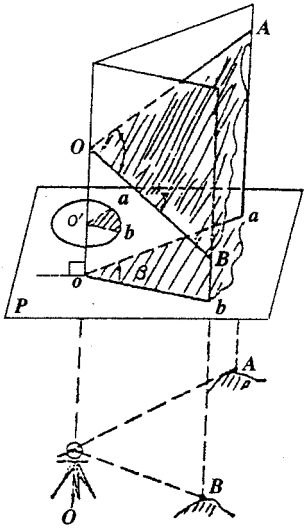



图 2-2-17

因此用经纬仪观测水平角时,首先要将经纬仪安置在测站上,其步骤为:

1.对中

目的是使经纬仪水平度盘中心安置在欲测角之顶点上,即利用垂球将仪器中心对准在测站点 $O$ 上,(见图 2-2-18)其方法为:首先打开伸缩的三脚架,调节到适当的高度,拧紧脚架螺旋。再把脚架放在测站点上,先目估脚架顶面大致水平,并使脚架头中心大致对准测站点的标志,将脚架踩入地内,进行大致对中。然后再按上经纬仪,拧上中心螺旋,但别拧得太紧,使之可在脚架顶面上有活动余地,再挂上垂球,将仪器紧贴脚架顶面在三脚架孔径范围内轻轻平移,直到垂球尖精确对准小钉为止。一般对中误差不大于 2mm 时即可。此时应立即将中心螺旋拧紧,切勿忘记。这样,对中工作已告完成。

2.整平

目的是使仪器的竖轴垂直和重力方向一致,同时使水平度盘处于水平位置。其方法为:打开水平度盘制动螺旋,转动照准部使其上之水准管与一对脚螺旋的连线相平行,见图〔2-2-19(a)〕此时两手按相反方向转动这对脚螺旋,使水准管气泡居中(气泡的移动方向为右手食指所指的方向)。然后将照准部转 90°,使其上之水准管与仪器中心和第三个脚螺旋的连线相平行〔见图 2-2-19(b)〕,再转动第三个脚螺旋,使气泡居中。如此反

复进行数次，直到水准管转到任何位置，气泡均居中为止。在实际操作中，允许气泡偏离中心不超过 1 小格。

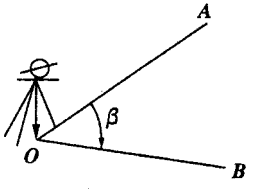



图 2－2－18

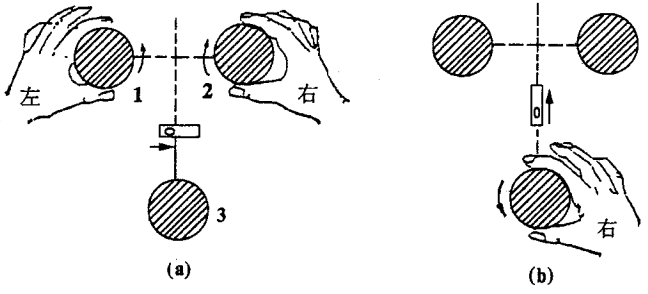



图 2－2－19

**(二)水平角的观测方法**

测水平角时必须严格用十字丝竖丝瞄准目标。水平角的观测方法一般根据观测方向的多少和测量精度要求的不同而定，经常用的有测回法、方向法、复测法(适用于井下测量)。今将测回法介绍如下：

测回法适用于观测两个方向之间的单角。设欲测水平角为 $\angle AOB$，如图 2－2－20 中的 $\beta$ 角。则先在 $A$、$B$ 点上竖立标杆，在 $O$ 点安置经纬仪，用望远镜分别瞄准 $A$、$B$ 点的标杆(应尽量瞄准标杆底部)。并进行读数，两方向上读数之差即为欲测角 $\beta$。为了消除仪器误差，一般要用仪器的盘左、盘右两个位置进行观测。所谓“盘左”即观测者在观测时，竖盘在望远镜的左边。竖盘在望远镜的右边时即为“盘右”。盘左、盘右各测角一次合称“一测合”。测回法测角的具体操作步骤如下：

(1) 先在测站 $O$ 安置仪器，对中、整平后，以盘左位置松开照准部制动螺旋，用望远镜瞄准左边目标 $A$，固紧之，读数 $\alpha_{左}$($=0°00'12''$) 记入手簿。

(2) 松开照准部制动螺旋，顺时针转，瞄准右边目标 $B$，固紧之，读数 $b_{左}$($=81°25'36''$) 记入手簿。以上操作称为上半测回，测得角值为：

$$\beta_{左} = b_{左} - a_{左} \tag{2-2-10}$$

(3) 倒转望远镜，此时，仪器处于盘右位置，松开照准部制动螺旋，逆时针转，先瞄准右边目标 $B$，固紧之，读数 $b_{右}$（$= 261°26'00''$）记入手簿。

(4) 松开照准部制动螺旋，逆时针转，再瞄准左边目标 $A$，固紧之，读数 $a_{右}$（$= 180°00'30''$）记入手簿。以上操作称为下半测回，测得角值为：

$$\beta_{右} = b_{右} - a_{右} \tag{2-2-11}$$

上、下半测回角值之差如不超过 $40''$ 时，取上、下半测回角值的平均值作为一测回的角值。即：

$$\beta = \frac{\beta_{左} + \beta_{右}}{2} \tag{2-2-12}$$

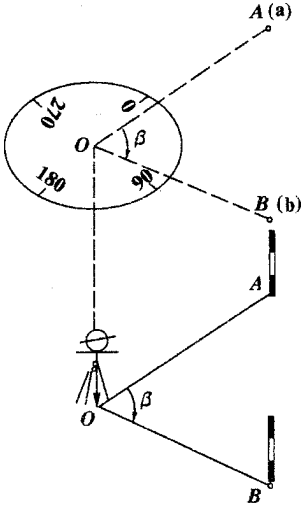



图 2-2-20

当测角精度要求较高时，有时需要观测几个测回，为了减少由于水平度盘刻划不均匀对测角的影响，在每一测回观测完毕，第二测回开始时，要将度盘起始方向按 $\frac{180°}{n}$（$n$ —— 测回数）改变一下位置，如第一测回起始方向读数略大于 $0°$，则第二测回就应大于 $\frac{180°}{2} = 90°$（如表 2-2-1，中为 $90°01'18''$）

测回法水平观测手簿记录格式如表 2-2-1 所示。

表 2－2－1　水平角观测手簿(测回法)

观测者_____

日期_____　天气_____　仪器型号_____　记录者_____

| 测站 | 目标 | 竖盘位置 | 水平度盘读数 | 半测回角值 | 一测回平均角值 | 各测回平均角值 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第一测回 0 | *A* | 左 | 0°00′12″ | 81°25′24″ | 81°25′27″ | 81°25′18″ | |
| | *B* | 左 | 81°25′36″ | | | | |
| | *A* | 右 | 180°00′30″ | 81°25′30″ | | | |
| | *B* | 右 | 261°26′00″ | | | | |
| 第二测回 0 | *A* | 左 | 90°01′18″ | 81°25′06″ | 81°25′09″ | | |
| | *B* | 左 | 171°26′24″ | | | | |
| | *A* | 右 | 270°01′24″ | 81°25′12″ | | | |
| | *B* | 右 | 351°26′36″ | | | | |

## 三、竖角及其观测方法

### (一)竖角的概念

竖角是在同一垂直面内倾斜视线与水平视线之间的夹角,又称倾角。其角值从 0°～90°,倾斜视线在水平线之上的竖角称为仰角,其符号为正。倾斜视线在水平线之下的竖角称为俯角,其符号为负。如图 2－2－21 中,仰角为 +8°41′24″,俯角为 －34°03′18″。

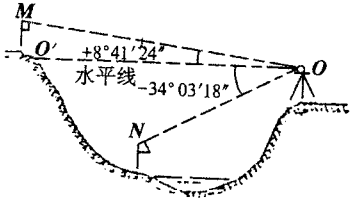



图 2－2－21

竖角的角值是在竖盘上两个方向读数之差。它与水平角不同之处是该两个方向中必须有一个是水平线方向,经纬仪的竖盘刻划有各种类型,但在望远镜视准轴水平时,其竖盘读数都是一固定值〔或 0°或 90°、180°、270°等,见图 2－2－22(a)、(b)〕。因此在测量竖角时,只要用望远镜瞄准目标读取倾斜视线的竖盘读数,即可算出竖角。

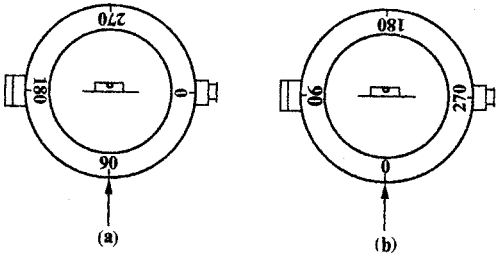



图 2－2－22

**(二)竖盘**

竖盘专供观测竖角之用，其装置包括竖直度盘、指标水准管及其微动螺旋。竖盘固定在望远镜绕之旋转的水平轴一端，可随望远镜一起转动，竖盘的指标与指标水准管固连在一起，当指标水准管气泡居中时，表示指标处于正确位置。望远镜转动时，指标并不随之转动，故可根据指标读取竖盘读数，从而计算出竖角。

竖盘的刻划注记形式各有不同，因此当望远镜视线水平，指标水准管气泡居中时，其竖盘读数可以是 0°或 180°，也可是 90°或 270°。如图 2－2－23 中当望远镜水平时，盘左位置指标所指竖盘读数为 90°。设在盘左位置观测某一目标，得竖盘读数为 $L$，由图 2－2－24 可知：

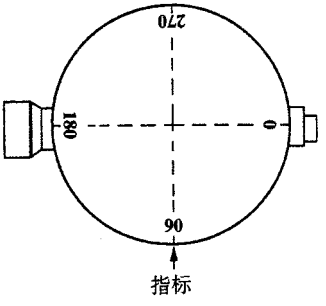



图 2－2－23

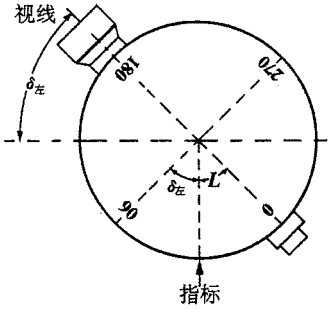



图 2－2－24

竖角　$\delta_{左} = 90° - L$　　(2－2－13)

倒转望远镜再瞄准同一目标，此时为盘右位置，读得竖盘读数为 $R$，如图 2－2－25 可求得：

竖角　$\delta_{右} = R - 270°$　　(2－2－14)

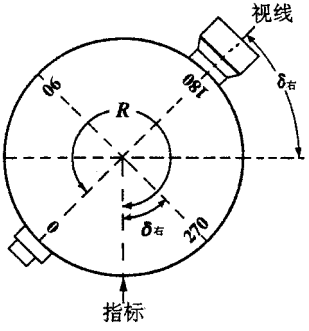



图 2－2－25

由上例可看出，要想了解某种经纬仪计算竖角的规律，则在测量竖角之前，首先应将望远镜置于大致水平位置，看此时指标读数接近哪一个整度数。(即判断其是 0°或 180°；抑 90°或 270°)然后再把望远镜徐徐仰起，看这时的竖盘读数是增加还是减少。

若增加，则竖角 = 瞄准目标时的读数减去视线水平时的读数，如(2－2－14)式；

若减少，则竖角 = 视线水平时的读数减去瞄准目标时的读数，如(2－2－13)式。

上述规律对盘左、盘右均适用，所得竖角之值为“＋”即为仰角，如为“－”即为俯角。

由于式中之视线水平时的读数在仪器上是固定的，不需要每次都读，观测时只需读出瞄准目标时的读数，就可计算出竖角。

(三)竖盘指标差

上述计算竖角的公式必须在望远镜视线水平、竖盘指标位置正确、竖盘读数为应有的整度数时，计算出的竖角才是正确的。但实际上当视线水平、指标水准管气泡居中时，竖盘指标并不指在应有的整度数(如图 2－2－22 中 90°或 0°)而与之相差一个角值，此角值即称为指标差以 $x$ 表示之。

图 2－2－26 中就表示由于有指标差 x 的存在，而使盘左和盘右时的读数都小了一个 $x$。

图 2－2－27 中就表明由于指标差 z 的存在，用盘左、盘右位置观测同一目标时，指标差对竖盘读数的影响而导致所得竖角包含有 $x$ 的误差。

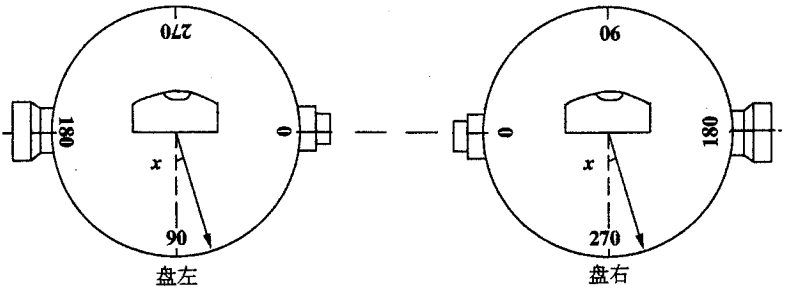



图 2－2－26

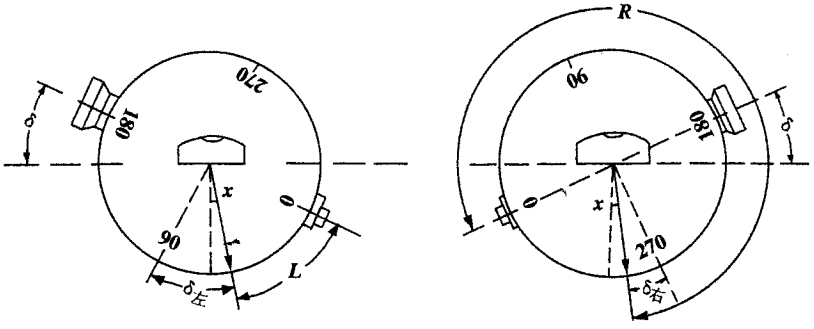



图 2－2－27

盘左时：　$\delta_{左} = \delta + x = 90° - L$　　$L$——盘左读数　　(2－2－15)

盘右时：　$\delta_{右} = \delta - x = R - 270°$　　$R$——盘右读数　　(2－2－16)

两式相加得：正确竖角 $\delta = \frac{1}{2}(\delta_{左} + \delta_{右}) = \frac{1}{2}(R - L - 180°)$　　(2－2－17)

由此可知，盘左、盘右各测一次竖角取其平均值，就可以消除竖盘指标差和其它的仪器误差的影响。再将两式相减得：

指标差 $x = \frac{1}{2}(\delta_{左} - \delta_{右}) = \frac{360° - (L + R)}{2}$　　(2－2－18)

对同一仪器在一定时间段内，竖盘指标差应是一固定值。因此在测得该仪器的指标差后，在精度要求不高时，可以只用盘左或盘右观测一次，应用下式也可求得正确的竖角 $\delta$。

盘左时：　$\delta = \delta_{左} - x$　　(2－2－19)

盘右时：　$\delta = \delta_{右} + x$　　(2－2－20)

例如 观测某一目标时，盘左读数 $L = 81°12'18''$，盘右读数 $R = 278°45'54''$，则可求

得竖角与指标差如下：

$$\delta_{左} = 90° - L = +8°47'42''$$

$$\delta_{右} = R - 270° = +8°45'54''$$

按公式(2－2－17)，得　$\delta = \frac{1}{2}(\delta_{左} + \delta_{右}) = +8°46'48''$

按公式(2－2－18)，得　$x = \frac{1}{2}(\delta_{左} - \delta_{右}) = +54''$

也可用公式(2－2－19)和(2－2－20)来计算竖角 $\delta$：

得

$$\delta = \delta_{左} - x = +8°46'48''$$

$$\delta = \delta_{右} + x = +8°46'48''$$

(四)竖角的观测方法

观测竖角时，必须严格用十字丝横丝切准所瞄目标的某一固定点，如图 2－2－28 中，横丝切准目标顶端。

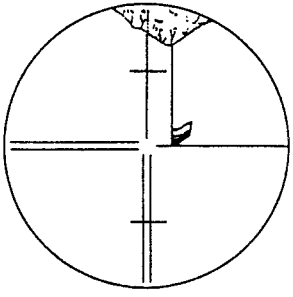


图 2－2－28

观测竖角的操作步骤如下：

(1)将仪器安置在测站上，对中、整平，以盘左位置瞄准目标，固定望远镜，再转动望远镜微动螺旋，使十字丝横丝精确切准目标顶端。

(2)转动竖盘指标水准管微动螺旋使指标水准管气泡居中(有的经纬仪如为自动补偿装置，则把自动补偿旋扭置于‘ $ON$ ’的位置)，再查看中丝是否仍切准目标，确认切准后，即读取竖盘读数，并记入手簿。

(3)倒转望远镜，以盘右位置，用十丝横丝切准目标的同一点，与盘左时一样读数和记簿。到此完成一测回的观测，一般需观测两个测回，其记录格式如表 2－2－2。

表 2－2－2　竖角观测记录

日期＿＿＿＿＿＿　　观测者＿＿＿＿＿＿

天气　晴　　仪器　CJH—1 型　　记录者＿＿＿＿＿＿

| 测站 | 目标 | 竖盘位置 | 竖盘读数 ° ′ ″ | 半测回竖角 ° ′ ″ | 两倍指标差 ($\delta_{左}-\delta_{右}$) ′ ″ | 一测回竖角 ° ′ ″ | 各测回平均竖角 ° ′ ″ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $O$ | $A$ | 左 | 81 12 18 | +8 47 42 | +1 48 | +8 46 48 | +8 46 50 |
| | | 右 | 278 45 54 | +8 45 54 | | | |
| | $A$ | 左 | 81 12 00 | +8 48 00 | | | |
| | | 右 | 278 45 42 | +8 45 42 | +2 18 | +8 46 51 | |

附注　在同一测站上，两倍指标差的变化范围，允许在 1′以内。

## 四、视距测量

在地形高低起伏较大时，直接量距有困难，就采用经纬仪视距测量。这是一种可同时测定两点间的水平距离和高差的简接量距方法，其精度虽不如直接量距，但因操作方便，速度较快，又不受地形起伏的限制，故被广泛应用。

视距测量所用仪器和工具，即经纬仪和视距尺。视距尺是一种漆有黑白相间的厘米分划的尺子，每分米注有数字（见图 2－2－29）。利用经纬仪望远镜中十字丝的上、下两根短横丝（称为视距丝）在视距尺上读得的上、下两数之差（称为尺间隔）以及其它一些数据，即可算出安置仪器到立尺点之间的水平距离和高差。

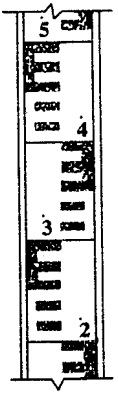



图 2－2－29

**(一)视距测量的原理**

1.视线水平时的视距公式

如图 2－2－30(b)所示,在 $A$ 点安置经纬仪,在 $B$ 点立视距尺,当望远镜视线水平时,视线与视距尺正交。经对光后,视距尺上 $M'N'$ 两点成像在十字丝平面上的视距丝 $m'$、$n'$ 处。则尺上 $M'N'$ 的长度可由上、下视距丝在尺上读数之差(即尺间隔 $t'$)求得。

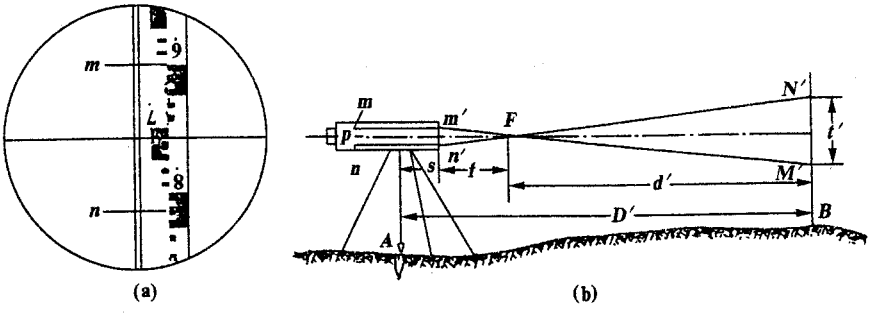



图 2－2－30

图 2－2－30(b)中:$m$、$n$——视距丝;

$p = mn$——视距丝间隔,固定不变;

$\varphi$——定角 $= 34'.38$;

$F$——物镜前焦点;

$f$——物镜焦距;

$S$——物镜离仪器中心的距离;

$t'$——尺间隔 $M'N'$;

$d'$——焦点 $F$ 到视距尺的距离;

$D'$——$A$、$B$ 间之水平距离。

从上图 2－2－30(b)中可看出:$\Delta M'FN' \backsim \Delta m'Fn'$

$$\therefore \frac{d'}{t'} = \frac{f}{p}, \qquad d' = \frac{f}{p} \cdot t'$$

而 $$D' = d' + (f + s), \qquad \text{故 } D' = \frac{f}{p} \cdot t' + (f + s)$$

令 $C$ 代表 $\frac{f}{p}$,$Q$ 代表 $(f + s)$

则上式可改写为;

$$D' = C \cdot t' + Q \tag{2－2－21}$$

式中 $C$ 称为视距乘常数。制造仪器时,一般将 $C$ 设计为 100。

$Q$ 称为视距加常数。对于内对光望远镜其加常数 $Q$ 接近于零，故可忽略不计。因此计算水平距离的公式简化为：

$$D' = C \cdot t' \tag{2-2-22}$$

2. 视线倾斜时的视距公式

(1)水平距离公式在实际测量工作中，有时地势起伏较大，必须用望远镜倾斜视线才能看到在测点 $B$ 上所立的视距尺。此时视线是倾斜的，而视距尺总是垂直立于地面，则倾斜视线不与尺面正交，上述水平距离公式就不适用，因此当视线倾斜时，推导水平距离公式需要考虑两个问题：

①视线不垂直尺面的改正；

②视线本身倾斜的改正。

关于视线不垂直尺面的改正问题 如图 2-2-31 所示，我们可以设想把视距尺由直立的 $MN$ 位置倾倒一角度至 $M'N'$ 位置，使尺面 $M'N'$ 仍与视线正交，这个倾倒的角度由三角公式而知，即为视线倾角 $\delta$。图 2-2-31 中 设 $M'N'$ 为视线与尺子正交时，上、下规距丝所截尺间隔($M'N' = t'$)。

$MN$ 为视线与尺子斜交时，上、下视距丝所截尺间隔($MN = t$)。

关键在于找出 $t$ 与 $t'$ 之间的化算关系。图 2-2-31 中 $\varphi$ 为定角，其值甚小，只有 34′.38，而 $\frac{\varphi}{2}$ 则更小，约为 17′。故可把 $\angle OM'M$ 和 $\angle ON'N$ 近似地当作直角。

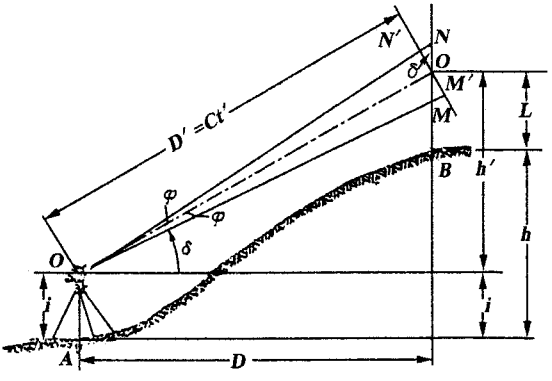



图 2-2-31

由于 $\angle MOM' = \angle NON' = \delta$

因此，在直角三角形 $MOM'$ 中　$M'O = MO \cdot \cos\delta$

在直角三角形 $NON'$ 中　$ON' = ON \cdot \cos\delta$

两式相加得：　　$(M'O + ON') = (MO + ON)\cos\delta$

即　　$M'N' = MN \cdot \cos\delta$

亦即　　$t' = t \cdot \cos\delta$　　(2 - 2 - 23)

代入视线水平时的视距公式 $D' = C \cdot t'$

得　　$D' = C \cdot t \cdot \cos\delta$　　(2 - 2 - 24)

此时再考虑视线本身倾斜的改正问题。

由图 2 - 2 - 31 所示：

$D = D' \cdot \cos\delta$　　该式即公式(2 - 2 - 6)，

以(2 - 2 - 24) 式代入(2 - 2 - 6) 最后得：

$$D = C \cdot t \cdot \cos^2\delta \qquad (2 - 2 - 25)$$

此式即为视线倾斜时计算水平距离的公式。

(2) 高差公式　由图 2 - 2 - 31 中可看出，$B$ 点对于 $A$ 点的高差为 $h$。设 $i$ 为仪器高(自 $A$ 点量到仪器水平轴中心)，$L$ 为瞄准高(十字丝中丝在视距尺上的读数)，则可求得 $B$ 点对于 $A$ 点的高差为：

$$h = D \cdot \tan\delta + i - L \qquad (2 - 2 - 26)$$

上式(2 - 2 - 26) 即为视线倾斜时求高差的公式，亦即为三角高程测量计算高差的公式。

(2 - 2 - 26) 式中的 $D \cdot \tan\delta$ 为初算高差 $h'$，应用该式时，如瞄准高等于仪器高，即 $L = i$ 则 $h = h'$ 亦即：

$$h = D \cdot \tan\delta \qquad (2 - 2 - 27)$$

如 $A$ 点高程(即测站高程) 已知为 $H_A$，需求 $B$ 点高程(即测点高程) $H_B$，则

$H_B = H_A + h$　即 $H_B = H_A + D \cdot \tan\delta + i - L$　　(2 - 2 - 28)

上式中对测站 $A$ 来讲，在该站观测的，时间段内，$A$ 点高程 $H_A$ 和安置仪器后所量的仪器高 $i$ 是不变的，故可把公式改写为：

$$H_B = (H_A + i) + D \cdot \tan\delta - L \qquad (2 - 2 - 29)$$

(二)视距测量的作业方法

(1)将经纬仪安置在测站上，对中、整平；

(2)量仪器高 $i$ (量至厘米)；

(3)将视距尺直立于待测点上，用望远镜瞄准视距尺，分别读出上、下视距丝和中丝读数(此时要注意检查三丝读数是否正确，一般上丝读数加下丝读数除以 2 应等于中丝读数，如不等，不得大于 6mm)，然后再读取竖盘读数(读数前必须使指标水准管气泡居

中，或有竖盘自动补偿装置的必须置于“$ON$”的位置），并将所有读得的数据记入视距测量手簿中（见表 2－2－3）。

（4）根据上、下视距丝读数算出尺间隔 $t$，把竖盘读数化算为竖角 $\delta$，再用电子计算器计算测点到测站的水平距离和高程。视距测量记录如表 2－2－3。

表 2－2－3　视距测量记录

日期＿＿＿＿＿＿　测站名称 $A$　仪　器 CJH—1　观测者＿＿＿＿＿＿

天气 晴　测站高程 46.54m　仪器高 1.42m　记录者＿＿＿＿＿＿

| 测点 | 下丝读数<br>上丝读数 | 视距间隔<br>$t$ | 中丝<br>读数<br>$L$ | 竖盘<br>读数<br>° ′ | 竖角<br>$\delta$<br>° ′ | 初算高差<br>$h'$ | $i-L$ | 高差<br>$h$ | 观测点<br>高程<br>$H$ | 水平距离<br>$D$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $B$ | 2.500<br>1.500 | 1.000 | 2.000 | 83°11′ | +6°49′ | +11.78 | −0.58 | +11.20 | 57.74 | 98.6 |
| $C$ | 1.920<br>0.920 | 1.000 | 1.420 | 94°27′ | −4°27′ | −7.74 | 0.0 | −7.74 | 38.80 | 99.4 |

# 第三章　水准测量

## 第一节　水准测量的原理

水准测量也是一种测定高程的方法，其精度较高，适用于平坦地区及丘陵地区，其原理主要依靠一水平视线来测定两点间的高差。如图 2－3－1 所示：设地面上有 $A$、$B$ 两点，已知 $A$ 点高程为 $H_A$，现需测定 $B$ 点高程 $H_B$，如能测定 $B$ 点对于 $A$ 点的高差 $h_{AB}$，即可求得 $H_B$。

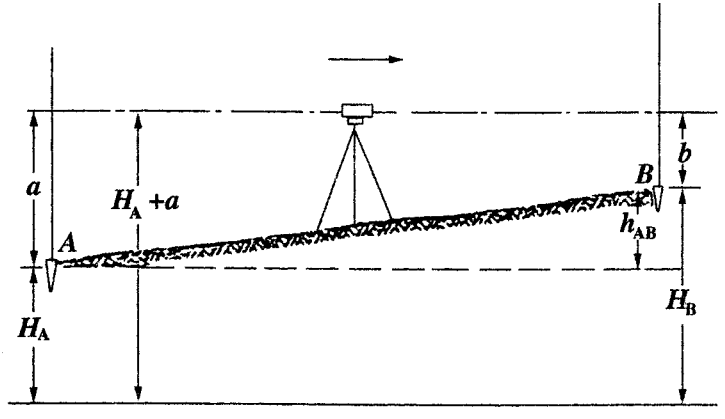



图 2－3－1

其方法是：在 $A$、$B$ 两点上分别竖立水准尺，并在离 $A$、$B$ 约等距离处安置一台能看到

两水准尺的水准仪，当仪器视线水平时，在 $A$、$B$ 点的水准尺上用望远镜十字丝中丝分别读得读数 $a$ 和 $b$，则所求高差为：

$$h_{AB} = a - b \tag{2-3-1}$$

如测量时前进方向为由 $A$ 点到 $B$ 点，则 $a$ 称为后视读数，$b$ 称为前视读数。高差 $h_{AB}$ 的符号有正有负，读数 $a$ 大于 $b$，高差 $h_{AB}$ 为正，表示 $B$ 点高于 $A$ 点。读数 $a$ 小于 $b$，高差 $h_{AB}$ 为负，表示 $B$ 点低于 $A$ 点。

根据已知 $A$ 点高程 $H_A$ 和测出 $A$、$B$ 的高差 $h_{AB}$，就可算出 $B$ 点高程 $H_B$：

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + (a + b) \tag{2-3-2}$$

## 第二节　水准测量的仪器和工具

### 一、水准仪

根据水准测量原理。水准仪的作用主要是提供一条水平视线，并能照准水准尺。因此水准仪上只需有望远镜、水准器。水准器的作用是保证视线水平，有圆水准器（供粗略整平用）和管水准器（与望远镜固连在一起供精确整平用）各一个。在制造水准仪时，要求望远镜的视准轴和水准管轴平行，这样当水准管气泡居中时，视准轴也就水平，亦即形成了水平视线。在水准仪上还附有一微倾螺旋，每当读数前转动它可使望远镜和水准管同时微微倾斜，这样对调节视线水平很方便。上图 2-3-2 是上海光学仪器厂生产的微倾水准仪。

有些水准仪有一组棱镜装置的复合水准器，调节微倾螺旋可以看到两个半边气泡作相对移动，如两像吻合时，即表示气泡居中。见图 2-3-3(a)、(b)。

### 二、水准尺

水准尺与视距尺相似，为有厘米（或 5mm）分划的木尺，分为单面或双面水准尺两种，上有黑白相间的刻划，每分米处有数字注记，尺子底端为零。读数时一定要注意尺子刻划的字头或字尾代表其刻划，且其数值之增加方向为自下而上，但在望远镜中看时，由于是倒像，故其增加方向为自上而下。

水准测量时，为避免立尺处土质发生下沉，常用一个三角形铁质尺垫，上有突起圆

顶，下有三个尖脚，如图 2－3－4 所示。在测点上立尺前，将尺垫踩入土中，再将尺立在尺垫突起之处，这样就可以防止在观测过程中水准尺下沉和变位。

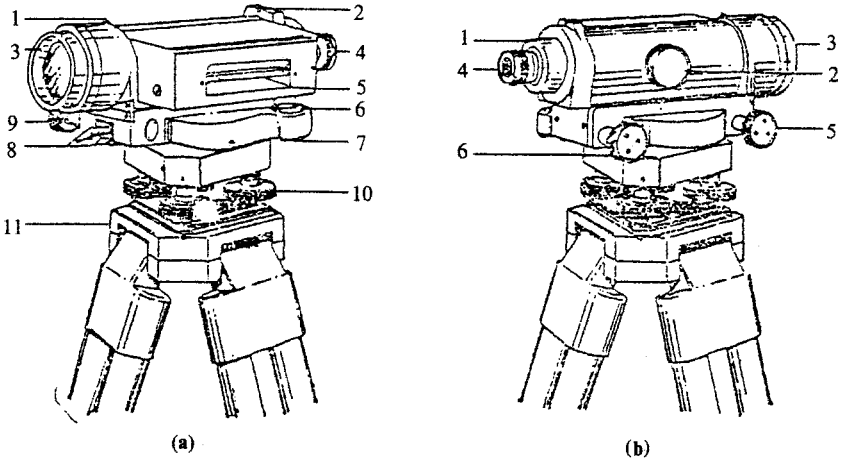



图 2－3－2

(a) 1—准星；2—缺口；3—物镜；4—目镜；5—管水准器；6—圆水准器；7—圆水准器校正螺丝；8—制动螺旋；9—微动螺旋；10—脚螺旋；11—脚架；(b) 1—十字丝；2—对光螺旋；3—物镜；4—目镜；5—微动螺旋；6—微倾螺旋

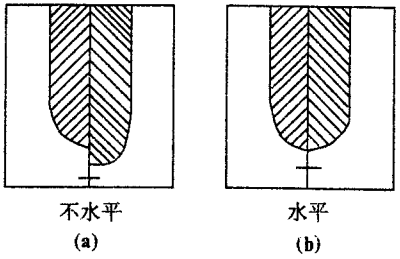



图 2－3－3

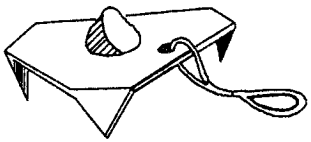


图 2－3－4

## 第三节　水准仪的使用

### 一、水准仪的安置

先安置三脚架，调节好脚架的高度，并注意使脚架面大致水平，然后将仪器安装在脚架面上，拧上中心螺旋，但不要拧太紧，使仪器在脚架面上留有活动余地。

### 二、初步整平仪器

水准仪初步整平的操作与经纬仪整平相同。即按规定程序转动脚螺旋，使水准仪的圆水准气泡居中。这时仪器就处于大致水平状态。

### 三、瞄准水准尺

首先松开水平制动螺旋，转动望远镜用瞄准器瞄准水准尺，旋紧制动螺旋固定望远镜，然后进行目镜和物镜的调焦，使十字丝与尺像均清晰，并消除视差，再转动微动螺旋，使十字丝竖丝靠近尺面一侧，以便读数。

### 四、精确整平及读数

此时必须先转动微倾螺旋，使管水准器的气泡严格居中，以保证视线水平。当气泡两像吻合时，可立即读尺，中丝必须截准水准尺读数，按规定读取四位数，即米、分米、厘米、毫米。最末位的毫米是估读的。

## 第四节　水准测量的作业与计算

在实际测量工作中，由于两点相距较远或高差较大时，不能安置一次仪器测得其高差，就需分段进行测量。这样，中间就需设若干个临时立尺点，这些点叫转点（如图 2－3－5 中的 $P_1$、$P_2$……点）它们起着传递高程的作用。

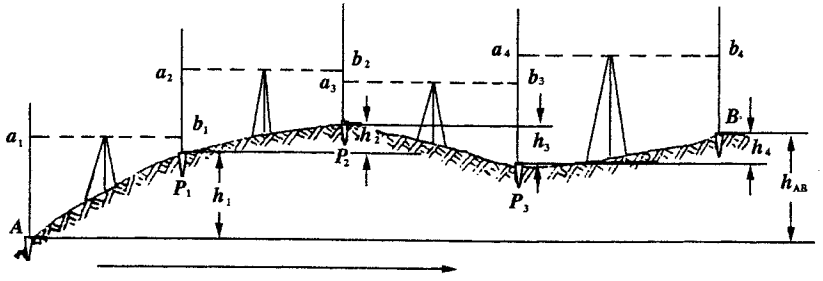



图 2－3－5

进行水准测量时，如图 2－3－5 中，若已知 $A$ 点高程为 $H_A$，需求 $B$ 点高程 $H_B$，此时由 $A$ 向召分段进行，测定各段高差。首先将水准仪安置在 $A$、$P_1$ 之间，分别瞄准 $A$、$P_1$ 点上的水准尺得后视读数 $a_1$，前视读数 $b_1$，然后再将水准仪移到 $P_1$、$P_2$ 点之间，此时 $P_1$ 点的水准尺不动，只需原地转 180° 将尺面转向仪器作为后视，而原立于 $A$ 点的水准尺须移到 $P_2$ 点作为前视，同前法读取后视读数 $a_2$，前视读数 $b_2$。依次类推，直到观测终点 $B$ 为止。

由图 2－3－5 知：

$$h_1 = a_1 - b_1$$

$$h_2 = a_2 - b_2$$

$$h_3 = a_3 - b_3$$

$$h_4 = a_4 - b_4$$

将上列各式相加取总和，即得 $A$、$B$ 两点间的高差。

$$\begin{aligned} h_{AB} &= h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \\ &= (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) - (b_1 + b_2 + b_3 + b_4) \\ &= \sum a - \sum b \end{aligned} \qquad (2-3-3)$$

即 终点对起点的高差 = 各段高差总和 = 后视读数总和减前视读数总和。

求得高差 $h_{AB}$，即可算出 $B$ 点高程：

$$H_B = H_A + h_{AB} \qquad (2-3-4)$$

值得注意的是在转点 $P_1$、$P_2$… 上，不仅有前视读数，还必须有后视读数，否则将发生脱节现象，以致无法传递高程。

此外，由于水准仪的视准轴与水准管轴可能不平行，这样虽然水准管气泡居中，而视准轴并不水平，其读数就必定带有误差 $x$，其值随仪器至水准尺之间的距离不同而异，如将仪器放在离两尺等距处，就可抵消误差 $x$。如图 2－3－6 所示：

$$h = a_1 - b_1 = (a + x) - (b + x) = a - b \qquad (2-3-5)$$

此亦即在水准测量作业中，要求每段内都要将水准仪放在离两尺约等距处的原因。

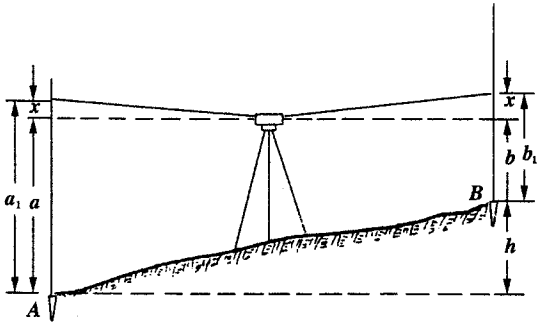



图 2-3-6

## 第五节　水准测量的检核

为了保证水准测量的精度，这就要求在测量过程中，每一个观测数据不发生差错，所以必须进行检核。通常采用下述两种方法。

### 一、测站检核

用改变仪器高的方法 即在测站上安置仪器测得前、后视读数 $a_1$、$b_1$ 则得高差 $h_1 = a_1 - b_1$。然后把仪器升高或降低(大于 10cm)，再测一次高差得 $h'_1 = a'_1 - b'_1$。两次高差 $h_1$ 与 $h'_1$ 之差不超过 6mm，则认为符合要求，取其平均值作为最后结果，如超限则须重测。

### 二、路线检核

上述测站检核只能发现当时在该测站上读数是否正确，但不能检核立尺是否有错、转点有无移动或下沉，故用路线检核。

对于闭合水准路线，其高差总和在理论上应等于零，即 $\sum h_{理} = 0$，实际上 $\sum h_{测} = \Delta h \neq 0$，$\Delta h$ 称为高差闭合差 对于附合水准路线，其高差总和应等于终点对起点高程之差即 $\Delta h_{测} = H_{终} - H_{起}$，则其高差闭合差为 $\Delta h = \Delta h_{测} - (H_{终} - H_{起})$。

高差闭合差的容许值规定为：

等外水准测量

平地：$\triangle h_{容} \pm 35\sqrt{L}$　(mm)　　(2－3－6)

山地：$\triangle h_{容} \pm 12\sqrt{n}$　(mm)　　(2－3－7)

式中：$L$ 为水准路线长度，以 km 计；$n$ 为测站数。如闭合差在容许范围内，应将观测数据进行调整。调整的原则是：以闭合差相反符号平均分配在每一段的高差上，最后用改正后的高差计算各点的高程。

水准测量的记录计算见表 2－3－1。

表 2－3－1　水准测量手簿

日期_____　　仪器名称_____　　观测者_____

天气_____　　仪器号码_____　　记录者_____

| 测站 | 测点 | 水准尺读数 | | 高差 | | | | 高程 m | 距离 m | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 后视 | 前视 | + | − | 平均值 + | 平均值 − | | | |
| | $BM_3$ | 1.240 | | | | | | 100.000 | 26 | |
| | | 1.393 | | | | | | | | 已知 $BM_3$ 的高程为 |
| 1 | | | | | | | −1 | | | 100m。 |
| | | | 2.045 | | 0.805 | | 0.804 | | | 求 1、2、3、4 各点高程。 |
| | 1 | | 2.196 | | 0.803 | | (0.805) | 99.195 | 27 | |
| | 1 | 1.062 | | | | | | | 29 | |
| | | 1.260 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | −1 | | | |
| | | | 1.734 | | 0.672 | | 0.671 | | | |
| | | | 1.930 | | 0.670 | | (0.672) | 98.523 | 28 | |
| | 2 | 0.875 | | | | | | | 31 | |
| | | 1.083 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | −2 | | | |
| | | | 1.437 | | 0.562 | | 0.563 | | | |
| | 3 | | 1.647 | | 0.564 | | (0.565) | 97.958 | 31 | |
| | 3 | 1.635 | | | | | | | 25 | |
| | | 1.784 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | −1 | | | | |
| | | | 0.906 | 0.729 | | 0.730 | | | | |
| | | | 1.053 | 0.731 | | (0.729) | | 98.687 | 25 | |

| 测站 | 测点 | 水准尺读数 | | 高差 | | | | 高程 m | 距离 m | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 后视 | 前视 | + | − | 平均值 | | | | |
| | | | | | | + | − | | | |
| | 4 | 2.532 | | | | | | | 33 | |
| | | 2.330 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | −2 | | | | |
| | | | 1.218 | 1.314 | | 1−315 | | | | |
| | $BM_3$ | | 1.014 | 1.316 | | (1.313) | | 100.000 | 32 | |
| | ∑ | 15.194 | 15.180 | 4.090 | 4.076 | 2.045 | 2.038 | | 288 | |

**路线检核**

$$\Delta h = \frac{15.194 - 15.180}{2} = \frac{4.090 - 4.076}{2} = +7\text{mm}$$

$$\Delta h = \sum h_{(平)} = 2.045 - 2.038 = +7\text{mm}$$

$$\Delta h_{容} = \pm 35\sqrt{0.288} = \pm 18.78\text{mm}$$

# 第四章　矿井联系测量

在地面测量工作完成的基础上，转入矿井进行井下矿山测量，其主要种类有三种：

(1)矿井联系测量。目的是解决地面、井下平面联系和高程联系问题。

(2)井下经纬仪导线测量。目的是建立矿坑内的平面测量和高程测量控制网。

(3)井巷施工测量。目的是解决在开采过程中的各种矿山测量问题。

井下矿山测量与地面测量相比，有其不同的特点：

(1)井下黑暗、测量条件差、需要照明、巷道又狭窄、人与车辆运行都给测量工作带来困难，需要采用特殊的测量仪器和方法。

(2)井下测量在时间、空间上都是变化的，不像地面测量时，地形、地物在一个时期内相对地固定不变。

(3)在测量精度上，地面测量是不同比例尺有不同的精度要求，但对同一比例尺的测量精度在图纸上是相同的，而井下测量的精度主要考虑满足各种采矿工程的要求。由于井下只能布设经纬仪导线，随着巷道向井田边界掘进而敷设支导线。井下巷道转折点又多，导线边较短，故离井筒中央越远的地方，精度越低，致使图纸的精度各处不一致。因此它必须遵循高级控制低级、严格的测量检查、符合工程需要的精度这三项原则。

总之，矿山测量的程序是：矿区地面控制测量、矿井联系测量、井下控制测量及各种碎部测量。最后得到各种矿山测量图，以管理和指导生产。

# 第一节　矿井联系测量概述

## 一、联系测量的意义和任务

为了使井下测量工作和矿区地面测量联系起来，亦即使地面、井下采用同一坐标系统所进行的测量工作，称为联系测量。它对正确合理进行采矿工作具有十分重要的意义，因为在开采地下矿藏时，必须知道井下各巷道和采空区与地面建筑物、铁路、湖泊等地面、地下之间的相对位置，这是因为地下开采会引起岩层移动和地面建筑物下沉，甚至破坏。反之，如采矿是在地面湖泊下进行，岩层若有裂缝，漏水就可能把矿井淹没。通过联系测量就能得到同一坐标系统的地面、井下对照图，从而采取一系列措施，以保护地面建筑物的坍陷和矿井的安全生产。

联系测量又分为：

(1)平面联系测量(即定向测量)任务是确定井下经纬仪导线起始边的坐标方位角($\alpha$)和起始点的平面坐标($x$，$y$)；

(2)高程联系测量(即导入标高)任务是确定井下起始点的高程($H$)。

## 二、定向测量的精度与方法

### (一)定向测量及其精度

定向测量就是把地面某一已知边的方位角($\alpha$)和该边上一端点的坐标($x$，$y$)，引导到地下，作为地下导线起始边的方位角和起始点的坐标。在方位角和坐标这两个要素中，尤其以方位角为重要。由图 2－4－1(a)，(b)可知：定向测量时，如确定起始点坐标有误差 $e$，它对其它各点影响只是保持一常差 $e$。但如起始边的方位角有误差 $\theta$，则它所引起各导线点的点位误差 $e$，将随导线长度增加而增大。

图 2－4－1b 中：设 $S$ 为井下导线最终点到起始点的距离；$\theta$ 为定向时起始边方位角的误差；$e$ 为井下导线最终点的点位误差。

则由图可得近似公式为：

$$\tan\theta = \frac{e}{S}\cdot\rho \qquad (2-4-1)$$

由于 $\theta$ 角很小，故 $\theta = \frac{e}{S} \cdot \rho$　即 $e = \frac{S \cdot \theta}{\rho}$

式中　$\rho = 3438'$　　当 $S = 2000\text{m}$，$\theta = \pm 2'$ 时

则

$$e = \frac{2000 \times 2'}{3438'} \approx 1.2\text{m}$$

显然这样大的点位误差是不允许的，充分说明传递方位角的重要性。

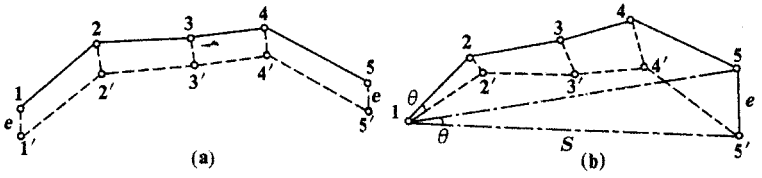



图 2－4－1

（二）地面近井点的设立

定向测量的方法按照地下巷道与地面联系条件的不同而分三种：

（1）通过平峒或斜井的定向〔见图 2－4－2（a），（b）〕需在井口附近的地面上设一近井点 $K$。

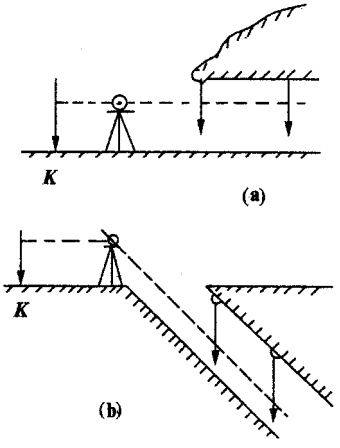



图 2－4－2

再从 $K$ 布设经纬仪导线，通过平峒、斜井，把地面坐标系统引至井下。$K$ 点坐标可用交会法或导线测定之。

（2）通过一个竖井的定向（简称一井定向）。

（3）通过以巷道相连的两个竖井的定向（简称两井定向）。

一井或两井定向时，均需设立近井点 K 和连接点 $C$（如图 2－4－3(a)，(b)）。连接点 $C$ 必须设在井口附近，是在定向时与垂球线 $A$、$B$ 连接的点。由于 $C$ 点离井口近，有时不能与矿区地面点通视，故须在井筒附近再设立近井点 $K$。该点应埋设在便于观测保存和不受开采影响之处。为了保证测量精度，近井点 $K$ 至连接点 $C$ 的导线边最多三条，近井点 $K$ 的坐标，同样可用交会法或导线测定之。

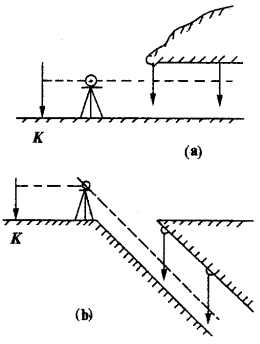



图 2－4－3

## 第二节　一井定向

如图 2－4－4 所示。一井定向就是将地面井口附近的 $CD$ 边的方位角（$\alpha_{CD}$）与 $C$ 点坐标（$x_C$，$y_C$）通过挂有悬垂的两根钢丝所构成的垂直投影面，引到井下定向水平的 $C_1D_1$ 边上，从而得到 $C_1D_1$ 边的方位角（$\alpha_{C_1D_1}$）和边上一点 $C_1$ 的坐标（$x_{C_1}$，$y_{C_1}$）。整个定向过程分为两个步骤，下面分别详述之。

### 一、投点

#### （一）投点及定向误差的分析

如图 2－4－5 所示。$A$、$B$ 为两个悬垂，其间距为 2m，如投点误差在最不利的情况下为偏向相反方向。为使讨论简化，设投点误差 $e = 1\text{mm}$，$L = AB/2 = 1\text{m}$，$\theta$ 角为定向误差，因 $\theta$ 角很小，$\theta = \frac{e}{L} \cdot \rho = \frac{1 \times 206265''}{1 \times 1000} \approx 3'26''$。这样大的误差显然是不允许的。由上式看 要减少定向误差，一是增大两悬垂间距，二是减小投点误差。但悬垂间距决定于井筒

断面的大小(一般井筒直径 4～6m),以及受井筒内装备的限制,增大的可能性较小,因此只有尽量减小投点误差到 0.5mm 以下。但由于悬垂本身摆动,以及井筒内气流、滴水对悬垂线的影响,要达到这样的精度是很困难的。因一般两悬垂间距 $c$ 为 2～3m,而投点误差 $e$ 随 $c$ 值增长而增大(见表 2－4－1)。为此采取下列措施：

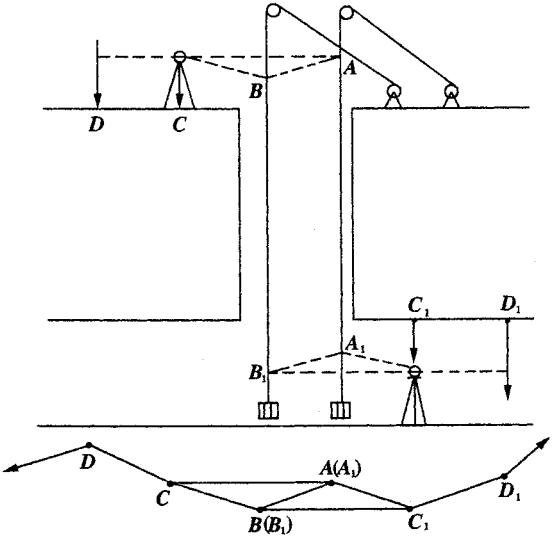



图 2－4－4




图 2－4－5

(1)临时停止通风机,以减小井筒气流对悬垂的影响；

(2)采取挡水措施,或将悬垂放入稳定液(废机油)桶内,上加锥形盖；

表 2－4－1　两悬垂线间的距离

($c$) 与投点误差($e$) 的关系

| $c$/m | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| $e$/mm | 0.3 | 0.44 | 0.6 | 0.7 | 0.9 |

(3)用特殊设备——定点盘。

(二)投点的实际操作

在井筒内放下两个悬垂,将钢丝一端绕在井口边的小型手摇绞车上。开始工作前,先在钢丝上挂一 3 ~ 6kg 的悬垂,使之经导轮逐渐放入井筒中,等到达定向水平后再换上工作用之悬垂。悬垂放下后要使其不与井壁和井筒内装备相接触,否则悬垂将不成为一铅垂线,其检查方法有两种:

1.用信号圈

在井上用直径 2 ~ 3cm 的小铁丝圈套在钢丝上往下放,看它能否顺利滑下,要保持悬垂不摆动,并连续放好几个,即知悬垂是否与井内装备有接触。

2.用比距法

即用对比井上、井下两悬垂间距来检查。如图 2 - 4 - 6 中边长 $c$ 与 $c'$ 之差规定不应大于 ± 2mm,否则必须查明此差发生的原因。在经上述检查后,确认悬垂线完全自由挂着,才能在井下求悬垂的稳定位置。

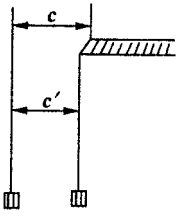



图 2 - 4 - 6

投点方法有下述两种:

(1)稳定投点法 当井筒不深,井内气流缓慢时用此法。即将垂球放入盛有稳定液的桶内,以减少悬垂摆动,而使垂球静止下来。

(2)摆动投点法 如用稳定液仍不能使悬垂静止时,就借助用定点盘求出其静止位置,它是利用两根相互垂直的标尺来进行的(如图 2 - 4 - 7 所示)。把悬垂摆动的中点用对点器加以固定下来,即为悬垂处于静止时应有的位置。投点过程完成后就进行连接。

## 二、连接

用连接三角形法〔见图 2 - 4 - 8(a)〕

(一)地面连接

求出欲投下之 $DC$ 边的方位角 $\alpha_{DC}$和连接点 $C$ 的坐标 $x_C$,$y_C$。

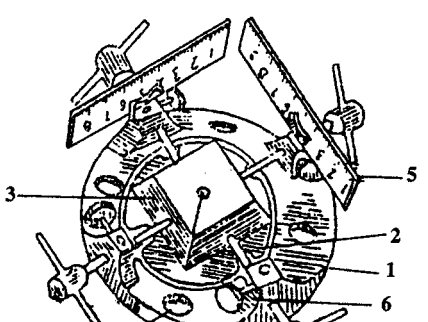



图 2－4－7

1—金属空底圆盘；2—切口薄片；3—对点块；
4—调节螺杆；5—毫米刻划标尺；6—螺钉；7—小孔

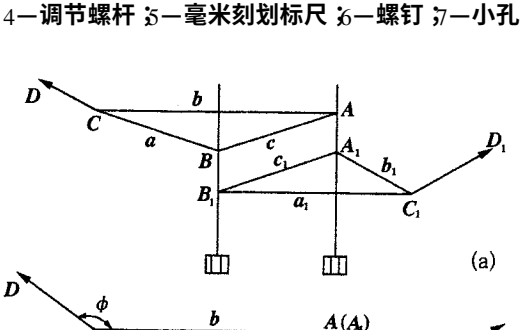



图 2－4－8

**(二)井下连接**

确定井下经纬仪导线起始边 $C_1D_1$ 的方位角 $\alpha_{C_1D_1}$ 和连接点 $C_1$ 的坐标 $x_{C_1}$，$y_{C_1}$。

实际工作进行时，先利用地面已知的控制点引一条导线，求出 $DC$ 边的方位角 $\alpha_{DC}$ 和 $C$ 点的坐标 $x_C$，$y_C$。由于在悬垂 $A$、$B$ 的钢丝上不能安置仪器来测定 $C$ 和 $C_1$ 角，所以使 $C$ 和 $C_1$ 点分别形成以 $AB$ 为公共边的地面 $\triangle ABC$ 和井下 $\triangle A_1B_1C_1$ 见图 2－4－8(a)，这两个三角形就称为连接三角形。而图 2－4－8(b)所示，为井上、井下连接三角形的平面投影图。这样，当已知地面 $DC$ 边的方位角 $\alpha_{DC}$ 和 $C$ 点的坐标 $x_C$，$y_C$，再在 $C$ 点安置经纬仪测出 $C$ 角和连接角 $\varphi$，同时量出 $\triangle ABC$ 的三边 $a$，$b$，$c$，即可用导线计算的方法计算出 $AB$ 边的方位角 $\alpha_{AB}$ 和 $A$、$B$ 点的坐标 $x_A$，$y_A$，$x_B$，$y_B$。同样，通过悬垂 $A$、$B$ 的方位角和坐标，再在井下 $C_1$ 点安置经纬仪测出 $C_1$ 角和连接角 $\varphi_1$，量出 $\triangle A_1B_1C_1$ 的三边 $a_1$，$b_1$，

$c_1$。便能计算出井下导线起始边 $C_1D_1$ 在地面坐标系统中的方位角 $\alpha_{C_1D_1}$ 和 $C_1$ 点的坐标 $x_{C_1}$，$y_{C_1}$。

设立 $C$ 和 $C_1$ 点的条件是：

(1) $C$ 点要与 $A$、$B$、$D$ 点通视，$C_1$ 要与 $A_1$、$B_1$、$D_1$ 点通视，且 $CD$ 和 $C_1D_1$ 边尽量大于 20m。

(2) $C$ 和 $C_1$ 点尽可能选在 $AB$ 的延长线上，使角 $A$、$C$ 和角 $B_1$、$C_1$ 小于 $2^\circ \sim 3^\circ$，这样使连接三角形成为有利形状的延伸三角形。

进行连接测量时，需测量的数据如下：

地面　要量 $\triangle ABC$ 的三边口，$a$，$b$，$c$ 和角 $C$、连接角 $\varphi$。

井下　要量 $\triangle A_1B_1C_1$ 的三边 $a_1$，$b_1$，$c_1$ 和角 $C_1$、连接角 $\varphi_1$。

## 三、计算

### (一)作量边正确性的检查

即根据地面量得之 $a$，$b$ 边与 $C$ 角用余弦定律计算边长 $c$。

$$c_{计算值} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos C} \tag{2-4-2}$$

以 $c_{计算值}$ 与实际量得之 $c_{测量值}$ 作比较，$c_{计算值} - c_{测量值}$ 不 $> \pm 2\text{mm}$，否则连接三角形要重测。对井下连接三角形亦需作此检查，符合要求后再进行下述计算。

### (二)解算连接三角形的 $A$、$B$ 角和 $A_1$、$B_1$ 角

根据正弦定律

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} \tag{2-4-3}$$

地面：

$$\sin A = \frac{a}{c}\sin C, \quad \sin B = \frac{b}{c}\sin C \tag{2-4-4}$$

当 $A < 2^\circ$，$B > 178^\circ$ 时，公式(2-4-4)可简化为：

$$A'' = \frac{a}{c}C'', B'' = \frac{b}{c}C'' \tag{2-4-5}$$

此时，还应检查算出之角 $A$、角 $B$ 和测出之角 $C$ 三角之和是否等于 $180^\circ$，如不等于 $180^\circ$，则用相反符号分配角闭合差。

井下：用同法计算出 $A_1$ 和 $B_1$ 角。

### (三) 用导线计算方法计算井下起始边的方位角和起始点的坐标

求得以上角度后，便可将地面、井下看成一条导线 $D-C-A-B-C_1-D_1$(见图 2-4-9) 按导线计算方法，首先推算各边之方位角。

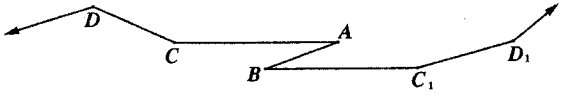



图 2－4－9

此时可根据已知地面导线边 $DC$ 的方位角 $\alpha_{DC}$ 推算各边方位角，由于在该导线中角 $\varphi$、$B_1$、$\varphi_1$ 为导线的左角。角 $A$ 为右角。则

$$\alpha_{CA} = \alpha_{DC} + 180° + \varphi$$

$$\alpha_{AB} = \alpha_{CA} + 180° - A$$

$$\alpha_{BC_1} = \alpha_{AB} + 180° + B_1$$

$$\alpha_{C_1D_1} = \alpha_{BC_1} + 180° + \varphi_1$$

求出之 $\alpha_{C_1D_1}$ 即为所求井下导线起始边 $C_1D_1$ 在地面坐标系统中的方位角。

然后再根据已知地面点 $C$ 的坐标 $x_C$，$y_C$ 和各边方位角计算坐标增量和 $C_1$ 点的坐标。

$$\Delta x_{CA} = b \cdot \cos\alpha_{CA}, \qquad \Delta y_{CA} = b \cdot \sin\alpha_{CA};$$

$$\Delta x_{AB} = c \cdot \cos\alpha_{AB}, \qquad \Delta y_{AB} = c \cdot \sin\alpha_{AB};$$

$$\Delta x_{BC_1} = a_1 \cdot \cos\alpha_{BC_1}, \qquad \Delta y_{BC_1} = a_1 \cdot \sin\alpha_{BC_1}。$$

最后得到井下连接点 $C_1$ 在地面坐标系统中的坐标 $x_{C_1}$、$y_{C_1}$。

$$\left.\begin{aligned} x_{C_1} &= x_C + \Delta x_{CA} + \Delta x_{AB} + \Delta x_{BC_1} \\ y_{C_1} &= y_C + \Delta y_{CA} + \Delta y_{AB} + \Delta y_{BC_1} \end{aligned}\right\} \qquad (2-4-6)$$

为了进行检核，二井定向应独立进行两次。两次所得起始边方位角之差不应大于 $\pm 2'$，如在限差内，则取两次方位角的千均值作为最后成果。

# 第三节　两井定向

## 一、两井定向的特点

当矿区有两个相邻的竖井，且井下巷道相互连通时，即可用两井定向。在这种情况下，每一井筒中只需放下一个悬垂，然后在地面、井下，分别把两个悬垂用地面和井下导线连接起来，这样就可把地面的平面坐标和方向传递到井下。

由于两井定向时，两悬垂之间距离比一井定向时大得多，甚至达几十、几百米，所以投点误差对定向精度的影响就很小了。如两井筒距离 $S$ 为 30m，投点误差 $e$ 为 1mm，则由投点所引起的定向误差 $\theta$ 为：

$$\theta = \pm \frac{e}{S} \cdot \rho'' = \pm \frac{1}{30 \times 1000} \times 206265'' = \pm 6''.7$$

由此可见，两悬垂间距增大，定向误差大为减小是两井定向的最大优点。另外，由于井上、井下观测可以不同时进行，占用井筒时间少，不影响生产，亦为其优点。

## 二、实际操作

与一井定向同样，也分投点、连接、计算三部分。

### (一)投点

所需设备与使用方法均与一井定向相同，而且简单，由于在井筒内只挂一个悬垂，就有可能选择最好悬挂位置。

### (二)连接

(1)地面连接(见图 2－4－10)。在地面敷设导线 $A-\text{Ⅰ}-\text{Ⅱ}-\text{Ⅲ}-B$，并和附近已知三角点 $K$、$R$，进行联测。

(2)并下连接。由悬垂 $A$ 开始沿巷道敷设导线 $A-1-2-3-4-5-B$，测量时，可先测 1～5 这一段，等悬垂放下后再测连接角 $\gamma_1$ 和 $\gamma_5$。量 $A1$ 和 $B5$ 边长。

### (三)计算

(1)根据地面导线测量的结果，可计算出两悬垂 $A$、$B$ 的坐标 $x_A$，$y_A$ 和 $x_B$，$y_B$，从而计算出 $AB$ 边的方位角 $\alpha_{AB}$和 $AB$ 边长 $S_{AB}$。则

$$\tan\alpha_{AB}=\frac{y_B-y_A}{x_B-x_A}=\frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}$$

$$S_{AB}=\frac{\Delta x_{AB}}{\cos\alpha_{AB}}=\frac{\Delta y_{AB}}{\sin\alpha_{AB}}$$

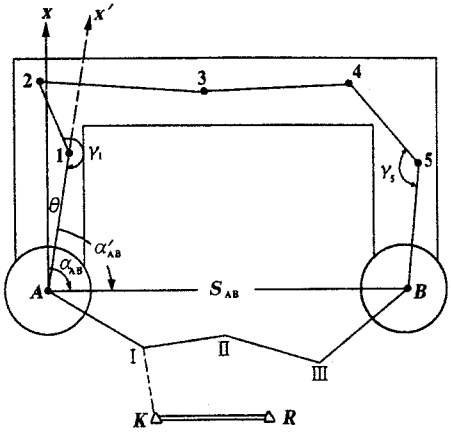



图 2－4－10

(2)对井下导线设一假设坐标系统,以 $A$ 为原点,取起始边 $A1$ 为 $x'$ 轴。因此在假定坐标系统内:$x'_A=0\quad y'_A=0\quad \alpha'_{A1}=0°$

根据 $x'_A$、$y'_A$、$\alpha'_{A1}$ 可算出井下导线所有点 1～5 及 $B$ 点的假定坐标 $x'_1$、$y'_1$……$x'_5$、$y'_5$ 及 $x'_B$、$y'_B$,从而计算出 $AB$ 之假定方位角 $\alpha'_{AB}$ 和 $AB$ 边长 $S'_{AB}$。

$$\tan\alpha'_{AB}=\frac{y'_B-y'_A}{x'_B-x'_A}=\frac{y'_B-0}{x'_B-0}=\frac{y'_B}{x'_B}$$

$$S'_{AB}=\frac{x'_B-x'_A}{\cos\alpha'_{AB}}=\frac{y'_B-y'_B}{\sin\alpha'_{AB}}=\frac{x'_B}{\cos\alpha'_{AB}}=\frac{y'_B}{\sin\alpha'_{AB}}$$

(3)计算井下导线起始边 $A1$ 在地面坐标系统内的方位角 $\alpha_{A1}$。为此必须先求出井下假定坐标系统对地面坐标系统之偏转角 $\theta$,由图 2－4－10 中可看出:

$$\theta=\alpha_{AB}-\alpha'_{AB} \tag{2-4-7}$$

即

$$\alpha_{AB}=\alpha'_{AB}+\theta$$

由此而知只要在假定方位角内加一个 $\theta$ 角即可得到地面坐标系统内的方位角。因此,

$$\alpha_{A1}=\alpha'_{A1}+\theta=0+\theta=\alpha_{AB}-\alpha'_{AB} \tag{2-4-8}$$

$\theta$ 的符号是:当 $x'$ 轴偏在 $x$ 轴之右者为“＋”号。

当 $x'$ 轴偏在 $x$ 轴之右者为“－”号。

此时根据 $\alpha_{A1}=\alpha'_{A1}+\theta$ 的规律可求得:

$$\left.\begin{aligned}\alpha_{12} &= \alpha'_{12} + \theta\\ \alpha_{23} &= \alpha'_{23} + \theta\\ \cdots\quad &\cdots\quad \cdots\\ \alpha_{5B} &= \alpha'_{5B} + \theta\end{aligned}\right\} \tag{2-4-9}$$

以上各式之 $\theta$ 取“ + ”号。

(4)根据由悬垂 $A$ 引下之地面坐标 $x_A$，$y_A$ 和算出来的井下导线各边方位角与井下各导线边长，重新计算井下导线各点及悬垂 $B$ 点的坐标。

(5)将地面、井下测得 $B$ 点坐标进行比较，如有不符值为 $f_x$，$f_y$。则其相对误差为 $f$：

$$f = \frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{P} \leqslant \frac{1}{3000}$$

式中　$P$ ——井下导线总长。

如在限差内，将 $f$ 按边长成正比用反号分配之。

为了检核和提高定向精度，两井定向亦必须独立进行两次，所得方位角之差不大于 $\pm 1'$。

目前在矿上也有用陀罗经纬仪定向，这属于物理定向，即利用陀螺仪高速旋转时，其旋转轴能指示方向的特性，把陀罗仪与经纬仪组合起来即成陀罗经纬仪，其优点是：定向时不占用井筒，仅在传递坐标时进行一次投点，并且定向精度较高。

## 第四节　高程联系测量

高程联系测量就是将地面已知水准点的高程 $H_A$ 导入井下，求出井下水准点 $B$ 的高程，使井上、井下采用同一高程系统。这种传递高程的工作也叫导入标高。导入标高时，如通过平峒，可用几何水准测量。通过斜井，可用三角高程测量。通过竖井，则可用钢尺或钢丝来进行，下面详细介绍通过竖井导入标高。

### 一、钢尺导入标高

如图 2-4-11 所示，在地面井台上安一绞车，将长钢尺绕在其上，由地面挂至井下，钢尺零端在下，其上挂一垂球，其重等于钢尺鉴定时的拉力。并在地面、井下各安置一台水准仪，在 $A$、$B$ 点上各立一水准尺。根据规定之信号或电话，同时在地面、井下读取水准尺上的读数为 $a$ 和 $b$。并在水准仪同一视线水平在钢尺上读数为 $m$ 和 $n$。即可求出

井下水准点 $B$ 的高程 $H_B$。设 $A$、$B$ 两点之间的高差为 $h_{AB}$ 则：

$$H_B = H_A - h_{AB} \tag{2-4-10}$$

而

$$h_{AB} = l - a + b$$

$$l = (m - n) + \sum \Delta l \tag{2-4-11}$$

式中　$(m - n)$——两水准仪水平视线间之垂直距离；

$\sum \Delta l = \Delta l_k + \Delta l_t$　　$\Delta l_k$ 为钢尺比长改正数；$\Delta l_t$ 为钢尺温度改正数。

$$\Delta l_k = k \cdot l \tag{2-4-12}$$

式中　$k$ ——钢尺每米的比长改正数。

$$\Delta l_t = \alpha_0 \cdot l \left( \frac{t_{上} + t_{下}}{2} - t_0 \right) \tag{2-4-13}$$

式中　$\alpha_0$—钢尺膨胀系数，为 0.0000115m/℃；

$t_0$——钢尺鉴定时的标准温度；

$t_{上}$——地面井口温度；

$t_{下}$——井下温度；

$\frac{t_{上} + t_{下}}{2}$——井筒平均温度，均可用温度计测出。

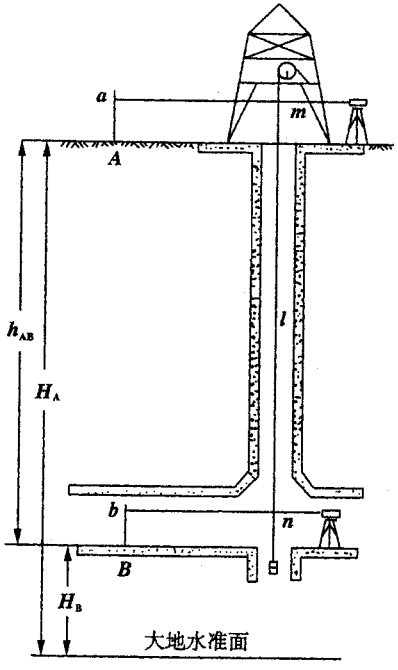



图 2-4-11

为了校核，导入标高应进行两次，其差不应大于$\frac{l}{800}$，$l$——以米为单位之井筒深度。

用长钢尺虽能保证导入标高的精度与工作效率，但长达数百米的长钢尺鉴定有困难，使用时亦要小心，价格又贵，故各矿上目前均采用长钢丝导入标高。

## 二、钢丝导入标高

用钢丝导入标高，其精度不低于用钢尺导入标高，且只需一根钢丝，既经济又方便，故被广泛应用。但因为钢丝本身不像钢尺一样有刻度，不能直接量出长度 $l$，所以必须在井口设一临时比长台，台上固定一根鉴定过的钢尺，在零端挂一垂球，其重等于钢尺受鉴定时之重量。利用比长台上的钢尺来丈量钢丝的长度，以间接求得 $l$ 之值。如图 2－4－12 所示 将钢丝绕在绞车上，另一端通过滑轮从地面挂至井底后即可开始工作。此时地面近井点 $A$ 的高程已知为 $H_A$，需求井下水准点 $B$ 的高程 $H_B$。先在井下做三步工作：

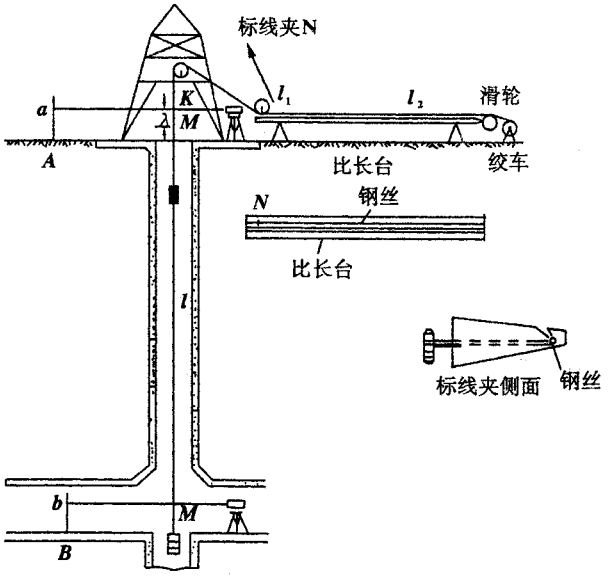



图 2－4－12

(1) 在井下安置水准仪，使之同时能看见钢丝和立于 $B$ 点的水准尺，得读数 $b$；

(2) 在水准仪同一视线水平上，把标线夹套在钢丝上标出一点 $M$；

(3) 在比长台上对着钢尺末端的钢丝上套一标线夹标出 $N$ 点，得读数 $l_1$，

这三步工作应根据规定信号在同一时间内完成。

然后，开动绞车卷起钢丝，此时 $M$ 点随着钢丝上升，而 $N$ 点则在比长台上，自钢尺末

端移至钢尺零端有厘米分划的那一部分时，就停止提升，并在钢尺上读数 $l_2$，把 $N$ 夹子退回到钢尺末端整分划上读数 $l'_1$，再提升钢丝得读数 $l'_2$，如此重复进行，直到 $M$ 标线夹出井口为止。此时又需进行下面四步工作：

(1) 在比长台上对着 $N$ 标线夹最后停留的位置，在钢尺上读最终读数；

(2) 在地面上安置水准仪，同时能看到钢丝和 $A$ 点的水准尺，得读数 $a$；

(3) 在水准仪同一视线水平上，用另一标线夹标出一点 $K$；

(4) 用厘米刻划的尺子量出 $MK$ 的距离 $\lambda$，$M$ 在 $X$ 点之下 $\lambda$ 为正，$M$ 在 $K$ 点之上 $\lambda$ 为负。

上述前三步亦应在同一时间内完成，但事实上做不到，故应尽量做得快。这样导入标高的测量工作就算完成，则所求 $B$ 点高程为：

$$H_B = H_A - h_{AB}, \qquad h_{AB} = l - a + b$$

式中

$$l = \sum(l_1 - l_2) \pm \lambda + \sum \Delta l \qquad \sum \Delta l = \Delta l_k + \Delta l_t$$

在此处因为 $M$ 在尺之下，故久取‘正’号。

目前，有些矿井为减少占用井筒时间，只是在井上、井下水准仪观测后，在同一视线水平上与钢丝的交点作上记号，然后把钢丝拿到地面平坦地方用钢尺丈量出长度。

用长钢丝导入标高也至少进行两次，两次之差同样不得大于 $\frac{1}{8000}$。

# 第五章　井下经纬仪导线测量

## 第一节　概　　述

在矿区地面可用三角测量建立矿区的平面、高程控制。但在井下由于条件差，建立井下控制网不能像地面那样用三角测量方法，而只能在巷道内进行经纬仪导线测量以建立井下测量控制网，再在此基础上进行碎部测量，绘制巷道平面图，以解决有关巷道掘进、地质勘探等问题。

井下经纬仪导线测量按测角量边的精度分为两级：

(1)一级井下导线 精度较高，敷设在主要井巷内。它的作用是保证主要巷道平面图的精度和检查二级导线测量，并作为二级导线的控制点。

(2)二级井下导线 精度比一级导线低，用于主要巷道内的填图测量，以及次要巷道内的独立测量。

井下经纬仪导线测量的过程是：

在井下主要巷道内，二级导线和一级导线测量是交替进行的。如图 2－5－1 所示：

由井底车场开始掘进运输巷道 $AB$，由于巷道掘进是逐步进行的，因此巷道测量也是不断进行的。开始时，由井底车场已知点 $C_1$ 和起始边 $C_1D_1$ 随着掘进需要给定巷道的方向，所以先布设一条二级导线(如图 2－5－1 中虚线)，同时测绘出巷道轮廓，填到矿山测量总图上，故亦称填图测量。当巷道掘进至 300～800m 左右时，再从 $C_1D_1$ 边开始，沿着二级导线点或另选新点至巷道最后工作面敷设一条一级导线(如图 2－5－1 中实线)，它

应与二级导线的最后三点 $H$、$I$、$K$ 相重合，以检查二级导线测量的正确性，同时也为了建立井下测量控制网，故其精度要比二级导线高。

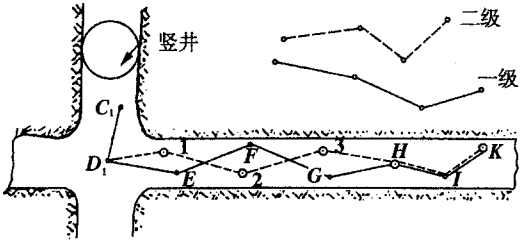



图 2－5－1

一级、二级导线的测站可用临时标志设立，但在末端的公共点 $H$、$I$、$K$，则用永久标志设立。目的是将来再利用这条导线时，即用这三点作为导线起始点，就可重测三点间之角度来检查这三点位置是否移动，如三点中任何一点移动了，均会引起 $\angle HIK$ 的变化而与原有观测值不同，如果点没有移动，或新旧两值之差不 $> \pm 2t$（一级）或 $4t$（二级）时，就可用三点中之一点作为导线继续前进的起始点。

上述是在主要巷道内进行的测量，在次要巷道内仅用二级导线，但需用闭合或附合导线的方法作检查。

## 第二节　矿用经纬仪的构造

一般情况下，地面经纬仪也可用于井下测量，在此不再重复介绍。但是，为了适应井下环境的需要，对矿用经纬仪还有某些特殊要求。因为井下测站大多数设在顶板上，测量时需要点下对中，故需有镜上中心。在巷道陡时需有偏心望远镜。为免受井下矿尘及滴水的影响，仪器要密封。并要求仪器能用于复测、体积小、便于携带。

## 第三节　井下经纬仪导线测量的作业方法

### 一、踏勘、选点

即对需要测量的巷道进行踏勘、选点。选点的原则是，点与点之间必须通视，选在巷道拐弯或诸巷道交点处，且应在不妨碍巷道运输之处，并为减少测角误差，尽可能使导线边长一些。选点时可由三人进行，以矿灯表示点位，互见矿灯时，即固定中间一点。

### 二、设立测点

在巷道内测点可设在底板或顶板，导线边较短时，将测点设在顶板比较好。井下导线点可分：

（一）永久点

在巷道存在的整个时期内，保持其位置永久不变，一般设在顶板，易寻找，又不易被破坏。如顶板岩层松软则设在底板（见图 2－5－2）。永久点必须在测量前几天设好，每隔 300m 必须有一组三个点。在井底车场、主要巷道要设一组点，以备将来测量时用。

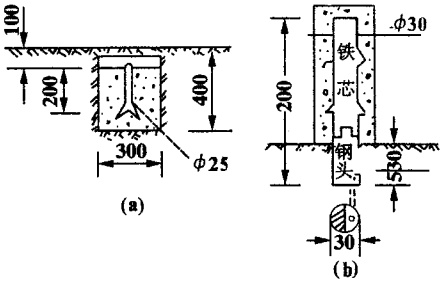



图 2－5－2

（二）临时点

在短时期（1～3 年）保持点位不变，一般设在顶板，其构造简单，为一带有小孔的薄铁片或木楔，见图 2－5－3。

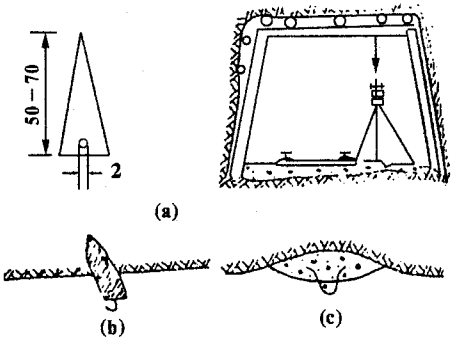



图 2－5－3

## 三、井下导线水平角测量

### (一)安置仪器

1.对中、整平

当测点在底板,其方法与地面测量相同。当测点在顶板,则先在测点上挂下垂球,使脚架面大致水平,放在垂球尖下,再把仪器放置脚架上,中心螺丝不要拧太紧,粗略整平,并使望远镜视准轴水平,沿脚架面移动仪器,使垂球尖精确对准镜上中心,重复对中、整平,直至精确对中为止,对中误差为 1.2～1.5mm,最后拧紧中心螺丝。

2.瞄准标志与照明

在测站相邻的前视点、后视点上挂垂球作为瞄准标志,并用矿灯(其上蒙一透明纸,以免晃眼)照亮垂球线,以使望远镜中的影像十分清晰。作为瞄准标志的垂球重 1～2kg,为减少气流影响,可把垂球放在水桶中。瞄准时,先瞄灯光再瞄准垂球线,测量读数时,也要用灯光照亮。

### (二)测水平角

由于井下黑暗,读数困难,故用专门的复测法进行。复测法测角,不论测多少个测回,一共只读取三个读数,这对读数困难的井下来说是非常有利的。下面以一个全复测为例来说明此种测角方法:

(1)欲测水平角 $\beta$(见图 2－5－4),则在测站 $O$ 上安置仪器,对中、整平后,将度盘零指标线对在稍大于 0°的读数;

(2)板下复测钮,将度盘和照准部扣紧,用盘左位置,松开照准部制动螺旋瞄准 $A$ 点读数 $\alpha_1$(始读数);

(3)松开复测钮,使度盘和照准部脱离,再松开照准部制动螺旋,顺时针瞄准 $B$ 点读数 $\alpha_{Ⅱ}$。则得 $\beta_K = \alpha_{Ⅱ} - \alpha_{Ⅰ}$。$\beta_K$ 为检验角,以供检验用;

(4)倒转望远镜,板下复测钮,用盘右位置,瞄准 $A$ 点,固定之,但不读数(实际上此时读数仍为 $\alpha_{Ⅱ}$);

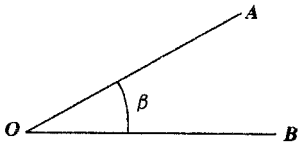



图 2-5-4

(5)松开复测钮,再松开照准部制动螺旋,顺时针瞄准 $B$ 点读数 $\alpha_{Ⅱ}$(终读数)。至此一次全复测完成。所测 $\beta$ 角的计算公式为:

$$\beta = \frac{\alpha_{Ⅲ} - \alpha_{Ⅰ}}{2} \qquad (2-5-1)$$

由此可知,一次复测的终读数为两倍角,两次复测其终读数为四倍角,则 $n$ 次复测角值的普遍公式为:

$$\beta = \frac{\alpha_{Ⅲ} - \alpha_{Ⅰ}}{2n} \qquad (2-5-2)$$

式中　$n$ —全复测的次数。

检验角 $\beta_K$ 是用来检验复测角值 $\beta$ 是否正确,两者之差不能大于 $1.5t$($t$ 为仪器最小读数),否则应重测。复测法水平角记录格式见表 2-5-1。

表 2-5-1　复测法水平角记录手薄

日期_____年_____月_____日　　仪器名号_____　$t$ = _____　　观测者_____

| 测站 | 目标 | 读数标号 | 水平度盘读数 | | | $\beta$ 角值 | | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ° | ′ | ″ | ° | ′ | ″ | |
| $O$ | $A$ | $\alpha_{Ⅰ}$ | 0 | 09 | 30 | | | | 此处 $n=2$ $t=1'$ |
| | $B$ | $\alpha_{Ⅱ}$ | 70 | 20 | 00 | (70 | 10 | 30) | |
| | $B$ | $\alpha_{Ⅲ}$ | 280 | 51 | 30 | 70 | 10 | 30 | |

(2-5-2)式只适用于终读数 $\alpha_{Ⅲ}$ 等于所测角的倍角不超过 360°时,才是正确的。若所测角为 100°,两次复测后终读数应为 400°,但度盘刻划只到 360°,所以实际上此时终读

数只有 40°，这样(2－5－2)式就不适用，而应采用下式：

$$\beta = \frac{\alpha_{\text{Ⅲ}} - \alpha_{\text{Ⅰ}} + K \cdot 360^{\circ}}{2n} \qquad (2-5-3)$$

式中：$K$ 为零指标线经过度盘 0° 的次数，可根据 $n$ 次复测角的终读数为 $2n$ 倍角而用心算算得应加 $K$ 个 360°。再计算最终的 $\beta$ 角值。

## 四、导线边长及其倾角测量

在井下经纬仪导线测量中，量边长和测倾角经常是一起进行的，目的是将倾斜边长 $D'$ 换算成水平长度 $D$：

$$D = D'\cos\delta$$

式中　$\delta$——导线边的倾角。

同时还可计算两导线点间的高差，从而求出导线点的高程。

$$h = D \cdot \tan\delta + i - L$$

这和地面三角高程测量相同。

当导线点都设在顶板上时(见图 2－5－5)，用经纬仪测定水平角和 $AB$ 边的倾角之后，可以下放垂球到巷道底板而得投影点 $A_1$、$B_1$，即可沿着底板来丈量 $AB$ 边长，取往返测的平均值作为最后结果。

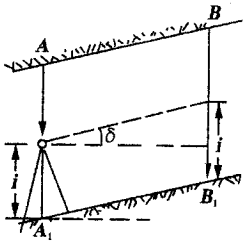



图 2－5－5

由于巷道底板多少有些高低不平，这就会引起量边误差，故一般采用悬空量法(如图 2－5－6)。欲量 $AB$ 边长，设在 $A$ 点安置经纬仪，瞄准 $B$ 点在 $AB$ 之间，定出中间点 $C$、$D$，并悬挂垂球，再使经纬仪竖盘为巷道设计的倾角 $\delta$，在视线的垂直面内用望远镜中丝切 $B$、$C$、$D$ 三垂线得交点 $B_1$、$C_1$、$D_1$，并作出记号，这样就可分段用钢尺量出 $A_1C_1$、$C_1D_1$、$D_1B_1$ 的长度，则 $AB = A_1C_1 + C_1D_1 + D_1B_1 = A_1B_1$。归算为水平距离 $D_{AB} = A_1B_1 \cdot \cos\delta$。

量边时，应由 $A-B$ 和 $B-A$ 各往返测一次，在返测时，应把中间点挪动一下，以防止

粗差。导线边长往、返测之差与往返平均值之比，一级导线不应大于$\frac{1}{3000}$，二级导线不应大于$\frac{1}{2000}$。

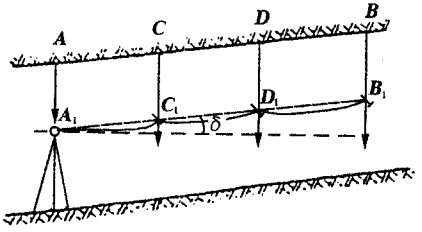



图 2－5－6

## 五、内业计算

完全与地面经纬仪导线计算相同，最终计算出各导线点的平面坐标 $x_i$、$y_i$ 以及高程 $H_i$。

## 六、碎部测量

其目的是测量井下各个细碎部分，如巷道轮廓，矿藏上、下盘面各点，取样点，地质构造变化点等，以获得填图资料。

碎部测量一般在井下导线测量完毕后进行，有时也可与导线测量同时进行，但都必须以导线测量为基础。碎部测量常用的方法有：

(一)垂距法

用于狭长的巷道。其方法即测量某些碎部特征点至导线边上的垂距(以 $b$ 表示)和该垂距的垂足到某一导线点的距离(以 $a$ 表示)(图 2－5－7)。同时应画出草图。在安置仪器的导线点上，必须丈量仪器中心到顶、底板和两帮的距离，即量上、量下、量左、量右。根据导线点的坐标和各碎部点的 $a_i$ 和 $b_i$ 距离，即可绘出巷道的平面图。

(二)极坐标法

用于测量巷道内的峒室。其方法即利用附近的导线点，安置经纬仪，以前方测站为零方向，测量峒室的特征点，如图 2－5－8 中 $A$、$B$、$C$、$D$、$E$，记下各视线的水平角和仪器到各点的距离 $d_i$，即可绘出该峒室的平面图。

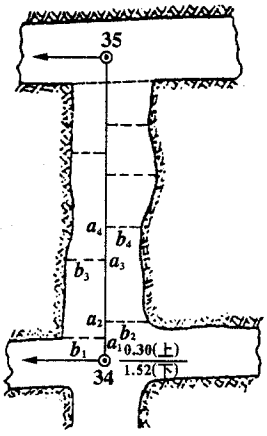



图 2－5－7

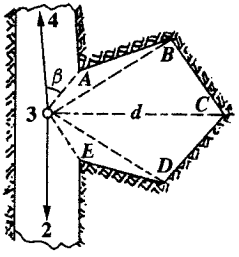



图 2－5－8

### 七、测量成果的整理

把所有测量原始数据整理好，根据计算出的导线点坐标、高程和碎部测量的成果等绘出井下巷道图。

## 第四节　井下悬挂罗盘仪导线测量

在井下进行次要巷道或回采工作面测量时，由于精度要求低，可以使用精度较低的仪器和工具，如测水平角或磁方位角可用悬挂罗盘仪，测倾斜角可用悬挂半圆仪，〔如图 2－5－9(a)、(b)〕。还有皮尺、绳子、钉子、锤子等工具。

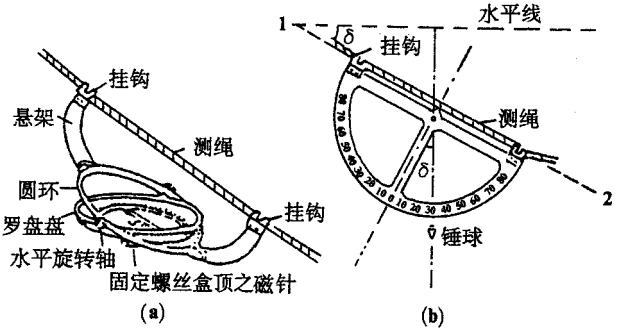



图 2－5－9

利用悬挂半圆仪测量某两点间的倾角，即在两点间张紧一条绳子，挂上半圆仪，利用垂球的重力，可测得两点间的倾角 $\delta$。

## 一、井下罗盘仪导线测量的方法

### (一)选点

罗盘仪导线应从经纬仪导线点开始，附合到另一经纬仪导线点上，或形成闭合导线沿着次要巷道敷设，点位一般用钉子钉在支架上作标记，距离不超过 20m。在两点间张紧绳子，形成若干线段所组成的折线即为罗盘仪导线(见图 2－5－10)。

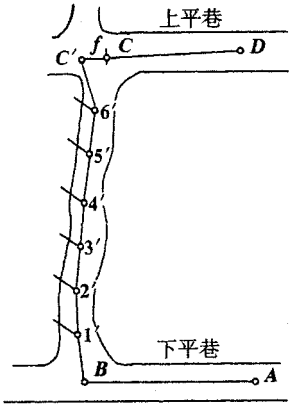



图 2－5－10

### (二)测定磁偏角

每个悬挂罗盘仪在使用之前，要测定该罗盘仪在此矿井的磁偏角 $\Delta$。方法是先在井下经纬仪导线点 $A$、$B$ 间(其真方位角 $\alpha_{BA}$ 是已知的)张紧一根绳子，挂上罗盘仪测出磁方

位角 $\alpha'_{BA}$，则磁偏角 $\Delta = \alpha_{BA} - \alpha'_{BA}$。

（三）量各边的倾角（先量倾角不使绳下垂）

用半圆仪挂在罗盘仪导线边两端，测出该边倾角，读数精确到 30′，并注上倾角的正负号（以前进方向为准，前方高者为正、低者为负），取两端平均值，即为该边之倾角。

（四）量各边的磁方位角

将罗盘仪的 0°指向导线前进方向，挂在绳的一端，以磁针北端读数精确到 30′，即为该边之磁方位角，再将罗盘仪挂在绳的另一端，读出磁方位角，当两次读数之差不大于 2°时，取其平均值作为最后结果。

（五）量边、测碎部并画草图

量边主要用皮尺，沿绳子悬空量到厘米，每边往返各量一次，两次之差不大于边长的 $\frac{1}{200}$，取其平均值作为成果。

碎部测量主要采用垂距法，并需在现场画草图，以备日后作图时参考。

## 二、测量成果的整理

（1）首先检查所测成果与草图是否正确；

（2）计算导线各边的方位角；

（3）计算导线各边的边长和高差；

（4）用图解法绘罗盘仪导线平面图。

画罗盘仪导线是在已知的经纬仪导线点 $A$、$B$、$C$、$D$ 的基础上进行的。从 $AB$ 边开始，在 $B$ 点用量角器按 $B1$ 边方位角画出 $B1$ 的方向线，在其上按比例尺量取 $B1$ 边之水平距离即得导线点 1′ 的位置。依次类推画出 2′、3′……6′ 各点位置。最后 $C'$ 点应和已知点 $C$ 重合，但由于测量和作图误差累积的原因，致使 $C'$ 点不与 $C$ 点重合而产生罗盘仪导线闭合差 $CC'$（称绝对闭合差）（见图 2 – 5 – 10）。

$$\frac{CC'}{L(\text{导线总长})} = f \text{ 称相对闭合差}$$

当 $f$ 不 $> \frac{1}{200}$ 时可用图解法按与导线长度成比例进行分配，即在图低上先画一条直线，定出 $B$ 点，将导线各边长按比例依次在直线上画出 1′……6′，$C'$ 点，再在 $C'$ 点上作垂线 $CC' = f$ 连 $BC$，形成一直角三角形，再自点 1′2′…… 各点向上作垂线交 $BC$ 于点 1、2……6〔见图 2 – 5 – 11（a）〕。

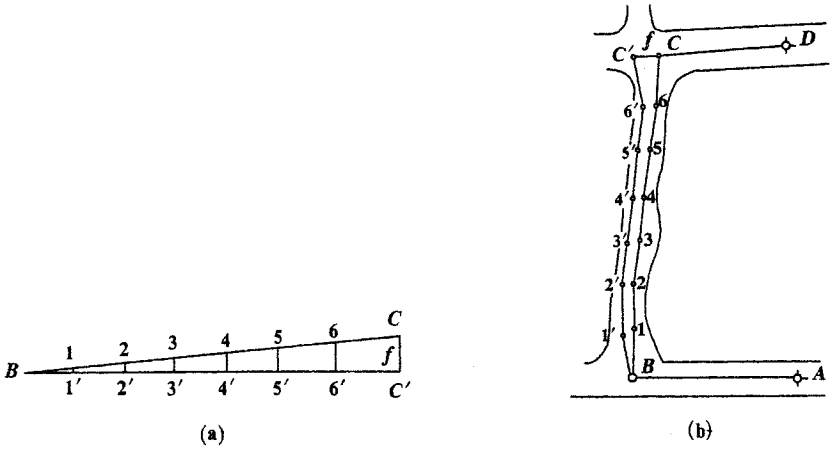



图 2－5－11

最后，进行导线闭合差的调整，在图纸上过 1′、2′、……6′点作 $CC'$ 线的平行线，其方向与 $C'$ 离 $C$ 的方向相反，再在各平行线上截取 1～1′、2～2′、……6～6′〔见图 2－5－11(b)〕，将闭合差分配到各点，而得 $B$、1、2、3、4、5、6、$C$，即为调整后的罗盘仪导线平面图。

## 第五节　井下高程测量

### 一、概述

井下高程测量的目的是为了确定巷道内各测点的高程，以建立地下高程控制网，以及绘制各种巷道的垂直投影图、剖面图和断面图等。井下高程测量按巷道情况不同而采用不同的测量方法。在地面进行水准测量、三角高程测量和通过竖井导入标高，前面均已介绍，现就井下水准测量和三角高程测量分述如下。

### 二、井下水准测量

用于水平和缓倾斜(倾角 $< 8°$)巷道。

在主要平巷掘进时，先用Ⅱ级水准测量给定巷道坡度，当掘进 300～800m 时，再进行Ⅰ级水准测量以确定水准点和永久导线点的高程。

井下水准测量也是用仪器大致放在两测点中央，读取前后视水准尺上读数，但观测

时需用矿灯照明水准尺。当水准尺立在底板，其零点在下。当水准尺挂在顶板，其零点朝上。由于在井下巷道中，水准点有的设在底板或顶板上，故在测量时可能会出现下面四种情况，如图 2－5－12 所示：

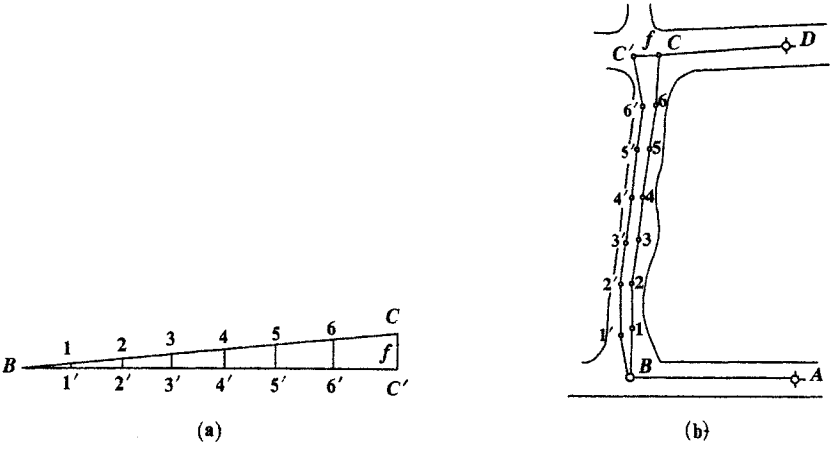



图 2－5－12

(1)后视点与前视点均在底板上，如图 2－5－12(1)

则　　$h_{AB} = a - b$　　(2－5－4)

(2)后视点在底板上，前视点在顶板上，如图 2－5－12(2)

则　　$h_{AB} = a + b = a - (-b)$　　仍为$(a + b)$　　(2－5－5)

(3)后视点与前视点均在顶板上，如图 2－5－12(3)，

则　　$h_{AB} = b - a = (-a) - (-b)$　　仍为$(b - a)$　　(2－5－6)

(4)后视点在顶板上，前视点在底板上，如图 2－5－12(4)，

则　　$h_{AB} = -(a + b) = (-a) - b$　　仍为$-(a + b)$　　(2－5－7)

为了计算方便，不管上述任一情况，均假设挂在顶板上的水准尺读数为负，立在底板上的水准尺读数为正。这样计算高差的公式，不论哪一种情况，仍可用一般公式：高差＝后视－前视，即 $h_{AB} = a - b$。以此代入(2－5－5，2－5－6，2－5－7)式验证，即得等式后半部分。故在记录时，必须注意把尺上读数的正、负号注明，以免算错。

井下水准路线也分闭合、附合路线和支线。Ⅰ级水准路线用两次仪器高往、返测，其高程闭合差不$> \pm 15\sqrt{L}$ mm。$L$ 为单程路线长，以百米为单位。Ⅱ级水准用两次仪器高单程测量，水准支线只用一次仪器高往返测。闭合差不$> \pm 30\sqrt{L}$ mm。如在限差以内，取往、返测高差的平均值作为最终结果。否则需重测。高程闭合差的调整，仍以其相

反符号，按测站数平均分配，改正数为：

$$V_{h_i} = -\frac{f_h}{n} \tag{2-5-8}$$

式中：$f_h$ 为高程闭合差，$n$ 为测站数。将各段高差改正后，按起始点高程推算其它各点高程。

## 三、井下三角高程测量

用于倾角大于 8°的巷道。

在实际工作中，井下三角高程测量经常和经纬仪导线测量同时进行，故经纬仪导线的测站，即为三角高程测量的测站。在进行测量时，也和水准测量一样会出现四种情况。

如图 2-5-13，$A$、$B$ 两点均在底板上，其高差：

$$h_{AB} = D'\sin\delta + i - l \tag{2-5-9}$$

式中：$D'$ 为实际丈量出仪器中心到瞄准点间斜距。$\delta$ 为瞄准点的倾角。$i$ 为仪器高。$l$ 为瞄准高。

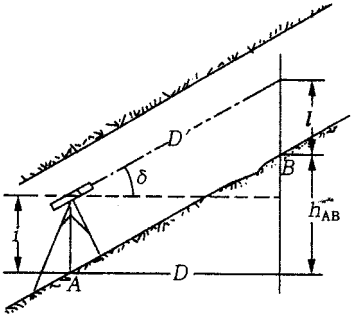



图 2-5-13

对其他三种情况，则可以假设：测点在底板时，自测点向上量的仪器高和瞄准高均为“正”。测点在顶板时，自测点向下量的仪器高和瞄准高均为“负”。这样仍可采用一般公式(2-5-9)。

## 四、巷道剖面图的绘制

测得巷道各点高程后，可以绘制巷道剖面图。其绘制方法如下(见图 2-5-14)：

(1)竖直比例尺的选择。一般水平比例尺为 1∶2000，1∶1000，1∶500，则竖直比例尺放大 10 倍为：1∶200，1∶100，1∶50；

(2)按水平比例尺画出表格。表中填写测点编号,测点间距,每个测点的实测高程和设计高程,轨道面的实际坡度;

(3)按高程画出设计剖面和实际剖面图;

(4)在表格下方画出该巷道的平面图,并画出各水准点和导线点的位置。

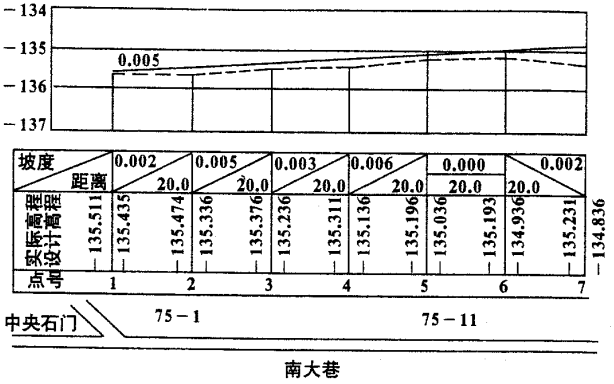



图 2-5-14

# 第六章　井巷施工测量

上述地面测量、联系测量、井下平面和高程控制测量等，为井下的测绘工作建立了测量基础。而在矿井中，日常的测量工作有 60% ~ 70% 是掘进巷道工程和回采工作面测量，它的主要任务是：

(1)测绘巷道和回采工作面的位置；

(2)按设计标定井下巷道掘进的方向、坡度，并随时检查、纠正。即巷道“放样”，在矿上叫“给向”；

(3)测定井下钻探及地质构造的特征点。

## 第一节　巷道开切的测量工作

巷道开切的测量工作主要是标定开切点的位置和给出掘进方向。

### 一、确定巷道开切点位置

如图 2 - 6 - 1 需在某一巷道内，开掘一新巷道 $AB$，其中心线 $Aa$ 与已知巷道的导线边 $FG$ 交于 $A$ 点，其交角为 $\beta_A$(称指向角)。

设：$AF = l_1$，$AG = l_2$。开切中心线 $Aa$ 到两帮 $b$、$c$ 的距离 $ab = S_1$，$ac = S_2$。

(1)首先从设计图上量取所需数据，即：用半圆仪量出 $\beta_A$ 角，再按比例尺量出 $l_1$、$l_2$、$s_1$、$s_2$ 的长度。

(2)标定开切点的位置。首先检查 $F$、$G$ 的点位有无移动,如无变化,在 $F$ 点安置经纬仪,瞄准 $G$ 点,标定出 $FG$ 方向线,沿 $FG$ 由 $F$ 点用皮尺量一段 $l_1$ 即定出开切点 $A$,再量 $A$ 至 $G$ 的距离 $l_2$,并用 $l_1 + l_2$ 检查 $FG$ 的距离。$FG$ 为已测定的导线边长。如检查无误,用垂球在顶板上把 $A$ 点标定出来,这样开切点 $A$ 的位置已定。

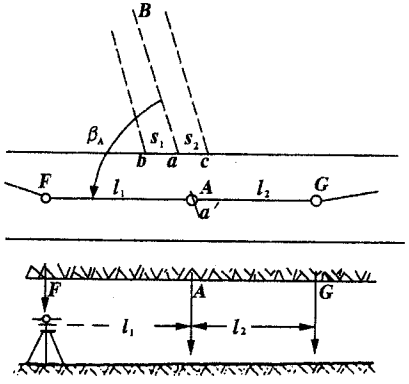



图 2-6-1

## 二、用经纬仪标定新巷道的方向

在开切点 $A$ 上安置经纬仪,以盘左位置后视 $F$ 点,将水平度盘置于零度,顺时针转一 $\beta_A$ 角,固紧之,此时望远镜的视线方向就是新巷道的中线方向,在此方向上固定一点 $a$,倒转望远镜在反方向上固定一点 $a'$。则由 $a$,$A$,$a'$ 三点组成一组中线点,用白色油漆标定出 a,A,a′三点的连线,以此指示巷道开掘的方向。最后再用经纬仪实际测量出 $\beta_A$ 角,与设计角 $\beta_A$ 校核(容许差 1′)。由于新巷道为初掘,只需大致方向,所以就可以沿着标出的方向开掘。

# 第二节　巷道中线点的测设

## 一、巷道中线的测设

当巷道掘进 5m 左右,就应在已掘好的巷道内测设出巷道中心线(简称给中线),以指出巷道继续掘进的方向。如图 2-6-2 所示 在给中线前,首先应检查开切点 $A$ 是否因

掘进时放炮震动而移位。如发现 $A$ 点有变，则应重新测设 $A$ 点，如检查 $A$ 点无位移，则将经纬仪安置在 $A$ 点。用盘左、盘右一个全复测给出指向角 $\beta_A$。由于仪器误差，可能出现盘左和盘右给出的点不相重合，而得出 $2'$ 和 $2''$ 点，则取其连线的中点 2 作为中线点。再重测 $\angle FA2$ 是否等于 $\beta_A$ 角，其误差应在 $\pm 1'$ 之内，如不超过限差，则瞄准点 2，在此视线方向上，按大于 2m 的间距定出点 1，则 $A$、1、2 三点组成一组中线点，用白漆标在顶板上，作为巷道掘进的方向。

以后每掘进 30～40m 就应重新测设一组中线点如 $B$、3、4。再掘进又测设 $C$、5、6 依此继续下去。

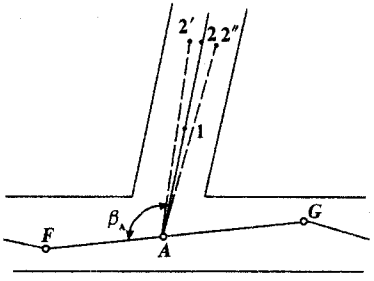



图 2－6－2

## 二、巷道边线的测设

为了使测设中线工作尽量不影响矿车的行驶，可把中线点设在靠近巷道的一帮，这种方法也叫“给边线”。巷道边线平行于巷道中线，它距巷道两帮的距离是不等的。图 2－6－3 中，$A$ 点为巷道中线点，现要测设巷道边线的起点 $B$。测设前应先根据边线到巷道中线的距离 $a$ 和 $AB$ 长度计算出 $\gamma$ 角：

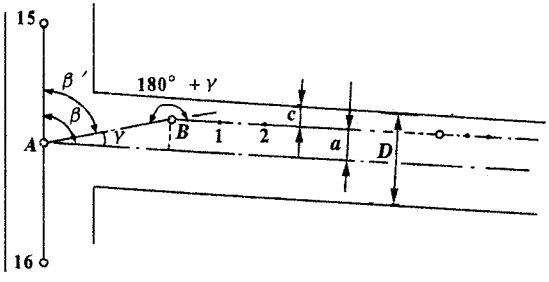



图 2－6－3

$$\sin\gamma = \frac{a}{AB} \tag{2-6-1}$$

再根据中线指向角 $\beta$，计算出标定 $B$ 点的指向角 $\beta'$

$$\beta' = \beta - \gamma \tag{2-6-2}$$

这样在 $A$ 点安置经纬仪，根据 $\beta'$ 角和 $AB$ 长度就可测设出 $B$ 点。再把仪器搬至 $B$ 点，后视 $A$ 点，置水平度盘于 $0°$，顺时针测设出角度 $(180° + \gamma)$，此时所得视线方向即为边线位置，再在此视线上设立点 1、2，形成 $B$、1、2 为一组边线点。

由边线到较近帮的距离 $c$ 称为边距，设巷道宽度为 $D$，则边距；

$$c = \frac{D}{2} - a \tag{2-6-3}$$

在掘进巷道时，可根据 $c$ 的长度做一模板尺经常检查边距的正确性。但需要注意的是，当相向掘进时两相向工作面的边线名称是相反的，见图 2-6-4(a)，以掘进方向为准，一方叫左边线，另一方就叫右边线。否则如图 2-6-4(b)中，两相向工作面都设的是右边线，这样就会造成错误，给国家带来损失是很不好的。

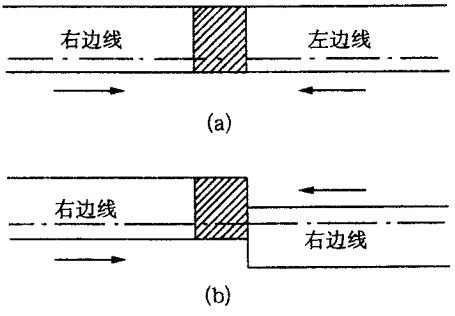



图 2-6-4

## 三、巷道中线的延长与检查

在巷道掘进过程中，掘进工作面炮眼的布置和巷道支架的位置均以巷道中线为依据。用经纬仪测设一组中线后，在一定距离内即可以该组中线点为依据，用三点连成一直线的原理，把巷道中线、边线位置标在掘进工作面上。随着掘进速度加快，全由测量人员来做，工作量太大、又不及时，所以许多矿山已将这项工作交给掘进工人自己掌握，技术人员则进行检查和纠正。一般采用：

### (一)瞄线法

如图 2-6-5 所示，在中线点 $A$、1、2 上挂垂球线，甲站在垂球线 $A$ 的后面，沿中线

$A$、1、2 的方向用眼瞄视，指挥乙在工作面上左、右移动矿灯位置正好位于中线的延长线上，用另一垂球线固定在顶板潜代矿灯位置即为巷道中线的位置。

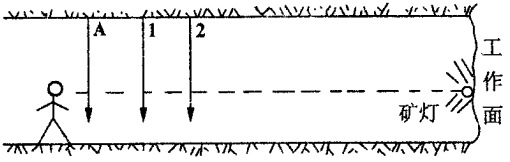



图 2－6－5

(二)拉线法

如图 2－6－6 所示，将线绳一端系于 $A$ 点上，另一端牵向工作面，使线绳与点 1、2 垂球线相切，线绳在工作面的另一端点即为中线位置。

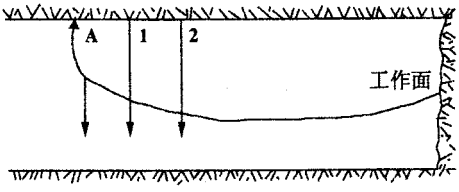



图 2－6－6

## 第三节　曲线巷道中线的测设

井下运输巷道转弯处或分岔处都有一段曲线巷道，一般都是圆曲线，其起点、终点、曲线半径 $R$ 和中心角 $\theta$ 等参数都在设计中给定。由于巷道的中线是弯曲的，无法像直线巷道那样直接标出中线，而只能在一定范围内用分段的直线(即弦线)来代替圆弧线。亦即用内接多边形的折线来代替整个圆曲线。在实际工作中就用弦线来指示巷道掘进方向。要用弦线代替圆弧线，首先要确定合理的弦长，既要转折点尽量少(即弦线要尽量长)，又要弦的两端能通视，以便于施工。实际经验证明：中心角 $\theta$ 为 45°～90°时用 2～3 根弦线。$\theta$ 为 90°～180°时用 4～6 根弦线为宜。用弦线法测设巷道曲线的方法如下：

这可分为两种情况，即分段弦线的长度可以相等，也可以不等。

## 一、计算测设要素 求弦长和各点指向角

如图 2－6－7 中 设 $R = 19.65\text{m}$，$\theta = 90°$，巷道宽 3.75m。将曲线 n 等分（此处 $n = 3$）。每弦所对中心角为 $\frac{\theta}{n}$，则弦长 $l$ 为：

$$\frac{l}{2} = R \cdot \sin\frac{\theta}{2n}$$

即

$$l = 2R \cdot \sin\frac{\theta}{2n} \tag{2-6-4}$$

此处：

$$l = 2 \times 19.65 \times \sin\frac{90°}{2 \times 3} = 10.172\text{m}$$

曲线起点 $A$ 和终点 $B$ 的指向角为：

$$\beta_A = \beta_B = 180° + \frac{\theta}{2n} = 180° + \frac{90°}{2 \times 3} = 195° \tag{2-6-5}$$

中间点 1、2 的指向角为：

$$\beta_1 = \beta_2 = 180° + 2 \times \frac{\theta}{2n} = 180° + \frac{90°}{3} = 210° \tag{2-6-6}$$

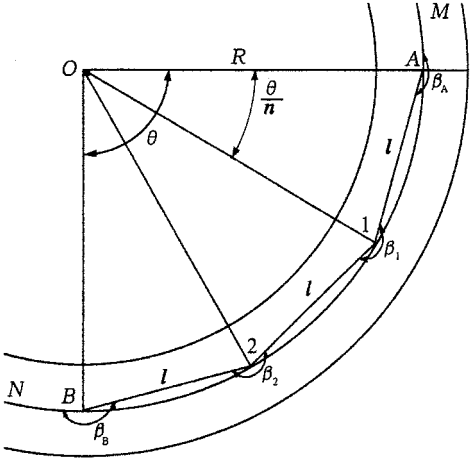



图 2－6－7

当巷道转弯角不是整度数时，不能整分，就用不等分法 如设 $\theta = 75°45'$，$R = 12\text{m}$，每弦所对中心角为 30°、30°、15°45′。则

30°角所对弦长 $l_1 = l_2 = 2 \times 12 \times \sin\frac{30°}{2} = 6.212\text{m}$。

15°45′角所对弦长 $l_3 = 2 \times 12 \times \sin\dfrac{15°45'}{2} = 3.288\text{m}$。

各点的指向角为：$\beta_A = 180° + \dfrac{30°}{2} = 195°$

$$\beta_1 = 180° + 2 \times \frac{30°}{2} = 210°$$

$$\beta_2 = 180° + \frac{30°}{2} + \frac{15°45'}{2} = 202°52'30''$$

$$\beta_B = 180° + \frac{15°45'}{2} = 187°52'30''$$

## 二、用经纬仪测设曲线巷道的方法(以等分法为例)

如图 2－6－8 所示，当直线巷道从某点 $M$ 掘进到曲线巷道起点 $A$ 后，先在实地定出 $A$ 点，再在 $A$ 点安置经纬仪，后视 $M$ 点，将水平度盘对准 0°，顺时针转一角度 $\beta_A = 195°$，即得弦线 $A1$ 的方向，此时因曲线巷道尚未开掘，只能倒转望远镜在后方顶板上测设出 $A'$、$A''$点。则 $A'$、$A''$、$A$ 三点连线方向为第一弦线方向，用以指示弯道掘进方向。

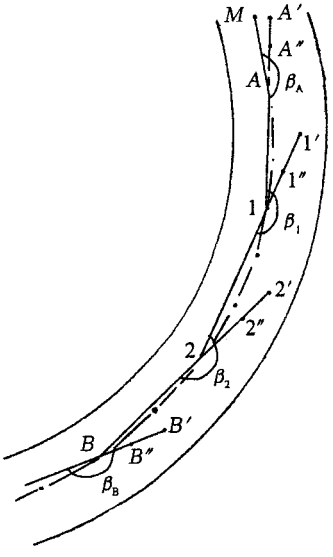



图 2－6－8

当掘进长度略大于 $l$ 弦长时，用望远镜后视 $A'$点，将水平度盘对准 0°，顺时针转 180°角，沿此方向用钢尺量出 $l = 10.172\text{m}$，即得点 1 的位置。同时给出 12 弦的方向。依此类推，直到测设出 $B'$、$B''$、$B$ 为止。

## 第四节　巷道腰线点的测设

掘进巷道时要给出巷道的坡度。坡度是用腰线来表示的，腰线点的位置应固定在巷道两帮，高于底板或轨道面 1m，也是三点为一组，其间距不小于 2m，最前面一个腰线点至掘进工作面的距离不大于 30m。

在掘进主要巷道时，坡度要求很严，多用水准仪和经纬仪来测设腰线点，在次要巷道中则用悬挂半圆仪即可。现分述如下：

### 一、用水准仪测设腰线

在坡度小于 8°的主要巷道中，用水准仪测设腰线。首先检查前一组腰线点的高程是否符合设计要求，如符合则按下述方法向前继续测设一组新的腰线点。

如图 2－6－9，点 3 为已有腰线点，点 4、5、6 为将要测设的一组新腰线点。则把水准仪安置在腰线点 3～4 中间，在后视点 3 帮壁处画出水平视线记号；自点 3 向上作垂线，交水平视线记号于 3′点，用钢尺量出 33′垂距为 $a$mm。

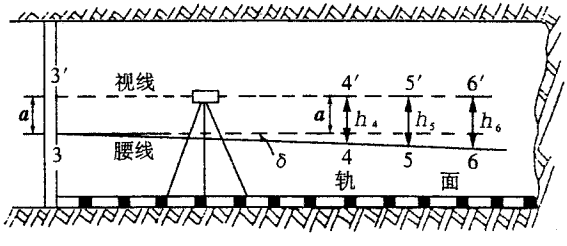



图 2－6－9

从点 3 丈量出到需测设腰线点 4、5、6 的水平距离 $D_{3-4}$，$D_{3-5}$，$D_{3-6}$，分别在帮上作垂线记号。

标出水准仪水平视线与点 4、5、6 的垂线记号之交点为 4′、5′、6′，自各点向下（或向上）量取垂距 $h_4$、$h_5$、$h_5$ 就得出一组新腰线，氮 4、5、6。$h_4$、$h_5$、$h_5$ 可按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} h_4 &= a + D_{3-4} \times i \\ h_5 &= a + D_{3-5} \times i \\ h_6 &= a + D_{3-6} \times i \end{aligned}\right\} \qquad (2-6-7)$$

式中 $i=\tan\delta$ 即坡度，上坡为正，下坡为负。应当注意：$a$ 值的符号是以水平视线为准，在视线之上为正、视线之下为负。

$h$ 值的符号决定腰线点的位置，当 $h$ 值为正时，腰线点在视线之上，$h$ 值为负时，则腰线点在视线之下。故对 $a$ 和 $h$ 值的符号，绝不可粗心大意，否则就要出错。

例 1. 设 $a=-0.303\text{m}$（表示 $a$ 在视线之下）。$D_{3-4}=30\text{m}$，$i=+3‰$

则 $h_4=-0.303+30\times0.003=-0.213\text{m}$ 即腰线点 4 在视线之下 0.213m 处。

例 2. 设 $a=-0.006\text{m}$　$D_{3-4}=30\text{m}$，$i=+3‰$

则 $h_4=-0.006+30\times0.003=+0.084\text{m}$ 即腰线点 4 在视线之下 0.084m 处。

腰线点测定后，必须检查，如符合要求，即根据这三点拉一条线绳到掘进工作面，在一帮上用白漆作记号标出腰线，指示掘进坡度。

有时采用简便的方法 如图 2－6－10，点 3 和点 4 之间的高差为 $h_4=D_{3-4}\times i$，此时即在点 3 上立水准尺，后视读数为 $a$，量出 $D_{3-4}$ 即可算出 $h_4$ 根据 $a$ 和 $h_4$ 可推算出在点 4 的水准尺读数 $b=a-h_4$，然后把点 4 的水准尺上下升降，直到尺上读数为 $b$ 时，则水准尺的零端即为腰线点 4 的位置。同法可测设出点 5、6 的位置，连接点 4、5、6 即为一组新的腰线点。

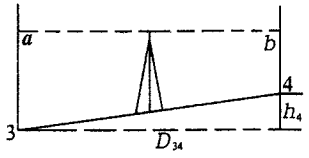



图 2－6－10

## 二、用经纬仪测设腰线

在坡度大于 8°的主要巷道，用经纬仪测设腰线的工作一般与测设中线点同时进行，其方法如下：

### （一）利用中线测设腰线

该法的特点是在中线点的垂球线上作出腰线的标志，要量出腰线点到中线点的距离，以便随时根据中线点恢复腰线点。如图 2－6－11 中：

1、2、3 点为一组已标设腰线点位置的中线点。4、5、6 点为待设腰线点的一组中线点。标设时在 3 点下安置经纬仪，量仪器高 $i$，用望远镜（盘左）瞄准中线点的垂球线，并使竖盘上竖角等于巷道设计的倾角 $\delta$。此时望远镜视线与巷道腰线于行，在中线点 4、5、6 的垂球线上用大头针标出视线位置，再倒镜（盘右）测其倾角作为检查。已知中线点 3

到腰线位置的垂距为 $a_3$，则仪器视线到腰线点的垂距为：

$$b = i - a_3 \tag{2-6-8}$$

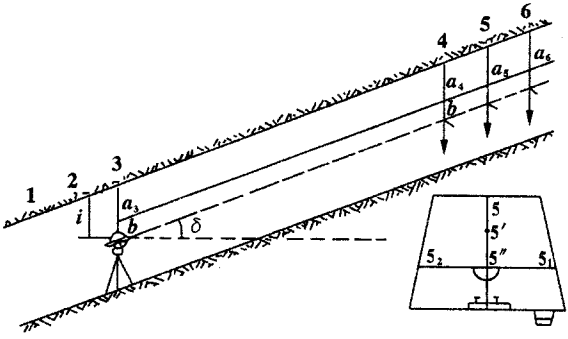



图 2-6-11

式中：$i$ 和 $a_3$ 均为从中线点向下量取的实际长度（$i$ 和 $a_3$ 均取正号）。当求出之 $b$ 为正时，腰线在视线之上（此处 $b$ 为正，故腰线在上）。$b$ 为负时，腰线在视线之下。从 4、5、6 点的垂球线上所标出的大头针记号、用小钢尺根据凸的符号，向上或向下量取长度 $b$（$b$ 为正，向上量，$b$ 为负，向下量，在此应向上量）即可得到腰线点的位置。在垂球线上作出标志，并量出标志到相应中线点的垂距 $a_4$、$a_5$、$a_6$ 记入手簿，以便随时检查和恢复腰线位置。在中线上找出腰线位置之后，再用经纬仪望远镜十字丝交点瞄准腰线点标志，固定望远镜，用一线绳拉紧与十字丝横丝重合（见图 2-6-11 右下角），此时水平线绳两端与巷道两帮的交点即为腰线点，将其标设在巷道帮壁上，以便掘进入员掌握施工。

（二）伪倾角法测设腰线

上述用经纬仪安置在巷道中线上利用中线定腰线会出现一个伪倾角问题，如图 2-6-12。

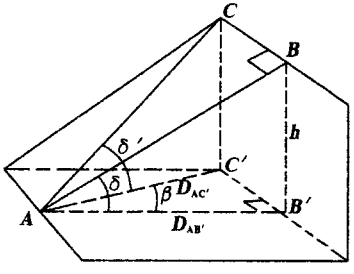



图 2-6-12

$A$、$B$ 点为巷道中线方向上的腰线点，$AB$ 的倾角为巷道的设计倾角占。图中 $BC \perp AB$。$C$ 点为巷道左帮上与 $B$ 点等高的点，其高均为 $h$，这时 $AC$ 的倾角不是 $\delta$，而是伪倾角 $\delta'$。在直角 $\triangle AB'C'$ 中，$D_{AC'} > D_{AB'}$

$$\therefore \delta' < \delta，\because \tan\delta = \frac{h}{D_{AB'}}，\tan\delta' = \frac{h}{D_{AC'}}，$$

$$\therefore \tan\delta' = \frac{D_{AB'}}{D_{AC'}} \cdot \tan\delta。$$

式中 $\triangle AB'C'$ 中，

$$\because \cos\beta = \frac{D_{AB'}}{D_{AC'}}，$$

$$\therefore \tan\delta' = \cos\beta \cdot \tan\delta \qquad (2-6-9)$$

式中 $\beta$ 为 $AB$、$AC$ 间之水子角，可用经纬仪测得。算出伪倾角 $\delta'$，即可用 $\delta'$ 来测设腰线，方法如下：

(1)如图 2－6－13 中，将仪器安置在中线点 $A$ 上，在标出新的中线点 $B$ 后，量仪器高 $i$，根据测站 $A$ 的中线点与腰线点的垂距 $a$(上面已给出)可计算出视线到腰线点的垂距 $b = i - a$。

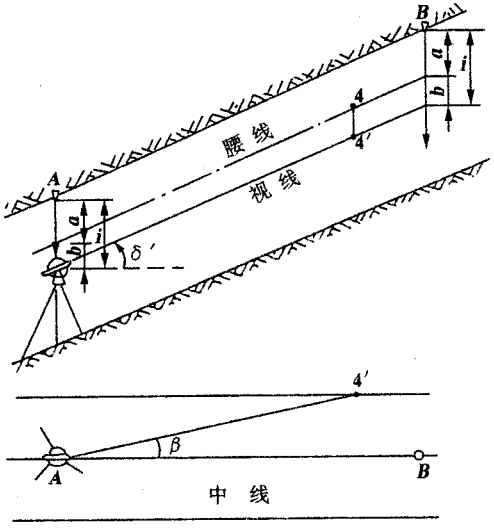



图 2－6－13

(2)将仪器水平度盘对准 0°，瞄准中线点月，然后再瞄准巷道帮上拟设腰线点 4 处，测出水平角 $\beta$(见图 2－6－13 下半部的平面图)。根据 $\delta$、$\beta$ 角，按公式(2－6－9)算出伪倾角 $\delta'$。

(3)将仪器竖盘对准 $\delta'$ 角，根据望远镜视线可在帮上标出 4′点，再自 4′点用小钢尺向

上(或向下)量取 $b$ 值,就可定出腰线点 4,用同法可连续标设一组腰线点。

## 三、用悬挂半圆仪测设腰线

在次要倾斜和急倾斜巷道中可用此法。如图 2－6－14(a)所示:$A$ 点高程为 $H_A$,腰线点 1 的设计高程为 $H_{A1}$,则 $a$ 点至 $a$ 点的高差为 $H_{A1} = H_1 - H_A$,测设时,在 $A$ 点挂一垂球线,目 $A$ 向下量 $H_{A1}$ 得 $a$ 点,过 $a$ 点拉一条垂直巷道中线的水平线,在线上挂半圆仪使得读数为零。则水平线与两帮之交点 1 和 1′即为腰线点,分别钉小钉表示之。然后再在点 1 上系一根细绳拉向巷道掘进的工作面,挂上半圆仪,使细绳上、下移动,直到半圆仪上的倾角等于巷道倾角 $\delta$,然后再沿线绳方向每隔 2～5m,在支柱上钉出 2、3 等点即为腰线点,如图 2－6－14(b)所示。可用同法在另一帮上测设 2′、3′等点。铺轨时,从各腰线点向下量 1m 即为轨道面高度。

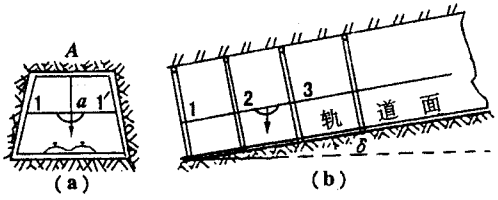



图 2－6－14

若为水平巷道,如图 2－6－15,则从点 1 拉一线绳,挂上半圆仪,上下移动,使半圆仪读数为零,再按已量出的水平距离 $D_{1-2}$、$D_{1-3}$,测设出 2′、3′等点。自 2′、3′点向上(或向下)量取 $\triangle h_2$、$\triangle h_3$。而 $\triangle h_2$、$\triangle h_3$ 可用下式算出:

$$\left.\begin{aligned}\triangle h_2 &= D_{1-2} \times i\\ \triangle h_3 &= D_{1-3} \times i\end{aligned}\right\} \qquad (2-6-10)$$

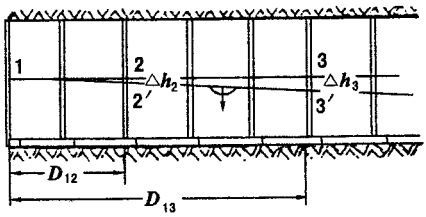



图 2－6－15

式中：$D_{1-2}$为点 1～2 间的平距，$D_{1-3}$为点 1～3 间的平距，$i$ 为巷道坡度；上坡为正，下坡为负。

使用腰线时，将绳系在 1 点，沿 2、3 点拉向掘进方向，用白漆沿绳涂在巷道两帮，用以指示巷道掘进。

# 第七章　贯通测量

## 第一节　概　　述

在进行巷道掘进时，某一巷道按设计要求掘进到指定地点与另一巷道相贯通，为此而进行的测量工作叫贯通测量。为了加快掘进速度，贯通可能出现三种情况（见图 2－7－1）：

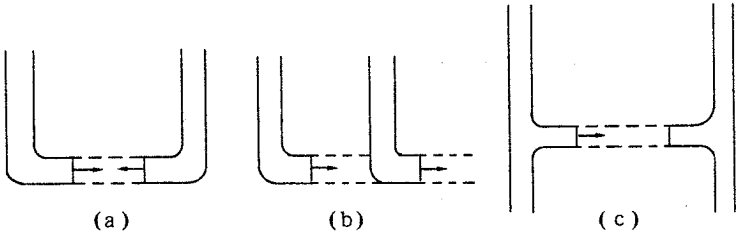



图 2－7－1

（1）两个工作面相向掘进，叫相向贯通〔图 2－7－1 中（a）〕；

（2）两个工作面同向掘进，叫同向贯通〔图 2－7－1 中（b）〕；

（3）从巷道的一端向另一端指定处掘进叫单向贯通〔图 2－7－1 中（c）〕。

这种井巷施工方法可以缩短工期、改善通风、排水、运输等条件，有利于生产，所以在矿山、铁路、隧道等工程中广泛应用。但在贯通测量中如发生差错，就会导致不能贯通，或虽然通了，但接合处偏差太大，就要严重影响巷道质量，甚至报废，给国家造成经济上、

时间上的重大损失,这是不允许的。因此要求矿山测量和管理人员必须一丝不苟,严肃认真地对待贯通测量。

另由于测量过程中不可避免地要产生一定的误差,因此贯通时在巷道接合处总会有些偏差,即 沿巷道中心线的长度偏差(只对贯通距离有影响),垂直于巷道中心线在水平面内的左右偏差和在竖直面内的上下偏差(这对贯通巷道的质量大有影响)。为此在矿山《试行规程》中规定了允许偏差值(见表 2－7－1)。

表 2－7－1　贯通的技术指标

| 贯通类型 | 允许偏差值/ $m$ | |
|---|---|---|
| | 两中线之间 | 两腰线之间 |
| 沿矿层开掘的水平巷道 | — | 0.2 |
| 沿矿层开掘的倾斜巷道 | 0.3 | — |
| 在同一矿井中开掘的斜巷和平巷 | 0.3 | 0.2 |
| 在两个矿井中开掘的斜巷和平巷 | 0.5 | 0.2 |
| 用小断面开掘的竖井 | 0.5 | — |

贯通按照巷道情况不同,主要分为 ;水平巷道、倾斜巷道和竖井的贯通三大类。贯通时的几何要素一般包括 :开切点的坐标($x$、$y$)、巷道中线方位角($\alpha$) 及其平距($D$),巷道的倾角($\delta$) 和贯通长度($S$) 及指向角($\beta$)。

## 第二节　水平巷道的贯通

如图 2－7－2 中 :设在 $A$、$B$ 两点之间要贯通一条水平巷道,为此,在 $A$、$B$ 两点间敷设一条经纬仪导线 $A$—1—2—……7—8—$B$,可以算出 $A$、$B$ 点的坐标为 $x_A$、$y_A$,$y_A$、$y_B$。再在 $A$、$B$ 点间进行高程测量,可以求出 $A$、$B$ 点的高程为 $H_A$、$H_B$。根据 $A$、$B$ 点的坐标和高程,可计算出贯通几何要素:

(1)贯通巷道中线方位角 $\alpha_{AB}$和 $AB$ 边的平距 $D_{AB}$

$$\tan\alpha_{AB}=\frac{y_B-y_A}{x_B-x_A}\qquad \alpha_{AB}=\tan^{-1}\frac{y_B-y_A}{x_B-x_A}\qquad (2-7-1)$$

$$D_{AB}=\frac{x_B-x_A}{\cos\alpha_{AB}}=\frac{y_B-y_A}{\sin\alpha_{AB}}=\sqrt{\Delta x_{AB}^2+\Delta y_{AB}^2} \tag{2-7-2}$$

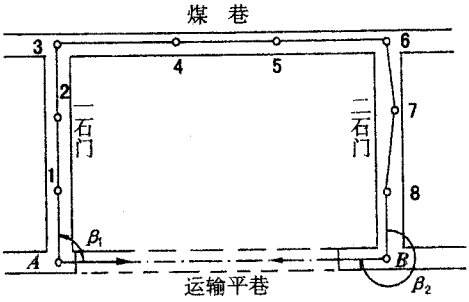



图 2-7-2

(2)贯通巷道中线的倾角 $\delta$(即 $AB$ 的坡度 $i$)

$$i=\tan\delta_{AB}=\frac{H_B-H_A}{D_{AB}} \tag{2-7-3}$$

(3)贯通巷道中线的斜距 $S_{AB}$(即贯通长度)

$$S_{AB}=\frac{D_{AB}}{\cos\delta_{AB}}=\frac{H_B-H_A}{\sin\delta_{AB}} \tag{2-7-4}$$

(4) $A$、$B$ 点的指向角 $\beta_1$、$\beta_2$

$$\left.\begin{aligned}\beta_1&=\alpha_{AB}-\alpha_{A1}\\ \beta_2&=\alpha_{BA}-\alpha_{B8}\end{aligned}\right\} \tag{2-7-5}$$

求出以上数据后,即分别在 $A$、$B$ 点上安置经纬仪,标定出 $\beta_1$ 和 $\beta_2$ 角,就给出了贯通巷道掘进的中线方向,再根据坡度 $i$ 可给出贯通巷道的腰线。但应注意,如 $A\rightarrow B$ 的坡度为正,则 $B\rightarrow A$ 的坡度为负。对沿煤层贯通的平巷,只要沿着煤层掘进。在煤层倾角大于 30° 时,可以不给中线,只给腰线即可。

## 第三节　倾斜巷道的贯通

如图 2-7-3 中 在已掘好的两干巷之间,需贯通一条倾斜巷道。现已知斜巷在下平巷的开切点为 $A$ ,斜巷中线的方位角为 $\alpha_{AP}$,为加快速度,采取上、下平巷间同时相向掘进。

此时就需在上平巷中确定开切点 $P$ 和指向角 $\beta_P$。为了求出开切点 $P$ 的坐标和贯通要素，则在上、下平巷间敷设经纬仪导线 $A-1-2-3-4-5-B$。并进行高程测量，计算出各导线点的平面坐标和高程。设 $P$ 点是贯通斜巷在上千巷的开切点，$P$ 点坐标 $x_P$、$y_P$ 可根据 $A$ 点和 5 点的坐标建立联立方程来求得。

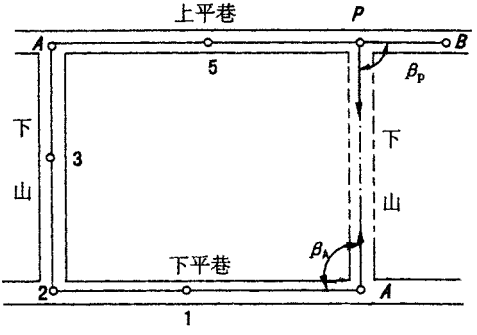



图 2-7-3

$$\tan\alpha_{AP}=\frac{y_P-y_A}{x_P-x_A}\qquad \tan\alpha_{5P}=\frac{y_P-y_5}{x_P-x_5}$$

则

$$y_P-y_A=\tan\alpha_{AP}(x_P-x_A)$$

$$y_P-y_5=\tan\alpha_{5P}(x_P-x_5)$$

解算并化简得：

$$x_P=\frac{x_A\cdot\tan\alpha_{AP}-x_5\cdot\tan\alpha_{5P}-y_A+y_5}{\tan\alpha_{AP}-\tan\alpha_{5P}} \tag{2-7-6}$$

$$y_P=\tan\alpha_{AP}(x_P-x_A)+y_A=\tan\alpha_{5P}(x_P-x_5)+y_5 \tag{2-7-7}$$

式中，$x_5$、$y_5$ 是 5 点的坐标，$\alpha_{5P}=\alpha_{5B}$（为导线边 $5B$ 的方位角）可反算求出。再计算贯通几何要素；

(1) $AP$ 的平距 $D_{AP}$：

$$D_{AP}=\frac{x_P-x_A}{\cos\alpha_{AP}}=\frac{y_P-y_A}{\sin\alpha_{AP}} \tag{2-7-8}$$

为了检核，还要计算 $BP$ 的平距 $D_{BP}$；

$$D_{BP}=\frac{x_P-x_B}{\cos\alpha_{BP}}=\frac{y_P-y_B}{\sin\alpha_{BP}} \tag{2-7-9}$$

$5P$ 的平距 $D_{5P}$：

$$D_{5P}=\frac{x_P-x_5}{\cos\alpha_{5P}}=\frac{y_P-y_5}{\sin\alpha_{5P}} \tag{2-7-10}$$

而 $D_{BP}+D_{5P}$ 应 $=D_{B5}$。检查无误后，可根据 $D_{BP}$ 和 $D_{5P}$ 在实地标设出下山开切点 $P$

的位置。并测出 $P$ 点的高程为 $H_P$。

(2)倾斜角 $\delta_{AP}$：

$$\tan\delta_{AP} = \frac{H_P - H_A}{D_{AP}} \tag{2-7-11}$$

(3)贯通中线的斜距 $S_{AP}$：

$$S_{AP} = \frac{H_P - H_A}{\sin\delta_{AP}} = \sqrt{(x_P - x_A)^2 + (y_P - y_A)^2 + (H_P - H_A)^2} \tag{2-7-12}$$

(4)指向角 $\beta_P$：

$$\beta_P = \alpha_{PA} - \alpha_{PB} \tag{2-7-13}$$

$$\beta_A = \alpha_{AP} - \alpha_{A1} \tag{2-7-14}$$

求得以上数据后，即可在 $P$ 点安置经纬仪，瞄准 $B$ 点为零方向，测设指向角 $\beta_P$ 就可给出斜巷中线的方向，再用 $\delta_{AP}$ 角给出坡度(注意 $\delta$ 的仰、俯角)。对于沿煤层掘进的斜巷，就只要根据中线沿煤层掘进即可，而不需要再测设腰线。

## 第四节　竖井的贯通

如图 2-7-4 中：一号井已掘进到 -110m 水平，且按设计 $O'_1C'D'$ 这段巷道已掘通。而二号井仅掘到 -60m 水平。现按设计要求，需挖掘一联络平巷到二号井底，然后再和二号井接通。

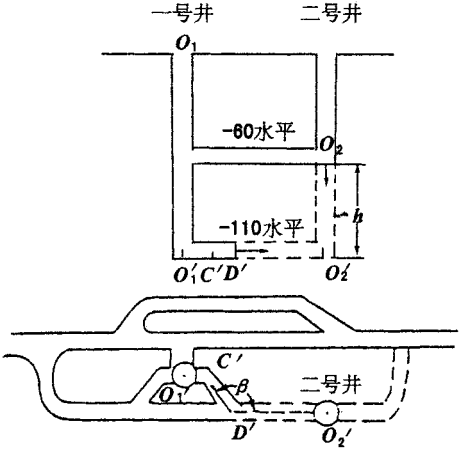



图 2-7-4

已知二号井中心 $O_2$ 的坐标为 $x_{O_2}$，$y_{O_2}$ 由于是竖井，亦即井底中心 $O'_2$ 的坐标 $x_{O'_2}$，$y_{O'_2}$ 为已知。现竖井贯通测量的目的就是要在井下把二号井中心 $O'_2$ 的位置在实地标设出来。

通过一号井的联系测量，可以求得 $C'$，$D'$ 点的坐标和高程以及 $C'D'$ 的方位角 $\alpha_{C'D'}$。

通过二号井导入标高，可以得到井底（－60m 水平上）的高程 $H_{O_2}$，求出贯通的几何要素：

(1)平巷中线的方位角 $\alpha_{D'O'_2}$；

$$\tan\alpha_{D'O'_2}=\frac{y_{O'_2}-y_{D'}}{x_{O'_2}-x_{D'}} \tag{2-7-15}$$

(2)平巷中线的指向角 $\beta$；

$$\beta=\alpha_{D'O'_2}-\alpha_{D'C'} \tag{2-7-16}$$

(3)贯通平巷的平距 $D_{D'O'_2}$；

$$D_{D'O'_2}=\frac{x_{O'_2}-x_{D'}}{\cos\alpha_{D'O'_2}}=\frac{y_{O'_2}-y_{D'}}{\sin\alpha_{D'O'_2}} \tag{2-7-17}$$

(4)二号井底（－110m 水平）中心点 $O'_2$ 的高程为 $H_{O'_2}$；

$$H_{O'_2}=H_{D'}+i\times D_{D'O'_2} \tag{2-7-18}$$

式中 $i$ 为联络平巷设计坡度，上坡为正、下坡为负（此处为上坡，取正号）

(5)贯通竖井井筒长度为 $h$；

$$h=H_{O_2}-H_{O'_2} \tag{2-7-19}$$

取得以上数据后，即在井下 $D'$ 点安置经纬仪，瞄准 $C'$ 点，测设 $\beta$ 角，就标定出联络平巷掘进的中线，再按照设计坡度 $i$ 给出腰线。

当平巷掘进到长度为 $D_{D'O'_2}$ 后，就把 $O'_2$ 点位在实地标设出来，并用标志固定在底板上，又将 $O'_2$ 点用挂垂球线的方法反投到顶板上，这样就可以由下向上掘进竖井，这种竖井就叫天井。开挖时可先采用小断面掘进，然后再扩大。这样可避免因偏差过大而造成工程质量事故。

## 第五节　贯通后实际偏差的测定及中、腰线的调整

巷道贯通后，对实际偏差的测定很重要，因为它可以检查贯通的质量，算出贯通测量的误差，以及作为如何调整中、腰线的依据。

### 一、贯通后实际偏差的测定

#### （一）平、斜巷贯通时水平面内偏差的测定

包括下面两项工作：

（1）用经纬仪把两端巷道的中线都延长到巷道接合面上，量出两中线间的距离 $d$〔见图 2－7－5(a)〕，其大小即为贯通巷道在垂直于巷道中线方向的实际偏差。

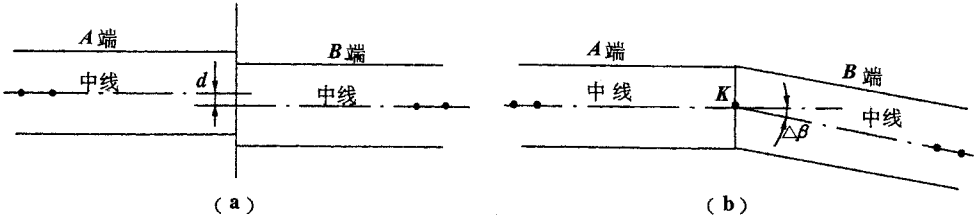



图 2－7－5

但实际上有另一种情况出现时，就不能完全反映偏差的真实情况〔如图 2－7－5(b)〕所示：K 点是贯通巷道 $A$、$B$ 两端的相遇点，尽管巷道两端在水平面内都发生了偏差，但两中线仍相交于 $K$ 点，此时就应将两中线方向的实际偏角 $\Delta\beta$ 测出来。

（2）将巷道两端的导线点，用经纬仪连测闭合起来，计算出闭合边方位角的差值和坐标闭合差，这些差值反映了 $K$ 点的偏差。也可丈量测点到相遇点 $K$ 的距离 $l$，根据 $l$ 和 $\Delta\beta$ 可算出 $K$ 点在水平面内的偏差。

#### （二）平、斜巷贯通时竖直面内偏差的测定

（1）用水准仪测出或直接用尺子量出贯通接合面上两端腰线点的高差，其大小就是贯通在垂面内的实际偏差。

（2）用水准测量或经纬仪三角高程测量连测两端巷道中的已知高程点（水准点或经纬仪导线点），其高程闭合差即为贯通接合点在垂直面的偏差。

(三)竖井贯通后,井中心实际偏差的测定

竖井贯通后,可进行定向测量,重新测定井下导线边的方位角和所挂悬垂点的坐标,然后再根据井下导线点的坐标闭合差 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 求出导线点位的偏差 $\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$,即为竖井中心的实际偏差。也可将井筒上、下两段的中心在相遇面上标出,即可直接量其偏差值,或测出相遇点上、下两段井筒的断面,也可求得两井筒中心之间的偏差值。

## 二、贯通后巷道中、腰线的调整

测定贯通巷道的实际偏差后,如在允许范围内,可以进行调整。

(一)中线的调整

对次要巷道,只需将最后几架支柱加以修正即可。对运输大巷等主要巷道,则可将巷道相遇点一端的中线点与另一端中线点的连线来代替原来的中线,作为铺轨和砌巷道的依据(见图 2-7-6)。

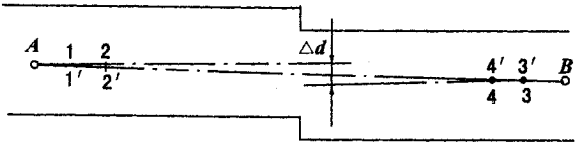



图 2-7-6

(二)腰线的调整

实测巷道两端腰线点的高差之后,可按实测高程和距离算出坡度。在运输平巷中,如计算出的坡度与原设计坡度相差 2‰ 以内,则按实际算出的坡度调整腰线。如果相差超过 2‰,则应延长调整坡度的距离,直到调整的坡度与设计坡度相差小于 2‰为止。在斜巷中,腰线的调整一般要求不十分严,可由掘进人员自行掌握调整。

# 第六节　地质勘探工程中的贯通测量

在地质勘探中经常要进行坑探以了解矿体的长、宽、厚度,岩石结构性质,倾角、走向等各种地质情况。在储量计算中,经常以坑探来圈定矿体范围,以确定其开采价值。

坑探可以沿矿脉或穿过矿脉开挖坑道,所以地质勘探工程中的贯通测量除了上述种

种贯通外，还有沿勘探线（即垂直矿体走向的方向）开岔、地下找孔（即坑道与钻孔贯通）以及开挖通风井等贯通测量。现分别叙述如下：

## 一、坑道与钻孔的贯通

为了验证钻孔内所见矿层层位，岩芯采样的位置，以便全面地了解矿体情况，所以要挖坑道与钻孔相贯通，同时还可以解决坑道通风，输送电缆等施工的需要。今以坑道与钻孔贯通为例，说明地下找钻孔的方法步骤：

即在坑道内向已经完工的钻孔方向掘进一条支巷与钻孔相通，要求支巷的长度是坑道与钻孔之间的最短距离。如图 2－7－7 所示：设：钻孔在已掘进坑道的前方，坑道内 $A$、$B$ 点，钻孔 $E$ 的坐标及高程均已知为：$A(x_A, y_A)$，$B(x_B, y_B)$，$E(x_E, y_E)$ 以及高程 $H_A$、$H_B$、$H_E$。

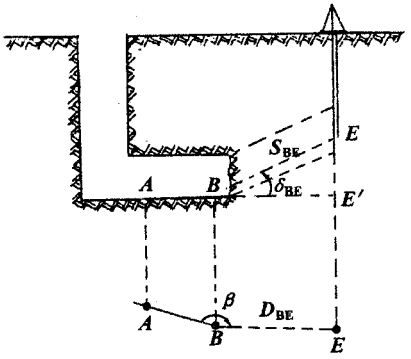



图 2－7－7

以 $B$ 为起点，该支巷的贯通几何要素为：

(1)支巷中线的方位角 $\alpha_{BE}$：

$$\tan\alpha_{BE} = \frac{y_E - y_B}{x_E - x_B}; \tag{2-7-20}$$

(2)支巷中线的指向角 $\beta$：

$$\beta = \alpha_{BE} - \alpha_{BA}; \tag{2-7-21}$$

(3)支巷的平距 $D_{BE}$：

$$D_{BE} = \frac{x_E - x_B}{\cos\alpha_{BE}} = \frac{y_E - y_B}{\sin\alpha_{BE}}; \tag{2-7-22}$$

(4)支巷底板的倾角 $\delta_{BE}$：

$$\delta_{BE} = i = \frac{H_E - H_B}{D_{BE}}; \tag{2-7-23}$$

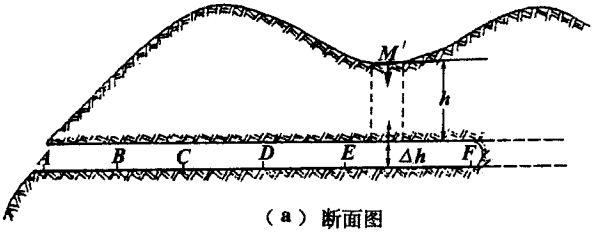
(5)贯通支巷中线的长度 $S_{BE}$(斜距)：

$$S_{BE} = \frac{D_{BE}}{\cos\delta_{BE}} = \frac{H_E - H_B}{\sin\delta_{BE}}。 \tag{2-7-24}$$

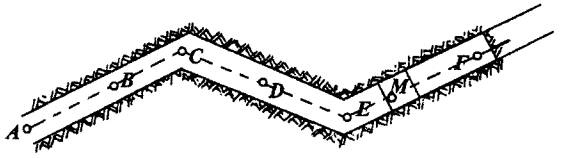
求得以上数据后，即可在 $B$ 点安置经纬仪，瞄准 $A$ 点为零方向，顺时针转，给出 β 角，即为掘进中线方向。再在竖盘上设置出倾角 $\delta_{BE}$，则该倾斜视线方向即为支巷底板的坡度，当 $H_E$ 大于 $H_B$ 时，则 $\delta_{BE}$ 为正，反之则为负。

## 二、开掘竖直通风井

当坑道掘进较长，通风条件不好时，就需在已掘的坑道内开凿垂直通风井，以便排除坑道内的爆破烟尘，改善井下通风条件。图 2-7-8(a)、(b)为某坑道断面图和平面图，图中 $A-B-C-D-E-F$ 为已掘坑道内的导线点，其坐标及高程均为已知。现需在 $EF$ 段内离地面高差最小的 $M$ 点开凿通风井(这样可减少挖石方量)。可采用图上比较法和实测剖面法：




(a) 断面图




(b) 平面图

图 2-7-8

### (一) 图上比较法

将导线点 $E$、$F$ 的坐标展绘在矿区大比例尺地形图上，根据 $EF$ 段地形情况，选出 $EF$ 线上高程最低的一点 $M'$，作为通风井中心位置。再将图上的 $M'$ 点测设到实地。同时根据图上量出的平距 $D_{EM}$、$D_{FM}$，在井下 $EF$ 方向上定出 $M$ 点的位置，便可开始上下贯通。

(二)实测剖面法

根据 $E$、$F$ 点的坐标及相应地面附近的控制点,将 $E$、$F$ 点测设到实地,然后在 $E$、$F$ 点伺实测一剖面,取剖面线上最低点 $M'$ 为通风井中心位置。按 $E$ 点坐标($x_E$,$y_E$)及 $EM$ 距离和方位角 $\alpha_{EF}$ 算出 $M$ 点的坐标($x_M$,$y_M$):

$$x_M = x_E + D_{EM} \cdot \cos\alpha_{EF} = x_E + \Delta x_{EM} \tag{2-7-25}$$

$$y_M = y_E + D_{EM} \cdot \sin\alpha_{EF} = y_E + \Delta y_{EM} \tag{2-7-26}$$

再在地面 $EF$ 线上,自 $E$ 点量出 $D_{EM}$ 长,即可定出通风井中心点 $M'$,然后用挂垂球法指示掘进方向。如欲采用由井下坑道向上(即天井)开掘时,可在坑道内 $EF$ 线上,自 $E$ 点量出 $D_{EM}$ 长,在底板上定出 $M$ 点,再反投到顶板上,即为开掘中心点。同时测出 $M$ 点的高程 $H_{M'}$,用下式计算出通风井的深度 $h$:

$$h = H_{M'} - H_M - \Delta h \tag{2-7-27}$$

式中　$H_{M'}$——地面 $M'$ 点的高程;

$H_M$——井下 $M$ 点在底板上的高程;

$\Delta h$——坑道断面高度。

获得以上数据后,即可在地面、井下进行相向贯通,开掘竖井时亦同此法。但在施工时,尤其在上、下两个工作面快要贯通时,应特别注意安全。

# 第八章　露天矿山测量图

露天矿和井下矿一样，也需要有一整套矿山测量图，以便能反映出矿区地形与测量控制网、矿体理藏、各级储量品位、以及采剥工作等情况，用以解决露天开采中一系列的工程技术问题。

露天矿必须具备的矿山测量图有以下几种：

## 第一节　露天矿基本矿山测量图

属于基本矿山测量图的有下列两种：

### 一、采区地形图

在露天矿主要是用它来解决排土场和运输线路的规划，排水管道的设计，修建房屋，布置勘探钻孔位置，以及编制剥离等厚线图等问题。其比例尺为 1/2000 或 1/5000。

### 二、采剥工程平面图

它是沿每一个台阶，根据测量数据和地质资料直接绘制而成的。这种图是随着采矿工程的进展而逐月填绘的，所以有多少个台阶就应绘制多少张图，以便能及时反映出该台阶的采剥工程情况。图的比例尺一般为 1/500、1/1000，或 1/2000。其图纸的大小有两种：一种是绘成标准图幅的大小；另一种是为了在生产实践中使用方便而绘成长条形

的图,图纸的长边方向与矿体走向相平行,图纸的大小则依据露天矿的大小而定。两种图纸相比较 前者易保存,但使用不便 ;后者使用方便,但易破损。故有些矿山两者都具备。

在每个台阶的采剥工程平面图上应绘制的内容为 :图根点和剖面线的位置,每月台阶工作面的采剥位置,勘探巷道、探槽和钻孔的位置,矿体可采界限,露天矿技术边界,地质破坏,保护矿柱,永久性建筑物、铁路、水池等。

台阶采剥工程平面图主要是用来计算采矿量和剥离量,并且是绘制其它专用图的依据。

## 第二节　露天矿专用矿山测量图

专用矿山测量图大部分是根据基本矿山测量图复制而成。露天矿为了各种专门用途而编制各种专用矿山测量图,一般有下列几种:

(1)采剥工程综合平面图,比例尺为 1/1000 或 1/2000;

(2)采剥工程垂直剖面图,水平比例尺为 1/1000 或 1/2000,垂直比例尺为 1/100 或 1/200;

(3)排土场平面图,比例尺为 1/1000 或 1/2000:

(4)排水巷道平面图,比例尺为 1/1000 或 1/2000;

(5)露天矿工业广场平面图,比例尺为 1/500 或 1/1000;

(6)主要铁路线路平面图和纵断面图。平面图比例尺为 1/1000 或 1/2000,纵断面图的水平比例尺为 1/1000 或 1/2000,垂直比例尺为 1/100 或 1/200;

(7)计算矿柱的平面图和剖面图,比例尺为 1/1000 或 1/2000;

(8)计算储量和损失量用的平面图和剖面图,比例尺为 1/1000 或 1/2000;

(9)排水井筒垂直剖面图,比例尺为 1/200 或 1/500;

此外还有地质地形图、地质断面图、矿体埋藏形状的等值线图,以及金属品位图等一系列地质图件。

下面重点介绍几种主要的专用矿山测量图。

### 一、采剥工程综合平面图

该图是将全矿某一时期所有采剥台阶工作面的位置及运输线路等综合绘在一张图

纸上，如图 2－8－1 所示。并且需要随采剥工程进展和进行验收测量而及时修改、填绘，每月或每季描晒一次。因此，这种图能及时、全面地反映出全部采剥情况、运输线路位置、爆破情况以及地质因素等。可供露天矿制订计划、工程设计生产管理之用。该图上应绘的内容是：

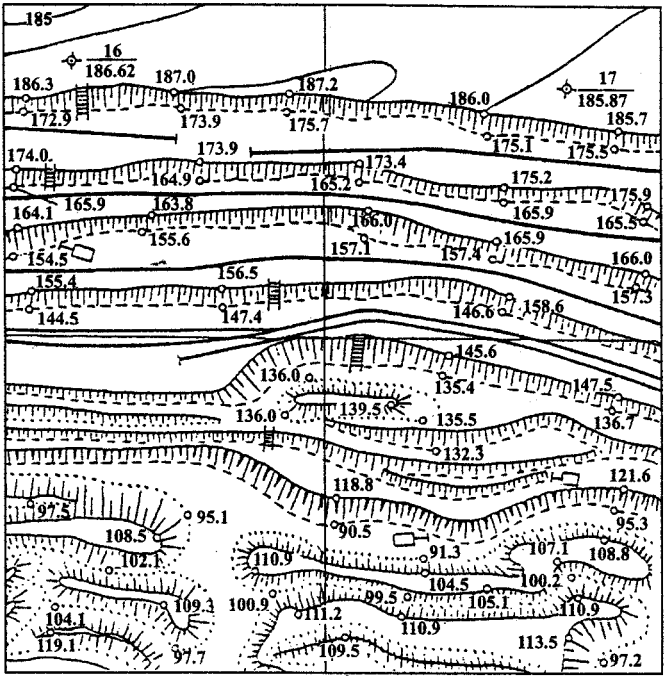



图 2－8－1

(1)各阶段采剥的坡顶线、坡底线，并注明实测点的高程；

(2)采掘机械位置及编号，注明验收日期；

(3)运输线路、建筑物、贮水池等；

(4)控制点位置、编号及高程；

(5)露天矿周围的地物及地貌；

(6)地表开采境界线及主要地质构造线；

(7)火区、水淹区的位置及其状况。

## 二、采剥工程垂直剖面图

该图是沿着垂直于矿体走向(即与勘探线重合)，根据台阶采剥工程平面图转绘而成的。其剖面间距通常为 50～100m，如用垂直剖画法计算采剥量，则剖面间距要缩小至 10

~25m。这种图可用来检查生产情况和平台规格、计算采剥量、损失量及储量管理等。每月应着色一次。在图上应绘的内容是 如图 2－8－2 所示。

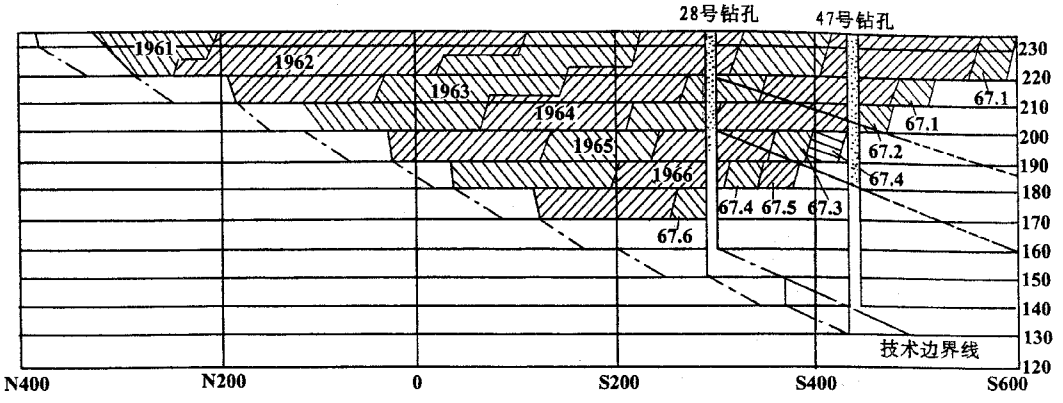



图 2－8－2

(1)地表线及每月末的采剥边界,并注明月份和采掘机械及编号；

(2)采矿层的顶、底板线,表土层及地质破坏等；

(3)各种勘探井、巷、钻孔等；

(4)保护矿柱及露天矿的最终境界,

## 三、排土场平面图

该图是根据测量数据直接绘制的,它应随碎部测量而及时修改,排土场测量是每季度、半年或一年进行一次。为了计算排土场内的排土量,还需要作一定数量的剖面图,这种图能及时全面地反映排土场全部排弃情况,是制订排土计划的根本图件,以免由于排土能力不够而影响生产正常进行。在图上应绘的内容是 如图 2－8－3 所示：

(1)基本控制点及工作控制点的位置；

(2)排土台阶的坡顶线、坡度线的位置及实测点的高程；

(3)排土场境内的地形；

(4)永久性建筑物及运输线路位置；

(5)排土场设计边界线等。

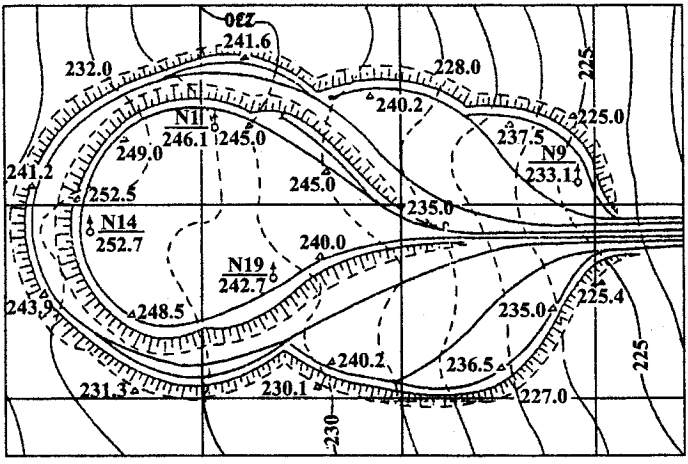

230
241.6
232.0
228.0
240.2
225
225.0
237.5
N11
246.1
245.0
249.0
N9
233.1
241.2
252.5
245.0
235.0
N14
252.7
240.0
N19
242.7
243.9
248.5
235.0
225.4
240.2
236.5
225
231.3
230.1
227.0
230

图 2－8－3

# 第九章　矿山地质制图技术

矿井地质工作是采矿工程的眼睛。地质图则是地质工作的主要工具。运用地质图这一有效的工具可把分散的、点滴的地质资料通过分析、推断，最后把矿层的整个空间形态科学地描绘出来，为设计生产使用。地质图上，有大量的实线和虚线。那些虚线是根据当时所能掌握的资料，通过分析、综合、推理、判断画出来的，具有一定的合理性。可是对于地质构造的推断总是有个“实践、认识、再实践、再认识”的过程。因而矿井地质图纸必须不断修改、及时补充资料，以满足在不同阶段提供开、掘、采工程以相应的不同精确程度的推测资料。

## 第一节　关于地层、地质构造的一般概念

### 一、地层和地层的层序

组成地球外壳的岩石，根据它们的不同成因大体上可以分成三大类，即岩浆岩，沉积岩、变质岩。岩浆岩是由地壳深处的岩浆喷出地表或侵入地壳浅部逐渐冷却、凝固而成的；沉积岩是由早期生成的岩石经过风化、剥蚀等机械、化学的破坏作用所形成的各种不同的碎屑溶质等、主要地通过水的搬运、分选作用，逐渐淤积、沉淀在海洋、湖泊等水盆地中，然后固结而形成的；变质岩是由于地壳运动，使已经形成的岩石处于高温高压的条件下，岩石原有的成分和特征发生改变，形成具有新特征的岩石。

煤和含煤地层都属于沉积岩类。在它们之间存在着一个沉积的先后层序问题。例如对于煤层正常的层序由下而上应该是：煤的底板、煤层、煤的顶板以及顶板以上的各层岩石。以开滦为例，由十二煤层到五煤层的正常层序由下而上应该是：十二煤层的底板，十二煤层，十二煤层顶板……十一煤层底板、十一煤层，十一煤层顶板……九煤层……八煤层……七煤层……六煤层……五煤层……等等。这就叫地层的正常层序。其总的规律是先生成的在下，后生成的在上，老的在下，新的在上，如图 2－9－1。

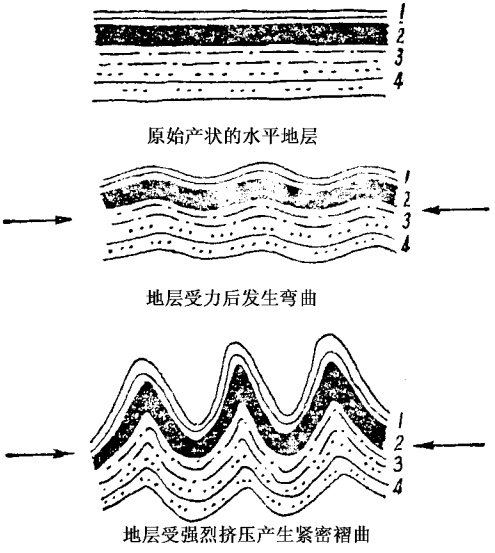



图 2－9－1

因为煤层或岩层都是在一定气候条件下物理的、化学的、生物的综合作用的产物，而地壳运动和古气候条件的变化是有规律的，因此，任何一个矿层，任何一组地层的沉积在空间和时间上，也都是有规律的。主要地概括两个方面：其一、地层的层序在一定范围内总是有规律地出现的。例如在井下见到十二煤层底板，往上我们就可以见到九煤层和七煤层……。但如由十二煤层底板往下找九煤层就找不到。如果新地层在下，老地层在上，如图 2－9－2a 所示，就叫作地层倒转，如果地层层序中间有地层缺失就说明有地质构造。其二，主要地表现在地层间距的变化，通常是有规律的。例如由某一煤层到另一个煤层或标志层的法线间距，在一定范围内变化是较小的。了解上述正常层序的概念对地质工作是很有用的。

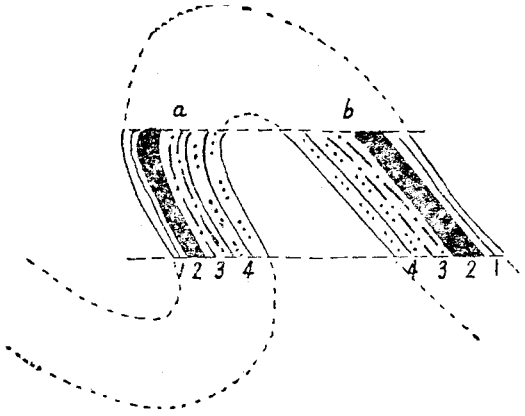



图 2－9－2　地层受强烈挤压产生倒转褶曲

## 二、煤层、岩层的产状要素

岩、煤层的产状要素，主要包括岩、煤层的走向、倾向和倾角（如图 2－9－3）。

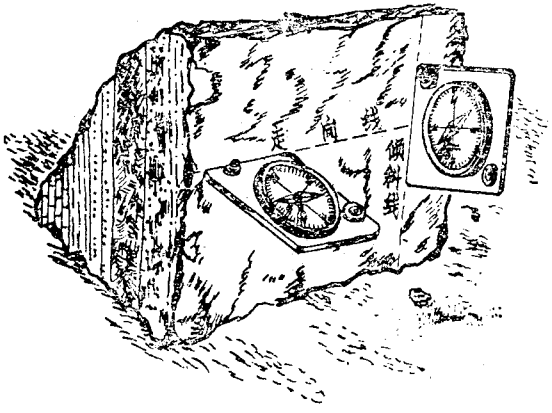



图 2－9－3　岩、煤层的产状要素

走向，就是岩、煤层的层面与水平面交线的方向；

倾角，就是岩、煤层的层面与水平面的夹角。其中与走向呈直角方向的夹角最大，叫做真倾角。这个倾斜方向叫做倾向。其它方向的夹角都小于真倾角，叫作伪倾角。走向与倾向均用方位角或方向角表示。

## 三、褶皱

岩层、煤层在原来生成（沉积）时呈水平产状，或近似于水平产状。后来由于地壳运

动的影响，使地层发生了弯曲。这种现象在地质学上叫做褶皱。其中凡地层向上鼓起并且大体上呈条带状的叫背斜（见图 2－9－4）；与此相反，向下弯曲（或凹陷）的叫作向斜（图 2－9－5）；岩层向上隆起，形状近似圆形的叫穹窿（图 2－9－6）；与此相反向下凹陷的叫盆地（如图 2－9－7）。

任何一个褶曲构造，不论其形式有几种变化，但它们都有以下几个基本的形态要素和组成部分：

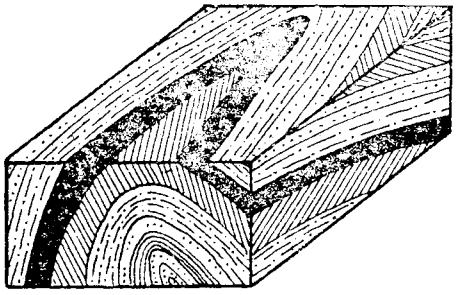


图 2－9－4　背斜

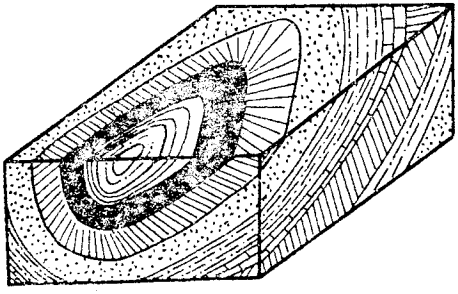


图 2－9－5　向斜

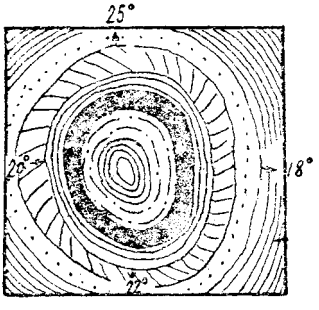



图 2－9－6　穹窿

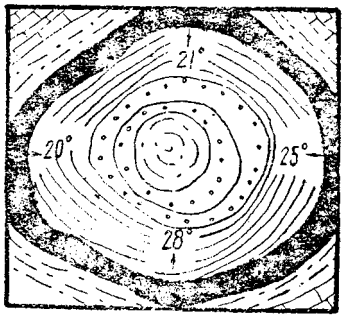



图 2－9－7　盆地

**(一)简单褶曲的组成部分**

**背斜**　有鞍部(图 2－9－8 之 FEG),鞍顶(图 2－9－8 之 E),及两翼(图 2－9－8 之 FH、GI)。

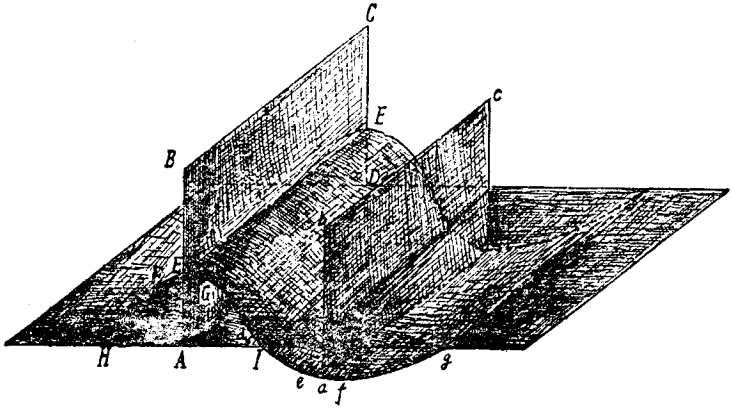



图 2－9－8　轴面直立两翼对称的褶曲

**向斜**　有槽部(图 2－9－8 之 caf),槽底(图 2－9－8 之 a)及两翼(图 2－9－8 之 IC、gf)

**(二)简单褶曲的基本形态要素**

1. **向背斜轴**

褶曲沿某一个煤、岩层层面弯曲的转折线叫作褶曲轴,或称向、背斜轴(图 2－9－8 之 AD、ad)其方向叫作轴的走向方向(图 2－9－8 之 BC、bc)。

当褶曲轴倾伏时叫作倾伏褶曲。应测定轴的倾伏角和倾向。(如图 2－9－9 甲背斜轴由 C 点向 B 点倾斜)。

2. **向、背斜的轴面**

通过向、背斜轴把一个褶曲对称地切成两半的那个假想面叫作“轴面”(图 2－9－8 之 ABCD 和 abcd),当轴面非垂直地面而呈倾斜状时,应测定轴面的倾向及倾角(如图 2－9－10)。

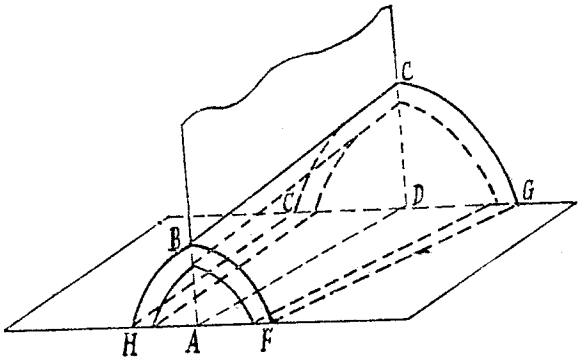



图 2－9－9 甲　轴面垂直,两翼对称,轴向稍有倾伏的背斜立体示意图

AECD—褶曲的轴面;

AD—褶曲轴;

BC—背斜的脊线;

AFGCB—褶曲的翼;

FG—褶曲翼中岩层走向线

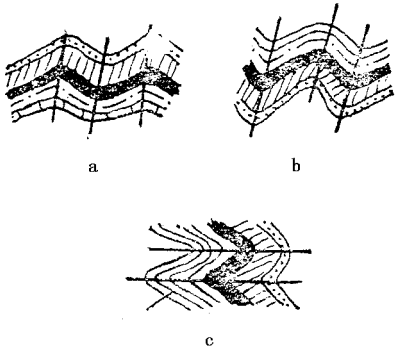



图 2－9－9 乙　各种褶曲形态的示意剖面

a—轴面直立;

b—轴面倾斜;

c—轴面平卧

3.向、背斜两翼岩层的倾向和倾角(如图 2－9－8 之 gⅠ、ⅠH 和角 α)

当两翼的倾向相反倾角大体相似时，叫作对称褶曲（如图 2－9－8）；倾向相反，倾角相差悬殊时叫作不对称褶曲（如图 2－9－9 丙）；倾向相同时叫作倒转褶曲（图 2－9－10）。

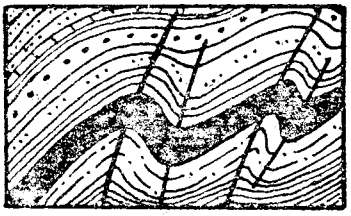


图 2－9－9 丙　不对称褶曲的示意剖面

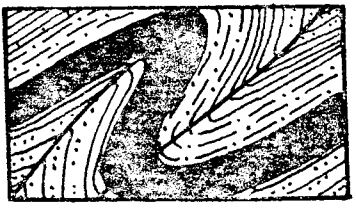


图 2－9－9 丁　倒转褶曲的示意剖面

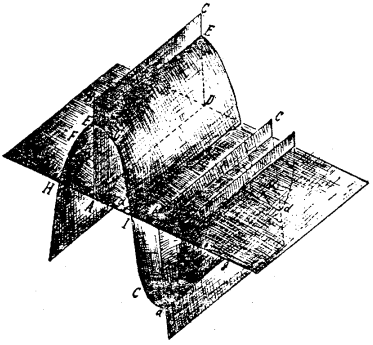


图 2－9－10　轴面倾斜两翼对称的倒转褶曲立体示意图

盆地　是褶曲的特殊形式。这里的煤岩层走向呈近似圆形或亚圆形的方向变化，周边的煤岩层向盆地中心倾斜，呈中间凹陷，四周边缘翘起的盆状（如图 2－9－11）。

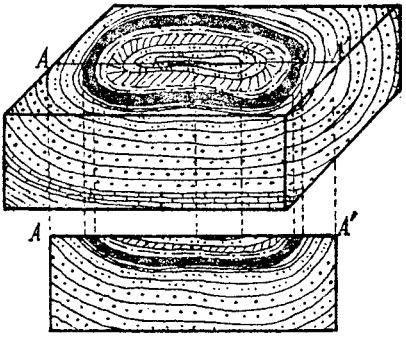



图 2－9－11　盆地的示意剖面图

## 四、断层

煤层、岩层(以下简称岩体)在地壳变动过程中由于受力的作用而产生断裂。断裂的岩层就会沿着断裂面产生相对的位移，这就叫作断层。

(一)断层的组成部分

有断层面(图 2－9－12 之 CDEF)和位于断层面两侧的岩体，通常叫作两翼。其中位于断层面上边的一翼叫上盘，位于断层面下边的一翼叫下盘。

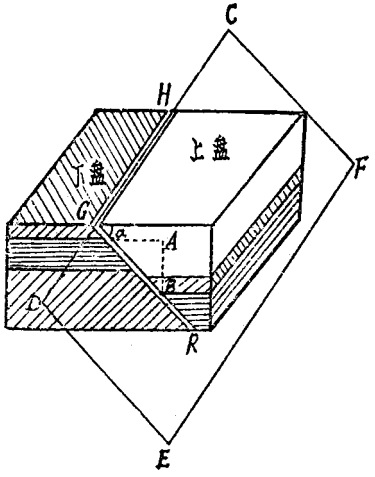



图 2－9－12　断层示意图

α—断层倾角；

C、D、E、F—断层面；

GH—断层走向线

(二)断层的产状要素有

断层面的走向 GH,倾向 GR,倾角 α 和落差 AB(所谓落差就是两翼岩层沿断层面的标高差)如图 2－9－12。

(三)断层与采矿的关系

(1)断层把煤层断开,因此当煤巷掘进遇到断层后,就需要寻找断失的煤层。

(2)在大的断层带附近往往使正常的煤层变薄到不可采,或者造成岩层破碎,煤层顶板不易维护,有时地下水沿着断层面或破碎带突出。因此有些较大的断层常常成为采面、采区甚至矿井的天然边界。

(3)断层常常造成煤层的局部缺失或重复。因此有时能够增加储量,有时则减少储量,有时缩短井巷(或石门)的长度,但也有时增加长度。

以上情况说明,断层对采矿工作的关系是很密切的。它既有不利的甚至危害矿井安全的一面,也有可以为采矿工程利用的一面。因此,我们必须掌握它的变化规律,以便克服和防止它对生产的有害影响,并尽可能利用它的具体变化,为采矿工程服务。地质工作和地质图的重要任务之一,就是要把断层的具体形态搞清,从而达到指导生产的目的。

## 第二节　地质剖面图的编绘

### 一、基本概念

地质剖面图是沿既定的剖面线位置,根据剖面线上勘探钻孔的资料,把本剖面图上各个煤层、岩层、标志层和含水层等的整个构造形态(包括褶曲、断层)和相互关系具体地反映出来。它与煤层底板等高线图,水平地质图等共同组成为矿井三大地质图纸。把它们结合起来,就可以对矿体建立起立体概念,对分析、研究和搞清矿井地质构造,正确指导生产建设有很重要的作用。

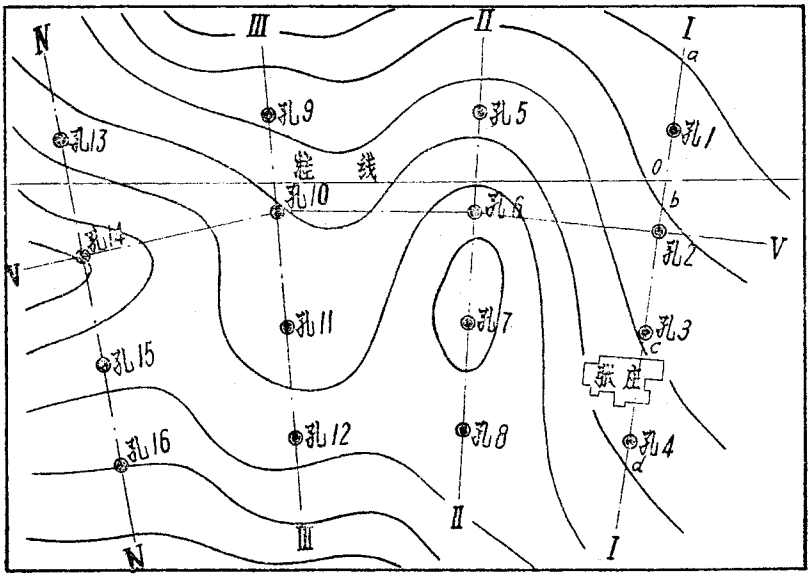
### 二、绘制的基本方法

(一)根据勘探钻孔的资料绘制

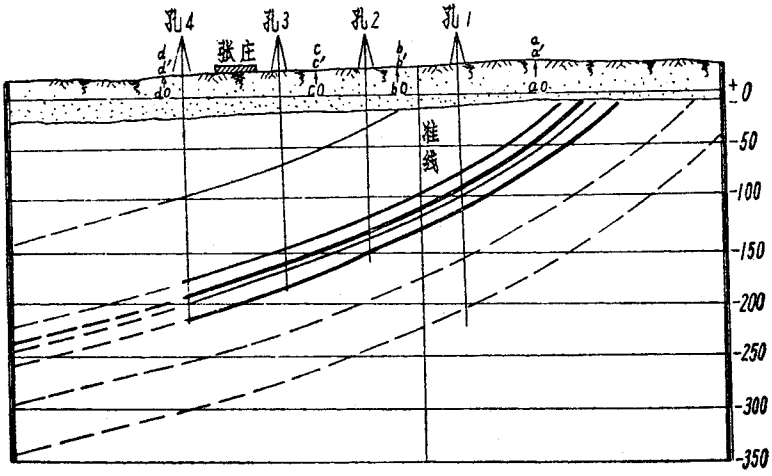
1. 确定剖面线和准线的位置

根据地形图上各勘探钻孔的实测孔位把大体上垂直于煤层走向的各钻孔用直线连

接起来成为横向剖面线(如图 2－9－13 甲之Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ)把大体上平行于煤层走向的各钻孔用直线连接起来成为纵向勘探剖面线(如图 2－9－13 甲之Ⅴ)。与此同时,再在地形地质图上画一条大致与各剖面线垂直的准线(或以某经纬线为准)。上述剖面线与准线的位置一经确定后,就不应再作任意的更动。




甲　地形及钻探孔孔位示意图




乙　剖面示意图

图 2－9－13

2. 投点连线

在空白纸上按规定的缩尺画出各条高程线(±0、－50、－100、－150……等)和一条

垂直于各高程的准线。(参阅图 2－9－13 乙)并以地形图上本剖面线与准线的交点 O 为原点,去测定由 O 点沿剖面线(Ⅰ)切割地形等高线上的各点(图 2－9－13 甲之 a、b、c、d)之间的距离(oa、ob、oc……等)(以下简称与准点 O 的投影间距)。然后再以剖面图上的准线对准 O 点,沿 ±0 高程线按各点与 O 的上述投影间距离投点得 ao、bo、co、do 等各点。根据各点的标高从 ±0 高程线找到各自的标高位置,得剖面图(图 2－9－13 乙)上的 a′、b′、c′、d′等各点。把这些点顺次圆滑连接,得到剖面图上的地形迹线。再以同样的办法把剖面(Ⅰ)上面的孔$_1$、孔$_2$、孔$_3$、孔$_4$ 投到剖面图上并根据每个钻孔的实测情况画各钻孔的迹线,按每个钻孔的岩性柱状图,由孔口往下填绘各标志层、煤层、断层的位置。最后把相邻钻孔同一个煤层、岩层顺次圆滑地联贯起来即得剖面图的初形(如图 2－9－13 乙)。如果情况正常,中间无构造变化,则各煤、岩层在剖面上相互大致平行,线条比较圆滑,否则就可能有构造变化。这时就需要利用煤层图、剖面图、水平切面图反复推敲,必要时应补打钻孔查明构造。

3.应注意的问题

如果钻孔打歪了,其所得的钻孔资料(见各煤层、标志层和断层的空间位置 X、Y、Z)必须经过换算后才能填图(见附件一,钻孔测斜资料的整理及其在剖面上的投影)。如果孔位不在剖面线上则钻孔的位置应按煤层的走向方向投到剖面图上(用虚线表示)。否则就会歪曲地质构造的真实形态。

(二)根据水平地质图绘制,其简要方法如下

(1)首先在地形地质图及各水平(巷道)地质图上按需要画出剖面线和准线,并严格地保证其方向和位置在各张图上的重合。

(2)在空白图纸上按规定缩尺画与各水平地质图相同标高的各条高程线及与之呈垂直的准线。并以水平地质图上剖面线与准线的交点 O 为原点,把每一张水平地质图上剖面线切割各煤层、标志层、断层等的位置(见图 2－9－14 甲及丙)按以 O 点为准的投影间距,分别投到剖面图中与之相同标高的高程线上去,得 a′、b′、c′、d′、e′、f′、g′等各点,把相邻等高线上同一个煤层、岩层的点按照附近实测倾角的趋势上、下延展、连接并适当向深部延深,即得此剖面之初形,如图 2－9－14 乙。如果深部有勘探资料应结合钻孔资料向深部延展。

(3)如果按上述方法在连接时发生异常(如上、下水平的层位、层间距不符,倾斜方向相反,或延深方向与实际控制点不符等),则说明有构造变化,应运用‘三大图纸’反复推敲解决。

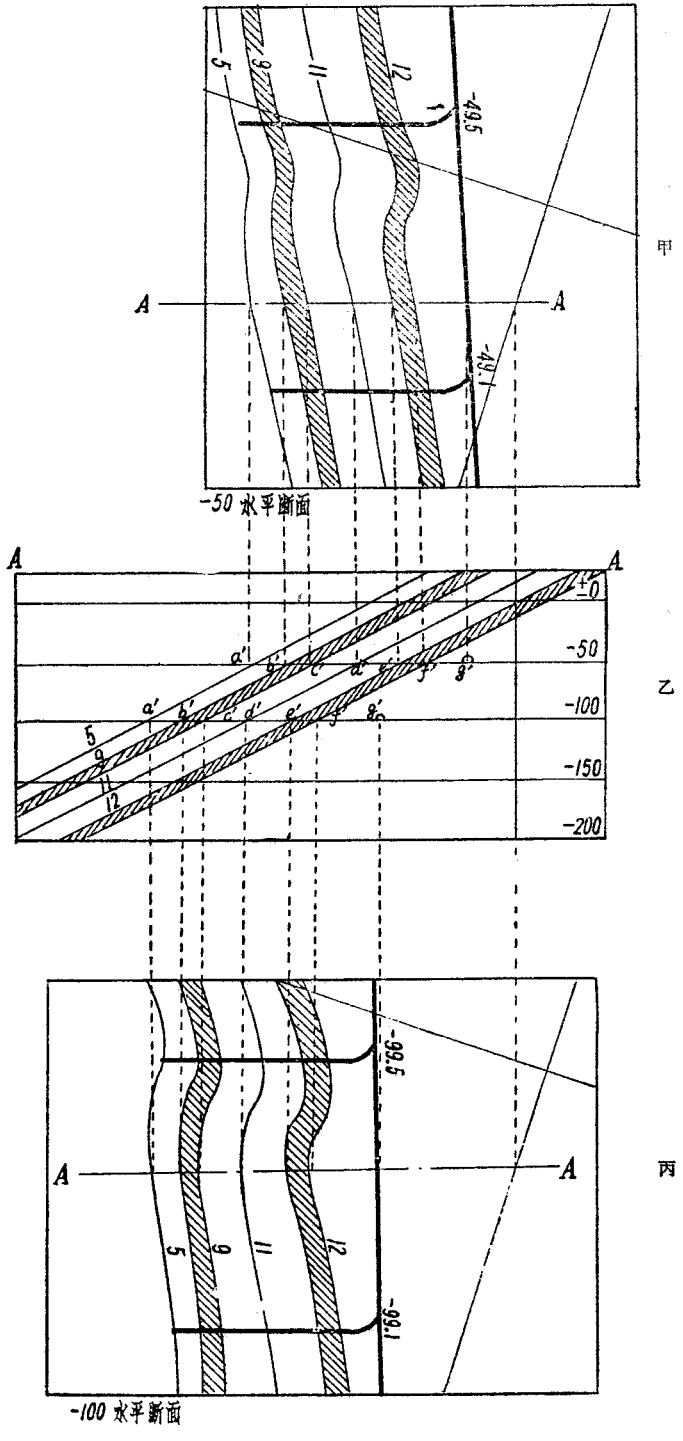

甲
A
A
-495
-491
-50 水平断面
乙
A
A
+0
-50
-100
-150
-200
a'
b'
c'
d'
e'
f'
g'
5
6
11
12
丙
A
A
-99.5
-99.1
-100 水平断面

图 2－9－14

(三)根据煤层底板等高线图绘制

其简要方法如下(以一个煤层为例说明)

(1)首先在煤层底板等高线图上按统一规定划好剖面线和准线。

(2)在空白图纸上用规定的缩尺按该煤层底板等高线图上(或各条煤巷的标高),画各条高程线和与之垂直的准线。然后把煤层底板等高线图上被剖面线切割各条等高线的各个点 a、b、c、d、e 等,按照它们与原点(剖面线与准线的交点)的投影距离分别投到各条相同的高程线上,得 a′、b′、c′、d′、e′等各点,然后顺次相连,即得此煤层的剖面图(图 2－9－15)。

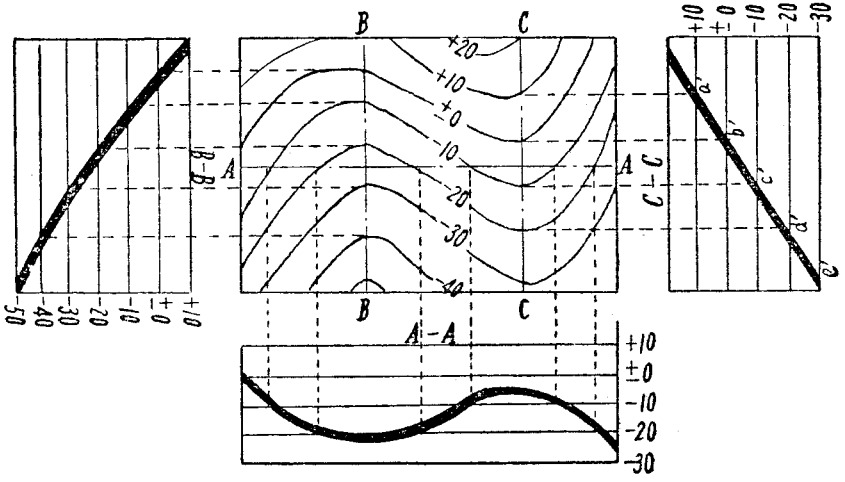



图 2－9－15

(3)如果煤层底板等高线图上有断层,则必须首先把剖面线切割断层上、下盘的断失点($F_{上}$、$F_{下}$)的标高及其与原点的相对位置量测好,按前述相同的方法投到剖面上去得 $F'_{上}$、$F'_{下}$点。首先连接这两个点,得剖面图上的断层线。然后再作各煤层的连线。但各煤、岩层的连线切不可通过上述断层线(见图 2－9－27)。

## 三、图纸的内容与要求

(一)主要内容有

(1) 地形地物被剖开的迹线和高程线;

(2) 井上、下钻孔的孔号、孔口标高、钻孔被剖开的迹线,每个钻孔见基岩深度,标志层、煤层的高程及各层的真厚度、断层的实测位置等;

(3) 井巷或井巷中实见煤层、岩层、断层被剖开的迹线(要同时注明实见煤厚)。

(二)填绘要求

(1)必须按规定图例绘制；

(2)实见的部分上墨,推测部分用铅线。其中被剖面线切割到的用实线,剖面线切割不到而投影的用虚线。

## 第三节　水平地质图的编绘

### 一、基本概念

水平地质图是一张沿着某一巷道平面切割开来的地质图。它把整个巷道平面上各种巷道所碰到的或将要碰到的煤层、岩层、标志层、含水层等的分布和走向变化情况比较明确地表示出来,特别是把由于断层切割造成煤层、岩层复杂的接触关系较清楚地表示出来,因此,它对分析各个构造断裂之间的相互关系和分布规律很有用处,对正确指导各巷道的整体开发设计更是必不可少的。

本图上任何一个点的空间位置,在水平方向(X、Y)受本图的纬经方格线控制,在铅垂方向(Z)严格地受本水平图所代表的高程控制。

本图并不是一个严格的水平地质图,而是与以集中运输巷为代表的整个巷道平面相吻合,具有一定的坡度。

### 二、绘制的基本方法

(一)根据各种地质剖面图绘制

其简要方法如下(见图 2－9－16)

(1)绘好经纬方格网,逐格标注座标数据,填绘各条剖面线和准线。

(2)在地质剖面图上根据所要绘制的水平地质图的标高(图 2－9－16 中为－150 米)画出这条高程线来,把此高程线上所切过的各煤层、标志层、断层等的位置(a、b、c、d 及 f)即与准线点 O 的投影间距(oa、ob、oc、od、of)分别对应地投到水平地质图上的该剖面线上,得 a′、b′、c′、d′、e′、f′等各点。剖面线附近的预计标高是以集中运输巷设计坡度算出的。各剖面上的高程线与各煤层、岩层、断层等的交点用上述同样的办法投影到水平地质图中的剖面线上。在此基础上联结相邻剖面线上的同一层位的各点,依次用圆滑曲线连接,即得该水平地质图的初形(如图 2－9－16)。

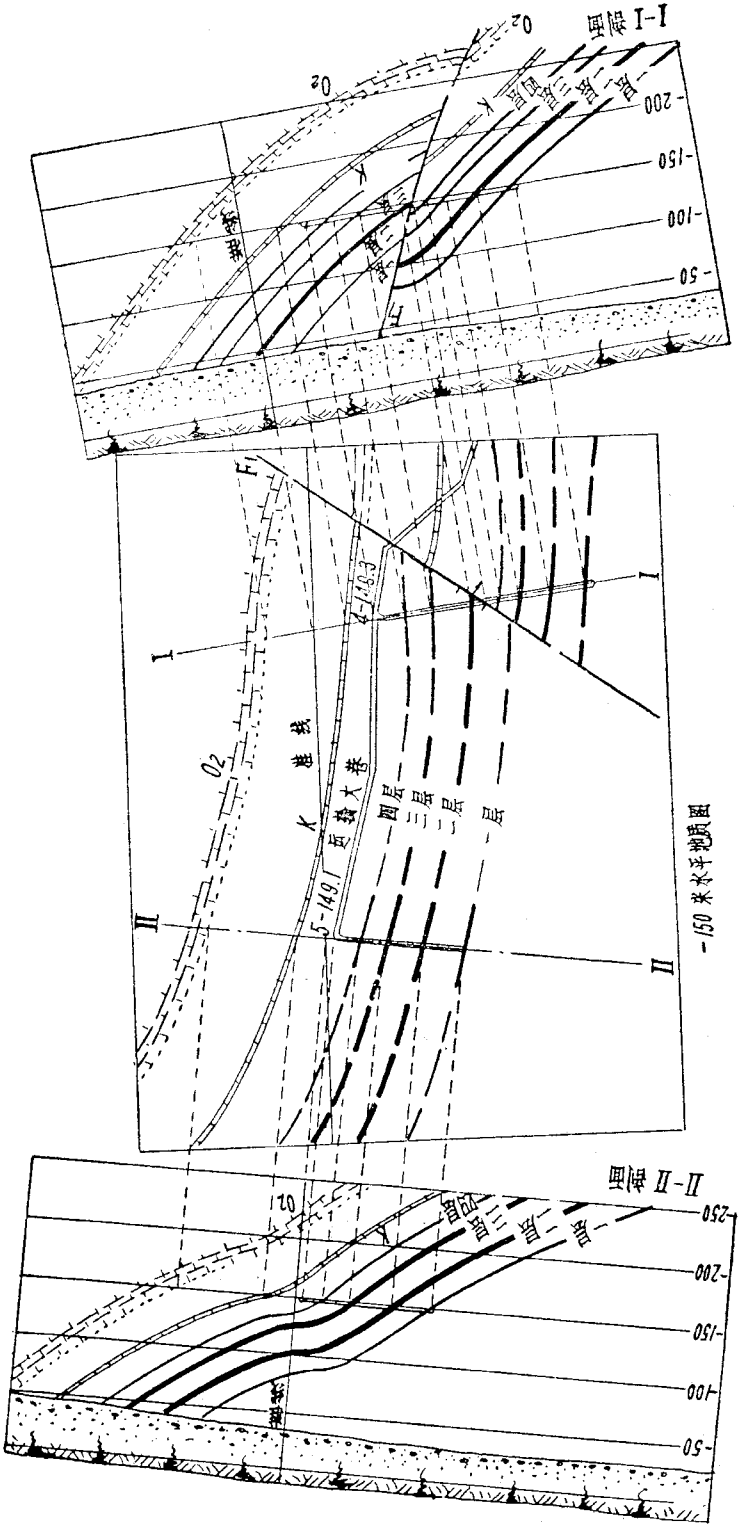



图 2-9-16　根据地质剖面图绘制水平地质图

(3)剖面图中有断层,则首先应分析各条断层的性质,并根据附近实见断层的走向和本区域地质构造的规律,判断是否属于同一断层。若为同一断层,可首先把相邻两条剖面线上的断失点连接起来,如果不是同一断层,则应各自推测断层线及其延展的距离。但无论何种情况,断层两侧的煤层和岩层均应被断开。其错动距离和错动方向应根据具体情况而定(见图 2 – 9 – 16)。

(二)根据本水平井巷资料绘制

其简要方法如下

(1)根据本水平各条巷道实见各煤层、标志层和断层等的位置、走向、倾向、倾角以及煤厚等,以圆滑曲线连接同一煤层或岩层的实见点,即得该水平地质图的初形。

(2)对巷道见不到的各岩、煤层或标志层,可以结合勘探剖面图填绘。

(3)对实见断层应按实测走向填绘,并向两侧适当延展。如果几个实见断失点经分析后认为属同一断层,则应予以连接。其错动方向和错动距离应按实见材料处理(见图 2 – 9 – 17)。

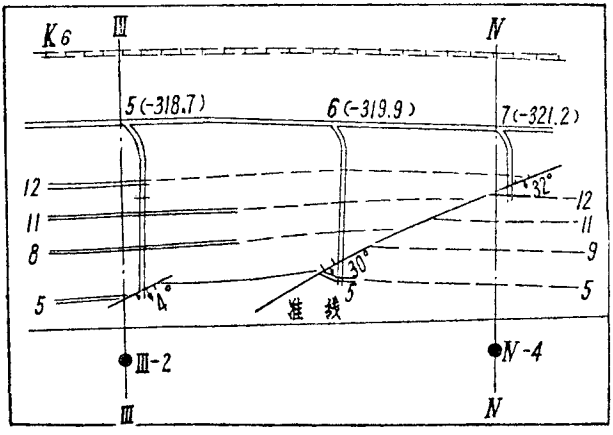



图 2 – 9 – 17　根据巷道资料绘制水平地质图

(三)根据各煤层实测图的资料绘制

其简要方法如下(以绘制 – 150 米水平地质图为例)

把水平地质图与煤层底板等高线图的经纬方格重合起来,将每个煤层 – 150 米标高的实测煤巷及有关煤厚、倾角,标高等数据和断层资料等抄到水平地质图上。抄完一个煤层再抄另一个煤层,直至抄完全部煤层图。然后进行分析整理,把属于同一条断层的各断失点连接起来,注明产状要素。同时再利用地质勘探剖面图,按前面已经介绍的方法,把各标志层填绘上去,即成为 – 150 米水平地质图的初形。

### 三、图纸的内容与要求

(1)用实线填绘所有本水平的各井、巷(包括集中运输巷、石门、井底车场、峒室等)及其所揭露的各煤层、标志层(包括走向、倾角、倾向)等实测点的资料。用铅线画出上述各煤层在本水平未见部分(推测);

(2)在本水平的各条主要断层迹线和向、背斜轴的迹线(包括实见和推测);

(3)穿过本水平的各钻眼、井眼的实测位置,注明其编号名称、起止深度、终孔层位,尤其对封孔质量不好的应特别表示清楚;

(4)在本水平打的水平钻孔及其所揭露的地质资料;

(5)在绘制过程中,"三大图"必须相互检验,反复统一修改,在日常工作中也必须按规定作好定期的修改补充。

## 第四节　煤层底板等高线图的编绘

### 一、基本概念

煤层底板等高线图,又称煤层构造图,就是以煤层底板等高线的形式绘成具有一定比例的水平投影图。也就是把煤层的起伏变化,褶曲、断层等形态象地形变化一样用等高线的形式在图上表示出来。只是地形等高线所表示的山头、山间盆地、断崖、峡谷、斜坡、平地……等都是人们常见的,概念比较清楚。而煤层底板等高线图所表示的向斜、背斜和断层等等都深埋于地下,不易看到全貌,比较抽象。

在这个图上的任何一个点的三度空间,是通过图纸的经纬方格(X、Y)和每一条等高线所固有的高程(Z)来控制的。

所谓煤层底板等高线就是指某一煤层的底板被水平面切过的那条线。图 2－9－18 表示一个倾斜煤层,被 70 米、80 米、90 米三个水平面切过而得到 70、80、90 三条等高线的示意图。图 2－9－19 则表示一个盆状构造的煤层底板等高线图。图中 a、b、c、d、e、f、g 各点均为该煤层上 －250 米高程上的底板点,若顺次把它们连起来,这条线就叫作该煤层 －250 米的底板等高线。由此可见,等高线的方向实际上就代表了该煤层在该区段和该高程的煤层的走向方向。等高线的弯曲变化就代表了煤层变化的情况,因而也就反映了煤层的构造形态。例如走向平直象板状一样的煤层,其等高线为一系列平行的直线。走向弯曲的褶皱煤层其等高线为一曲线,其中背斜的等高线往顶板方向突出,向斜的等高

线向底板方向突出。盆地的等高线呈封闭的曲线，且越往中心部位高程越下降（如图 2－9－19）。

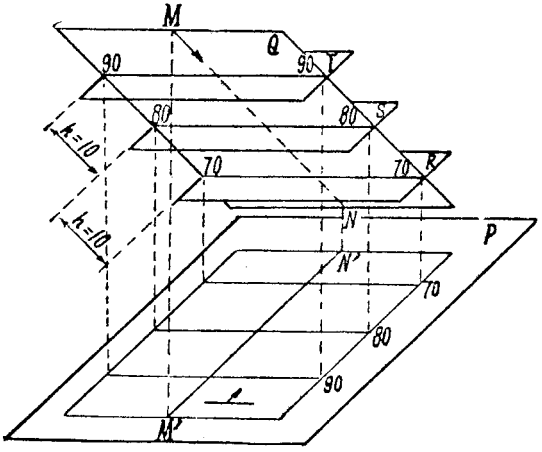



图 2－9－18　空间平面等高线投影

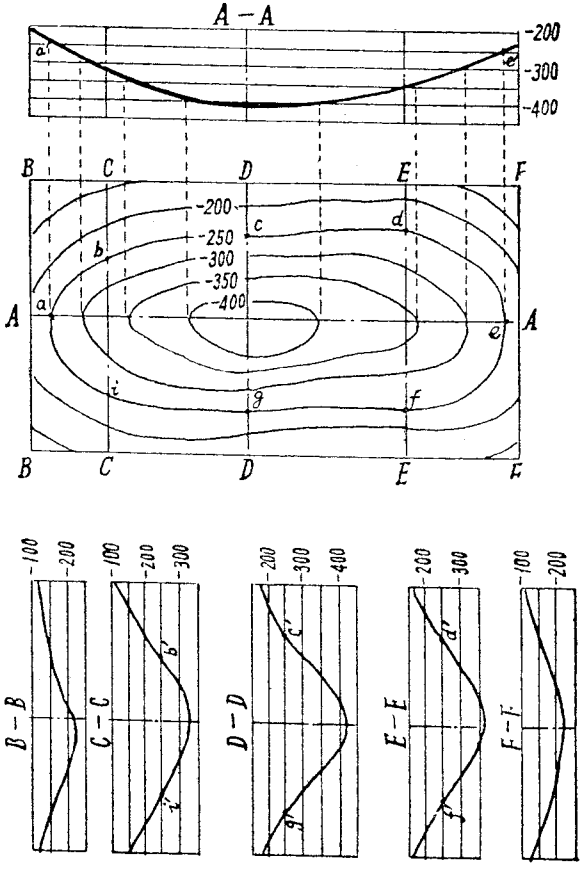



图 2－9－19　煤层底板等高线图的绘制

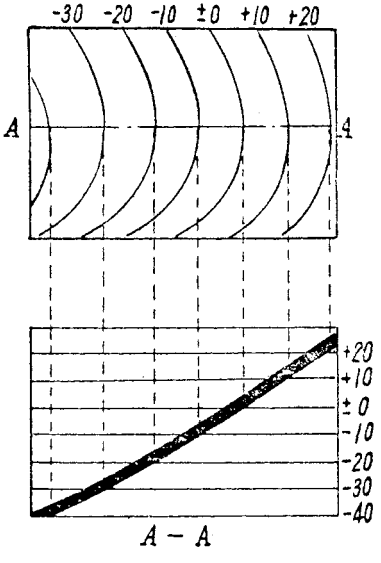
煤层底板等高线图上相邻两等高线间的高差叫高程差，相邻两等高线在平面上的投影距离叫间距。高程差(H)与间距(X)的数学关系如下式：

$$X = \frac{H}{tg\alpha}$$

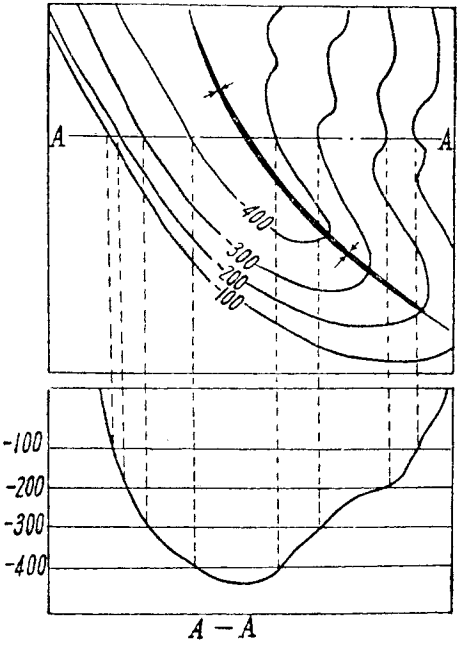
式中 α 为煤层的倾角。

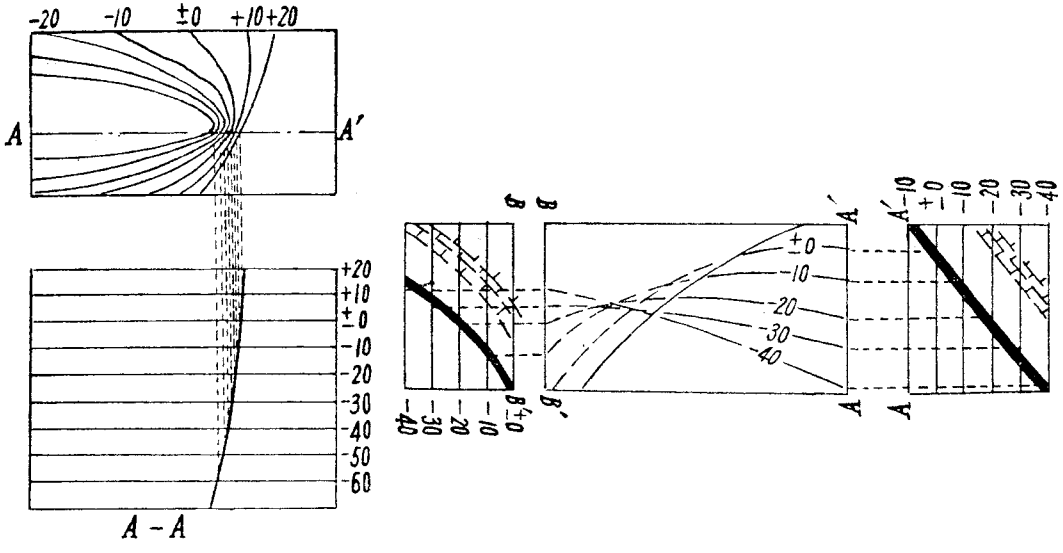
由此可见，等高线的间距越大煤层的倾角越小；反之，等高线间距越小则煤层倾角越大。等高线的弯曲急剧且疏密变化频繁，表示该煤层的走向和倾角均有急剧的变化，地质构造复杂(如图 2－9－20 乙)。若相邻几条等高线在平面图上重合，说明煤层倾角直立(图 2－9－20 丙)。若相邻几条等高线由浅而深依次相交并逐条交叉通过，说明煤层由正常(新地层在上，老地层在下)向倒转变化(老地层在上，新地层在下)，如图 2－9－20 丁。

煤层底板等高线，在正常情况下应该是连续的，如果一条或几条等高线中断，相互错开，就表示有断层。其错开的方向(指一对标高相同的等高线)正好代表平巷找煤方向。




甲　煤层平缓






丙　煤层直立　　丁　煤层由正山逐渐倒转

图 2－9－20

断层切断煤层底板的任何一个点都叫作断失点。如图 2－9－21 甲中的 a、b、c、d 和图 2－9－21 甲中的 a′、b′、c′、d′等。在某一煤层中为同一条断层所切断的线，叫作断层与煤层底板的交面线(以下简称交面线)。因为被断层切割而错开的煤层有上、下盘之分，所以交面线在煤层图上也有上下盘之分(见图 2－9－21 乙)。煤层掘进遇断层的点就是断失点，亦即巷道通过交面线的位置，再往前掘就无煤，而需要根据断层的错动方向找煤。同样，当设计巷道通过交面线时，预计煤层也将被断失，也需要按照断层错动方向找煤。一对被错开了的属于同一标高的等高线的相对位置，就是两盘煤层的相对位置。由这一断失点 a 到那一断失点 a′的方向就是平巷找煤方向。因此，交面线及其两侧等高线推测的正确与否，对指导采矿工程有重大意义。图 2－9－21 表示煤层受正断层拉开(缺失)的情况，图 2－9－22 表示煤层因逆断层造成局部重叠的情况。

由图 2－9－21 及图 2－9－22 中可以清楚地看到交面线的方向，它既不同于煤层的走向，也不同于断层的走向，因此必须加以严格的区分，决不能把断层的走向与交面线混为一谈。

下面介绍几种画交面线的简要方法：

(一)点位推测法(结合图 2－9－23)

其步骤如下

(1)通过 －150 米水平煤巷实见断失点 $F_{下}$，按断层的实测走向画 －150 米断层面等高线(F－150)；

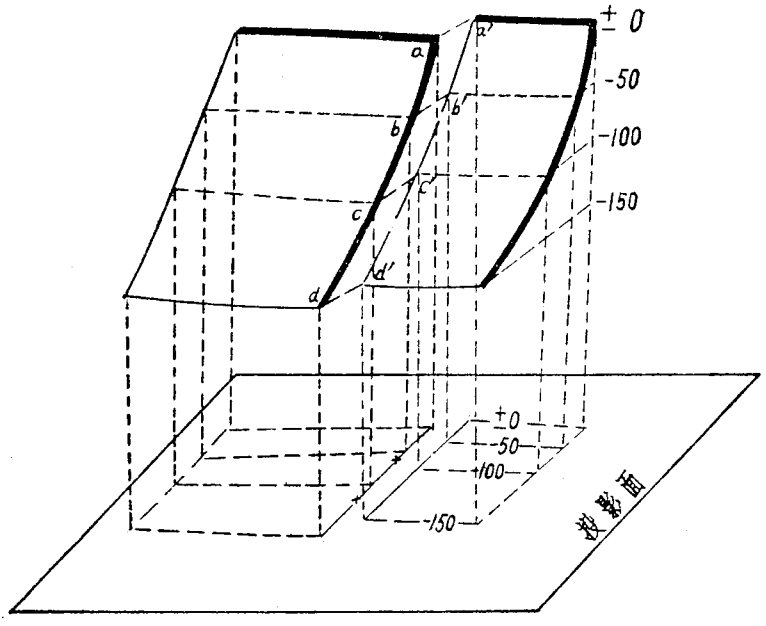



图 2－9－21 甲

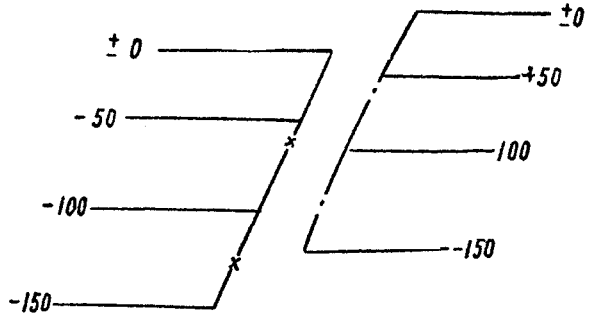



图 2－9－21 乙

图甲表示一煤层受正断层影响，造成部分煤层缺失，并把它投影到煤层图上去的示意图。其中 a，b，c，d 为下盘各断层点，其连线为下盘交面线；a′、b′、c′、d′为下盘各断层点，其连线为上盘交面线。

图乙是图甲所表示的煤层底板等高线图。

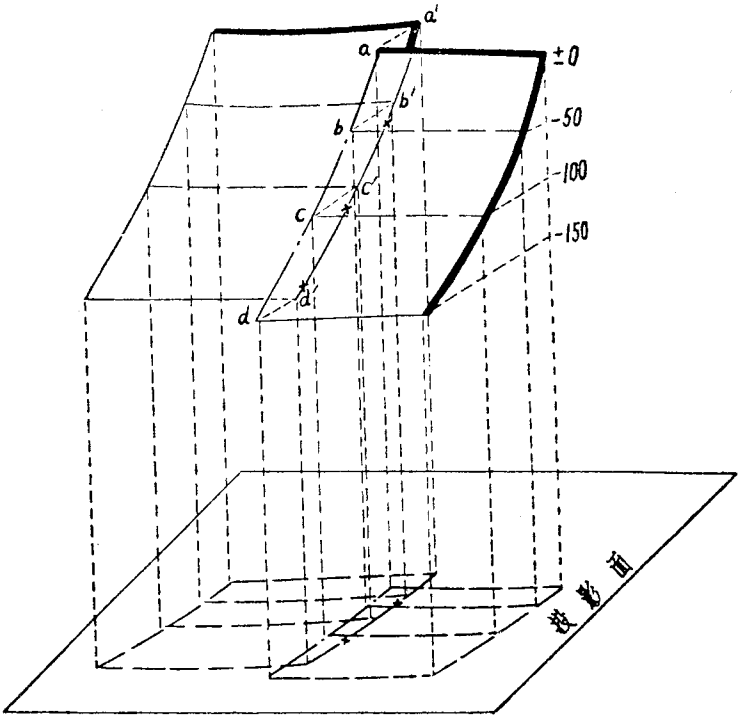



**图** 2－9－22 **甲**

**图甲表示空间—煤层受逆断层造成部分煤层重叠及把它投影到煤层图上的示意图**

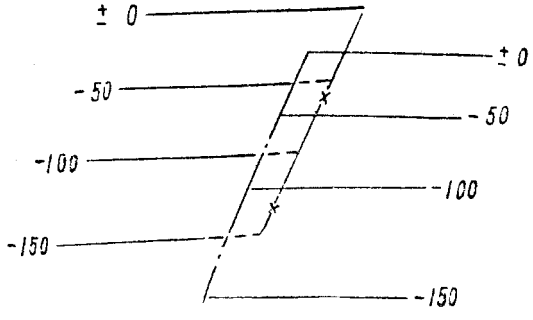



**图** 2－9－22 **乙**

**图乙是图甲所表示的煤层的底板等高线**

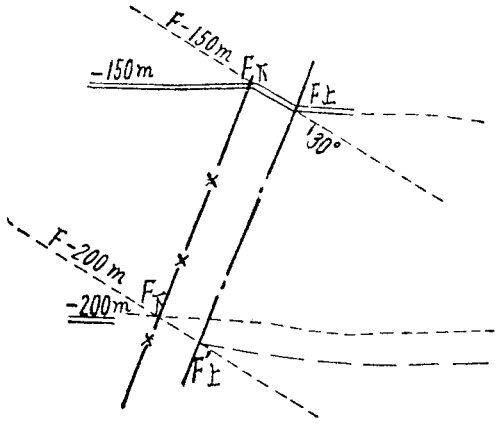



图 2－9－23

═══巷道

·····推测的煤层底板等高线

— — — — 后改的煤层底板等高线

(2)根据实测断层的倾角,用与图纸相同的比例尺画出与 F－150 米相互平行的－200 米标高的断层面等高线,并与－200 米煤层底板等高线相交,得 $F'_{下}$ 点。把 $F'_{下}$ 与 $F_{下}$ 用平滑线相连就是本煤层的下盘交面线。再参照－150 米实见两盘的错动方向和错动距离推测出－200 米水平上盘煤层底板等高线的位置。

(二)两点法(图 2－9－24)

根据同一煤层中对同一断层和同一个盘中的两个以上断失点的实测位置(ab 和 a′b′)在煤层图上投点、画连线、即得断层的上盘(ab)和下盘(a′b′)的交面线。适当延伸后即可得－200 米推测的上下盘断失点(cc′)的位置。

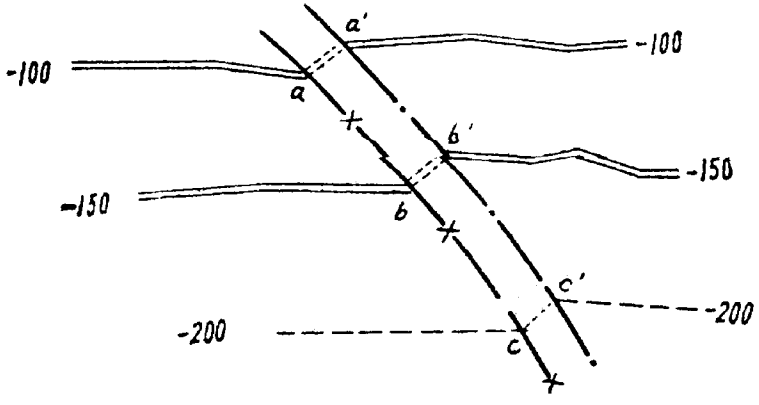



图 2－9－24

（三）断层面等高线法（结合图 2－9－25）

把同一比例尺的断层面等高线图和煤层底板等高线图对好座标方格，重合起来，将两者各个相同标高的两组等高线的交点用圆滑曲线联起来，即得其中一个盘的交面线。在这个基础上，根据所在本盘实测到的相对于另一盘的落差和错动方向，再进而推测另一盘的交面线和各条煤层底板等高线。如图 2－9－25 上盘 $V_2$ 相对于下盘的 $V_1$，落差为 10 米。

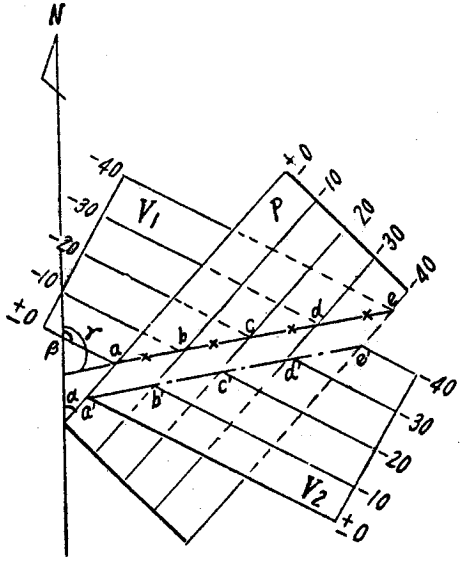



图 2－9－25

P 面为断层面等高线；

$V_1$ 面为断层下盘等高线；

$V_2$ 面为断层上盘等高线；

α 为断层走向的方位角；

γ 为交面线的方位角；

β 为 $V_1$ 面走向的方位角

## 二、绘制的基本方法

（一）根据地质勘探剖面绘制（以一个煤层为例说明）

（1）首先打好方格网，在绘好统一的剖面线及准线的图上，填绘各钻孔穿过本煤层底板的实测座标位置，煤层的底板标高，煤层的真厚度等。其中直孔可用孔口实测座标填绘 打歪斜的钻孔应按校正换算的座标填绘。

(2)把每个剖面图上煤层底板与每条高程线的交点 a、b、c、d.……等各点,对应地投到煤层图的各该剖面线上(a′、b′、c′、d′……)然后把相邻各同等高程的点用圆滑线连接即得该煤层底板等高线图的初形(如图 2－9－26)。

(3)如在剖面图上有断层时,则需把上下盘断失点($F_{上}$、$F_{下}$)分别对应地投到煤层底板等高线图中的各自剖面线上($F'_{上}$、$F'_{下}$)。经分析对比后,再向相邻剖面线方向延展、连接或消失(参看图 2－9－27)。

(二)根据勘探钻孔资料用内插法绘制

其简要方法如下

根据每两个钻孔间同一煤层的底板标高,用内插法求得各条等高线高程点,把各点用圆滑曲线连接起来,即为该煤层的底板等高线图的初形。对那些巷道的实见资料,亦可用上述方法。

内插法的基本前提是假定两个钻孔间煤层的倾角基本不变。因此例如当甲、乙两个钻孔的直线水平间距为 100 米,甲孔底板标高 －90 米,乙孔底板标高为 －140 米时,可以用图解求 －100、－200 米的位置(如图 2－9－28)。

此外,也可以用算术法求解如下:

(1)先求两钻孔间煤层底板平均每升高一米的水平距离(X)

$$X = \frac{\text{甲、乙两钻孔的水平间距}}{\text{甲、乙两钻孔底的高差}}$$

$$= \frac{100}{140 - 90}$$

$$= 2 \text{ 米}$$

(2)求某标高点与甲孔的水平距离(L)

$$L = (\text{某推测点的标高} - \text{甲孔底板标高}) \cdot X$$

故由甲孔至标高为 －100 米的点直线水平距

$$L = (100 - 90) \times 2 = 20 \text{ 米}$$

由于内插法的前提是假设任何两个钻孔之间的煤层底板倾角没有变化,而且它与相邻两个钻孔之间的倾角变化人为地画成折线,这都与煤层的实际情况有一定的误差(如图 2－9－29)。因此,上述方法一般只宜用来作为局部推测的辅助手段。

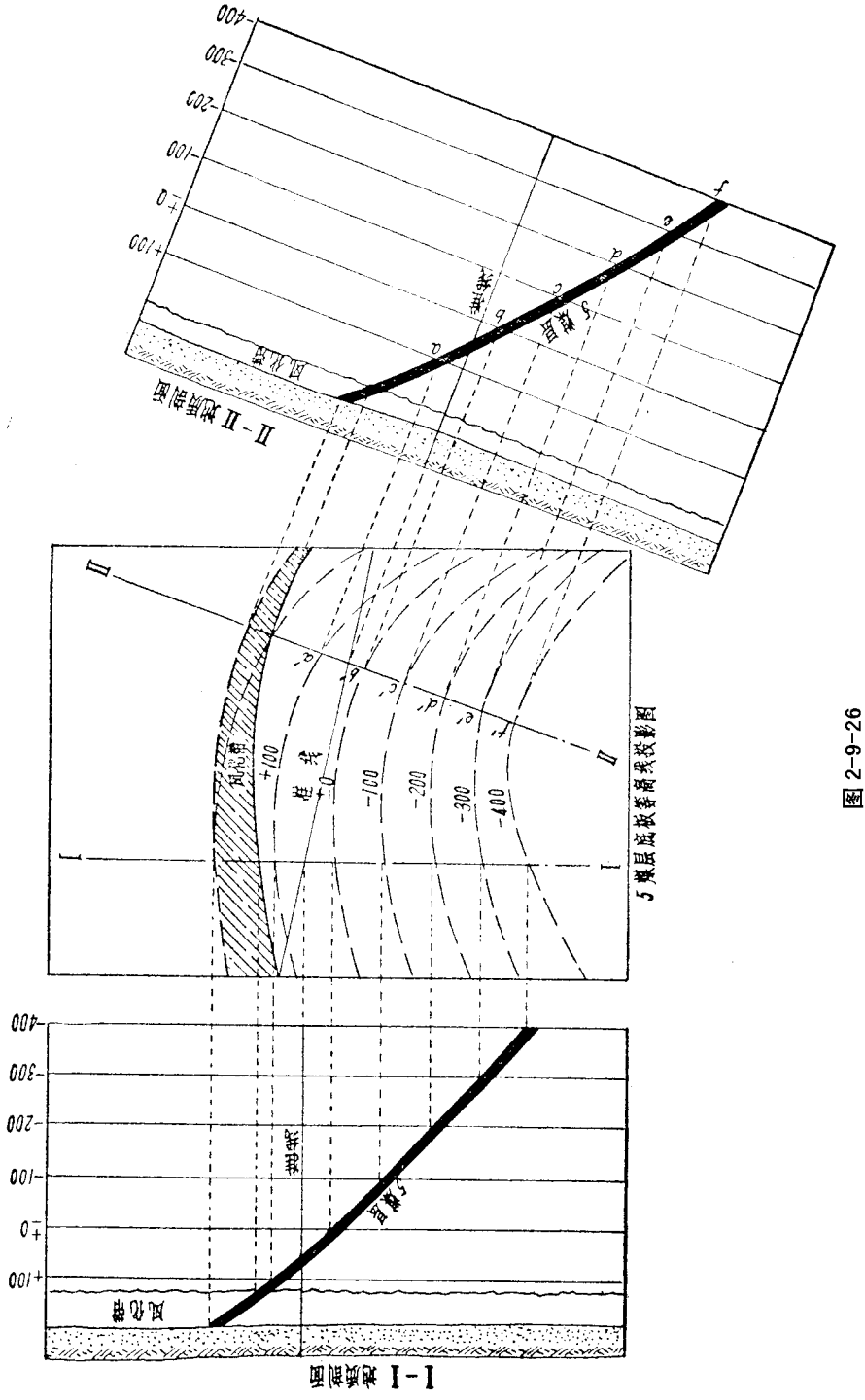



图 2-9-26

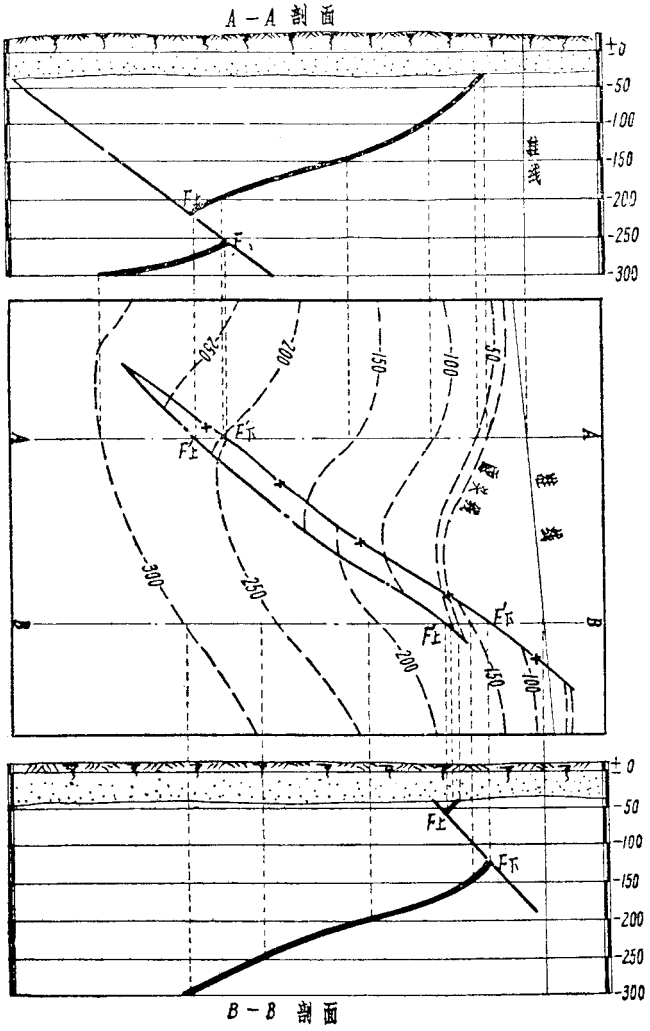

A－A 剖面
±0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
井筒
F上
F下
-250
-200
-150
-100
-50
A
B
-300
-250
-200
-150
-100
B－B 剖面

图 2－9－27

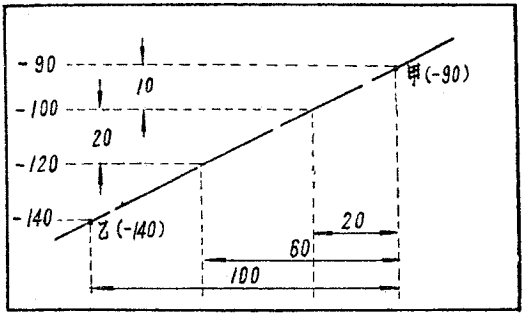



图 2－9－28　甲乙两孔的剖面图解

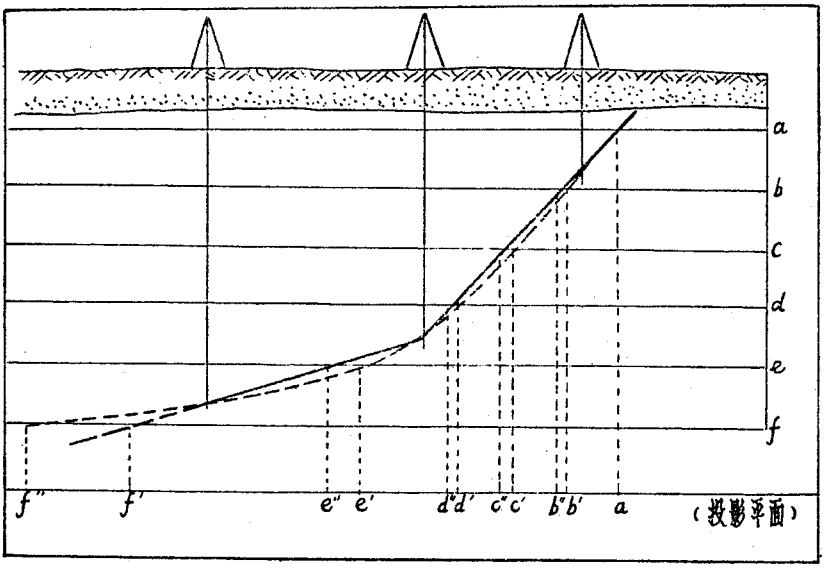



图 2－9－29　内插法的误差示意图

## 三、图纸的内容与要求

### (一)主要内容

(1)各见煤钻孔的实测位置(包括孔号、钻孔见煤层底板的标高、煤厚),以及根据这些资料推测的未采掘地区的预想底板等高线、断层上、下盘交面线和向、背斜轴线等。

(2)对本煤层已掘巷道和已采区的实见资料的填图与第四章煤层图的要求相同。

(3)本煤层的可采边界或薄煤带。

(4)煤层受火成岩侵入变质地区和受古河床冲刷地区的实测或推测边界。

(5)各种永久性煤柱线和矿井技术边界线。

(二)填绘要求

除必须按统一图例填绘并作到‘三大地质图’相互检验吻合外,还有以下要求:

(1)经纬线、剖面线和准线必须完全与其它平面图、剖面图严格吻合。

(2)每条实见煤巷的标高、煤厚、倾角、断层的编号和落差等注记必须齐全。

(3)应根据生产和勘探资料定期进行修改和补充。

# 第十章　地表移动及地形曲面的计算机制图

## 第一节　地表移动及地形曲面的现象与假设

矿山的开采在很大范围内打破了岩体的初始平衡状态，导致了岩体的变形并逐步向新的平衡状态转化，导致了岩层及地表移动。现假设岩体是板状的块体，在整个移动过程中受多种因素影响。者体板在确定区域内的移动变化，地表的沉降是个连续变化的复杂曲面板（三维空间复杂曲面）。为有利于研究，现假设此岩层或地形曲面为粘弹性介质组成的岩体。对于此确定区域内地表及地形曲面的运动轨迹，对于各岩体曲面上任何一点的运动轨迹状态研究，用计算机图示其空间曲面形态显得十分重要。这里简要介绍一下如何利用测量误差理沦，研究地表移动及地形曲面制图的方法。现把岩体运动变化看作是连续的形状变化，即所谓连续运动的速率面的变化。这个连续变化的岩层曲面或地形曲面的严格解析式无法求得。但是从数学上，这个连续曲面总可以假设用一系列简单的数学曲面叠加，以任意精度逼近，从而得到满足反映岩体运动曲面或地形曲面实际需要的表达式。这就是美国 Hardy 在 1978 年报告中提出的用多面函数作为速率面逼近基函数的研究地震曲面的方法。

## 第二节　岩层移动曲面或地形曲面的多面函数的观察方程

### 一、观察方程

为研究方便，假设岩层连续曲面上的一点$(x,y)$处的运动速率$M(x,y)$，可以用$n$个多面函数的叠加来逼近。

即
$$\dot{F}(x,y)=\sum_{i=1}^{n}a_1 Q(x,y,x_i,y_i) \tag{2-10-1}$$

式中　$a_1$——待定系数；

$Q$——基函数。

采用多面函数时$Q$的一般形式为：
$$Q(x,y,x_i,y_i)=[(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+\delta^2]^b \tag{2-10-2}$$

式中　$\delta$——平滑因子；

$b$——非零的实数(可供选择)。

(2-10-2)式可一般写成：
$$\dot{H}=Qa \tag{2-10-3}$$

设在$t_0$时刻$i$点的高程为$F_i^o$，则对于时刻$t$观察的$i,j$点间的高差$f_{ij}$有：
$$f_{ij}+V_{ij}=(F_j^o-F_i^o)+\dot{F}_j(t-t_0)-\dot{F}_i(t-t_0) \tag{2-10-4}$$

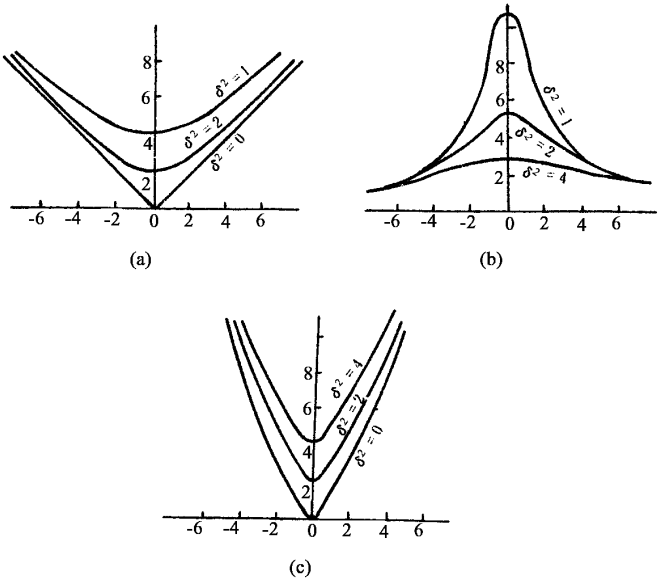
写成矩阵形式
$$f+V=A_1F^o+A_2Q\cdot a \tag{2-10-5}$$

当选定了适当的基函数形式和个数，即可$V^TPV=\min$的条件下，求出$t_0$时刻的高程参数$F^o$及待定系数$a$。

当然在采用多面函数速率面逼近时，也需要选定好高程和速率基准。

### 二、基函数的选择

上述基函数$Q$，对应不同的$b$值有不同的基函数。此处基函数根据岩层移动或地形变化的资料及测试比较，采样点和插值点的分布，不同基函数逼近效果的比较，选用双曲型比较好(图2-10-1)。




(c)

**图** 2 – 10 – 1

**即**　$b = \frac{1}{2}$，**双正曲型(见图** 2 – 10 – 1a**)**

$$Q(x,y,x_i,y_i) = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + \delta^2]^{\frac{1}{2}}$$

**或**　$b = -\frac{1}{2}$，**倒双曲型(见图** 2 – 10 – 1b**)**

$$Q(x,y,x_i,y_i) = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + \delta^2]^{-\frac{1}{2}}$$

**或**　$b = \frac{3}{2}$；**三次曲面型(见图** 2 – 10 – 1c**)**

$$Q(x,y,x_i,y_i) = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2]^{\frac{3}{2}} + \delta^2 ;$$

## 第三节　三维地形曲面和岩层移动曲面的计算机模拟绘制

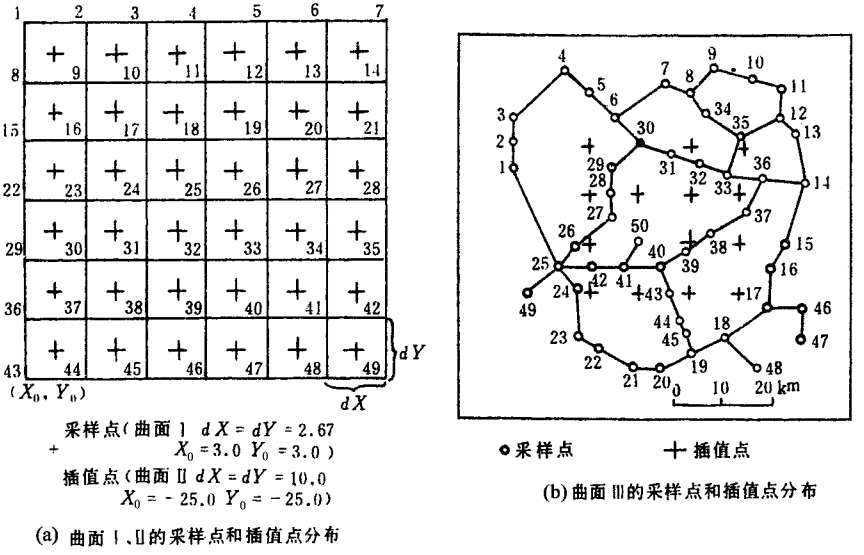
**在计算机模拟地形曲面和岩层移动曲面时应注意如下过程：**

**(1)确定观察方程；**

**(2)选择适当的基函数形式和个数；**

(3)确定地形沉降曲面的监测网及测段和区域曲面的采样点结点个数及参数(图 2－10－2)；

(4)计算并模拟岩层曲面或地形曲面的三维立体图或截面图(图 2－10－3 和图 2－10－4)。




(a) 曲面Ⅰ、Ⅱ的采样点和插值点分布

(b) 曲面Ⅲ的采样点和插值点分布

图 2－10－2

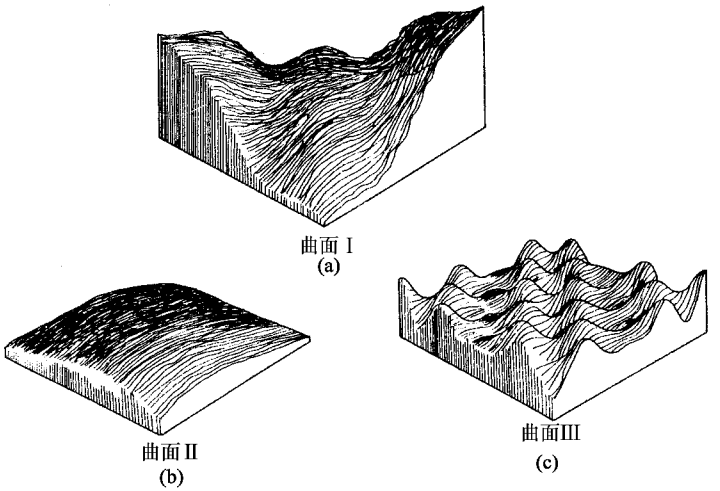
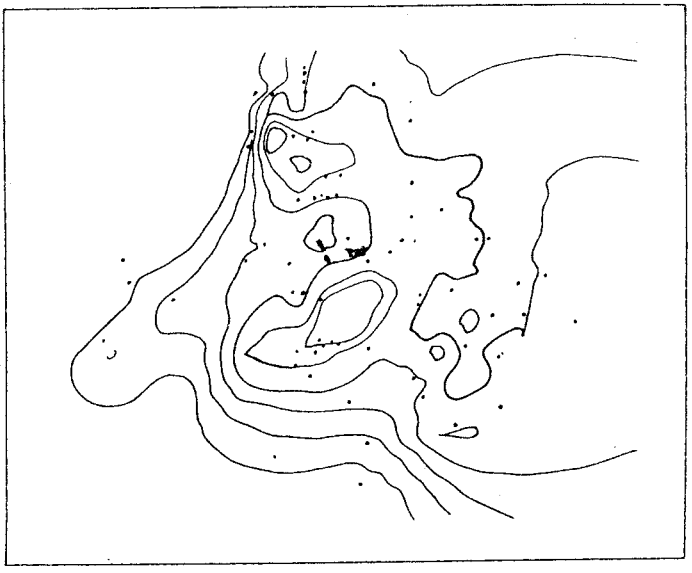
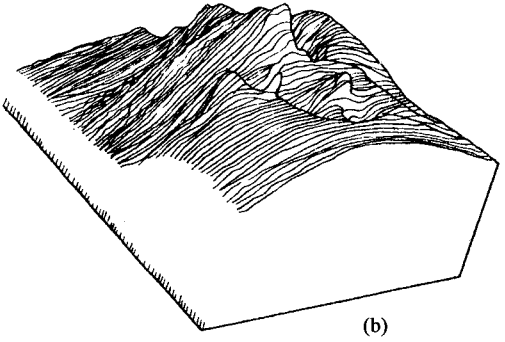



图 2－10－3



(a)



(b)

**图** 2 – 10 – 4