



天井定向測量

陈于恒 吳雨沛 編著



冶金工业出版社



內 容 提 要

天井定向測量是日常矿山測量工作之一，正确合理的選擇天井定向方法，能在保證要求精度的前提下，提高測量速度和節省人力。

本書全面系統的介紹了各種天井定向測量的方法，优缺点，精度和適用条件，並分析了天井定向要求的精度及選擇定向方法所根据的原則。

本書主要对象为金屬矿山測量人員，也可供煤矿及非金屬矿矿山測量人員和矿山測量专业师生参考。

目 录

序言	1
第一章 通过垂直天井的定向测量工作	3
§ 1 两井定向	5
§ 2 连接三角形法	6
§ 3 切繩法	9
§ 4 串綫法和对称連接法	12
第二章 通过傾斜天井的定向测量工作	18
§ 1 导綫法	18
§ 2 斜綫法	23
§ 3 牽制垂球法	23
§ 4 串綫法	23
§ 5 折綫悬錘法	30
第三章 天井定向测量中的某些特殊問題	32
§ 1 磁性定向	32
§ 2 图解法在天井定向中的应用	34
§ 3 通过垂直或急傾斜井筒进行定向测量的几个特殊方法	38
§ 4 通过天井的光学定向方法	50
第四章 天井定向测量要求的精度及定向方法的选择	53
結束語	61

序 言

“天井定向”的定义是：把方向，坐标和高程自一个分层、中段或阶段传导到另一个分层、中段或阶段。这种工作实质上是次要井巷的定向测量。在金属矿山这种定向测量工作通常是通过天井来进行的，而测定方向的工作往往是和导入坐标及高程工作同时进行，因此通常可简称为天井定向测量。天井可能是倾斜的，急倾斜的，也可能是垂直的。天井按其用途来说有人行天井，放矿天井和充填天井等。

通过天井进行定向测量的主要目的在于建立采准巷道和采矿场的测量控制基础。在运输水平上一般敷设有井下一级或二级经纬仪导线以及高程控制网。由此为基准，我们用一定的方法把方向、坐标及高程传导到上部切割水平、中段巷道、凿岩硐室或分层巷道里去，并建立一定的控制点。根据这些控制点就可以进行采准巷道和采矿场的标设和测量，进行深孔的标设和测量，并把它及时的反映于图上（图的比例尺一般为1：200或1：500）。采矿场的面积和采高的测量是进行产量统计所必须的，而高程的引入是为了保证层间或中段间的垂直距离符合于设计规定。假若为了加速采区的准备而进行巷道贯通时，那天井定向的实际意义就更大了。

天井定向测量在金属矿山中是最经常的矿山测量工作之一，差不多所有的采矿法都要进行这种测量。而开采近距煤层时，也广泛的进行这种测量工作。天井定向测量往往花费矿山测量人员很多的精力和时间。研究各种天井定向测量方法、精度及适用条件、研究在什么条件下用什么方法最合

理，这是具有一定意义的。

由于天井定向测量的目的是在某一特定时间内测量控制某一定的开采范围，因此可以采用一些比较简易的方法，也就不需要很高的精度，这比起通过主要井筒为建立整个井田测量基础的定向来说精度自然要低得多了。天井定向要求达到的精度取决于采矿的要求，这问题将在本书第四章中探讨。

我国社会主义建设采取了洋土并举的方针，目前用小土群的方式开采矿石是采矿工业的一个重要方面。这些小井、土窑也往往需要一些测量工作，它要求测量方法简单，但并不要求很高的精度。同样在地质勘探工作中，勘探井巷时也需要进行精度较低的简易定向测量。由此可见，本书所讨论的内容对于上述这些工作也是适用的。

本书在叙述中把天井定向测量分为两大类：（1）通过垂直天井的定向测量工作；（2）通过倾斜天井的定向测量工作。每一类中都包括几种方法。对于某些特殊问题和特殊方法将在第三章中加以阐述。

本书是归纳国内外各种资料和作者的研究分析而写成的。书中主要内容是依据苏联的先进经验写成的。作者学识不足，本书的某些观点还不够成熟，敬请大家批评指教。在编写本书的过程中，得到北京钢铁学院采矿系于学馥副教授和张玉琴同志很多帮助，特在此表示感谢。

第一章 通过垂直天井的定向测量工作

通过垂直天井的定向测量方法是多种多样的。通过主要井筒进行定向测量的方法如两井定向，连接三角形法，连接四边形法及对称读数法等等，都可以应用于垂直天井的定向。然而连接四边形及对称读数等方法的测量及计算都比较复杂，故在天井定向的实际工作中极少应用，只有两井定向及连接三角形法应用得比较普遍。矿山测量工作者在解决天井定向这个问题上创造了很多简化的方法，对于这些方法我们不但丝毫不能轻视，而且应该研究和推广。

把各种方法进行归纳分析，通过垂直天井的定向测量方法，常用的有以下四种：

- 1) 两井定向法；
- 2) 连接三角形法；
- 3) 切绳法；
- 4) 串线读数法。

后三种方法就是通过一个垂直天井进行的。

此外还有若干垂直天井定向的方法，但因其有严重的缺点或应用不广，故不一一介绍。

在把这些方法逐个进行介绍分析前，我们叙述一下投点的方法。在垂直天井定向测量中都应用几何投点法，也就是在天井中挂上带有悬重的金属丝或细绳。垂线的上端固定在天井的支架上，可以用大铁钉，也可以用简易的滑轮和绞车。悬重最好是垂球，也可用金属质的重物，重约十公斤左右。在风流较大时，为了定向更精确些，可以把重垂置于稳

定液中（废油或带锯屑的水）。摆动投点法是很少采用的。由于悬重不大，可以选择直径較小的金属絲。

在定向过程中投点工作有时会占去很多的时间。天井断面不大，常常为梯子，平台及机械設備所阻隔，在其中挂綫是比較困难的。挂綫是否与其它物体接触最好能用信号圈进行检查。

对于上述四种方法，导入标高的过程也是基本上相同的，故在此进行总的叙述，在每节中就不再重复了。

在天井定向中，經緯仪导綫点可作为高程控制点，沒有必要設立专门的水准点。

测量过程如图 1 所示，在天井中挂上鋼尺或皮尺，用水准仪或經緯仪进行测量，在尺上取讀数 a , b ，丈量仪器中心到測站的距离 l_1 及 l_2 。

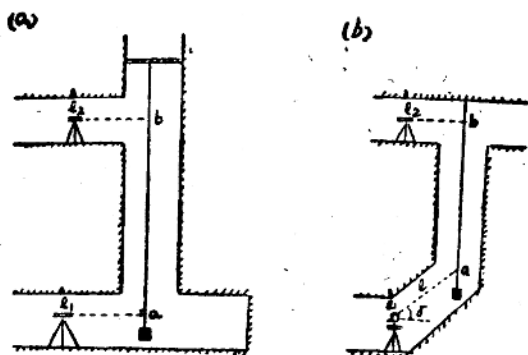


图 1 通过垂直天井导入标高

当用經緯仪进行测量高程时，应保证望远镜上水准管管軸平行于望远镜視准軸。在观测时，用竖盘微动螺旋使鏡上

水准管之气泡居中。計算时可按下列公式进行。

$$\Delta Z = (b-a) + (l_2 - l_1)$$

在某些情况下，还需要利用三角高程测量（如图16）。在这种情况下計算公式为：

$$\Delta Z = (b-a) + (l_2 - l_1) + l \sin \theta$$

标高测量的误差，包括讀数误差，視准軸水平性误差及尺本身的误差等。

§1 两井定向

在金属矿山有时可能利用两个天井进行定向测量。如图2所示自运输水平有两个垂直天井通向采矿場。为了进行采矿場测量就需要进行定向测量。

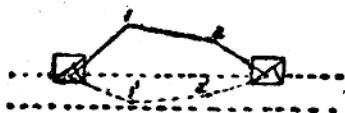


图2 两井定向

测量的原理，过程及計算方法与通过主要井筒的两井定向是相同的，这在很多矿山测量書籍中有詳細的敘述，本書不再重复。这里要指出的是通过天井进行两井定向的精度可以低些。冶金部原有色金属管理局矿坑测量暂行技术規程(1956年)对测量精度作了規定：連接导綫的边长用鋼尺丈量，往返較差不得大于边长的 $\frac{1}{300}$ ；水平角用精度不低于 $1'$ 的經緯仪作一个复測；井上下二垂球間距离之不符值不得大于距离的 $\frac{1}{300}$ ，坐标不符值按增量大小进行分配。

导綫边的数目应尽量少，以減輕内外业工作量。

两井定向的精度是較高的。假若連接導綫近似于延伸形（如图 2），則定向精度主要决定于投点誤差和測角誤差，定向誤差一般在 $\pm 4'$ 以下。若連接導綫为任意形状的，这时量边誤差将对定向精度有很大的影响，在精度較高的情况下，規程中較差小于 $\frac{1}{300}$ 的規定就显得不够了。

与簡易定向方法相比，两井定向的缺点是內外业工作量都比較大，特別是計算繁多，这个缺点严重的影响了两井定向的应用。只有在要求較高精度时，才使用这种方法。

在本書第三章中将介紹用图解法进行两井定向的測算工作。

§ 2 連接三角形法

在我国金屬矿山中，連接三角形是最常用的天井定向測量方法之一。

連接三角形法之原理及測量計算方法在矿山測量書籍中有詳細介紹。根据誤差理論推証，延伸三角形是最有利的形状，能保証連接精度最高。垂球間的距离愈大愈好，置仪器点应尽可能靠近垂球綫，但不得小于望远鏡的最短視距。但在天井定向中，由于巷道相互位置的局限及天井中設立垂綫

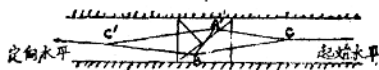


图 3 連接三角形法

之困难，往往不得不用近似的等腰三角形进行連接。此时应按边公式进行三角形解算，即：

$$\operatorname{tg} \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}};$$

$$\operatorname{tg} \frac{B}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}};$$

$$\operatorname{tg} \frac{C}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}};$$

式中 $p = \frac{a+b+c}{2};$

a 、 b 、 c 为三角形各边的长度。

矿坑测量暂行技术规程有以下规定：（1）当中段巷道的长度为60~120公尺时，二垂球綫間的距离不得小于0.5公尺；当中段巷道长度小于60公尺时，二垂球間的距离不得小于0.35公尺。（2）計算所得二垂球間的距离与实际测量值之差不得大于4公厘，如超过规定应重新进行测量。（3）在定向时，当第一次观测完了后，应移动一个垂球綫的位置，进行第二次观测。若中段长度小于60公尺，則二次定向結果之差不得大于 $\pm 25'$ ；若中段长度为60~120公尺，則二次定向結果之差不得大于 $\pm 15'$ 。

若取极限誤差为中誤差的三倍，进行計算就可得出一
次定向的中誤差分別为 $\pm 6'$ 和 $\pm 3.5'$ 。要达到这样的精度是不容易的，特别是投点誤差影响很大。若垂球間距离0.7公尺，投点誤差为1公厘，則由此而引起的方向誤差为
$$m = \pm \frac{2}{0.7 \times 1000} \times 3438' = \pm 5'.$$
从这里看到，我們須要細心的进行投点工作。規程的规定是說明此方法可能达到的精度，而实际工作需要多高的精度，这就是另外的一个問題

了，将在第四章中讨论之。

连接三角形的优点是适用性较强，能在很多情况下运用这种方法，当布置延伸形不可能时则可布置成近似于等腰三角形。当布置成有利形状时连接三角形法与某些简易方法（如切绳法）相比，精度是比较高的。

连接三角形法的缺点是计算比较复杂（与简易方法相比）。当天井变曲及为装备所阻塞时，在一个天井内挂两条垂球线并保证一定的间距是一件相当困难的工作，有时连接三角形的形状很不利，这使定向误差大为加大。整个外业测量过程一般要在3小时以上。有时内外业工作时间达到10小时以上。

在有两个相邻接天井的情况下（如图4）也可以用连接三角形法进行定向测量。如图4a直接应用普通的连接三角形，如AB距离较大，则也可把C点放在AB之间成延伸

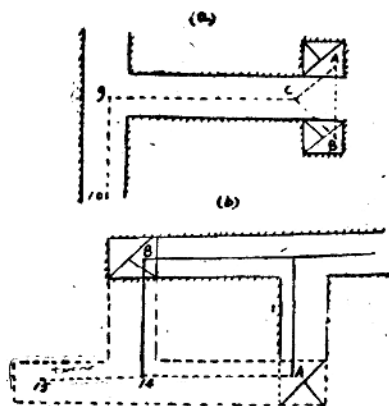


图 4 连接三角形法特例

形，否則就布置成等腰形。假若 AB 距离在一个水平上无法量出，即可利用在另一个水平上量得的长度进行计算。若在两个水平上都无法量出 AB 之距离（如图 4b），一則可利用解算三角形所得之距离进行坐标计算。这种情况下就必须应用正弦定律，在某些方面就类似于两井定向了。

§3 切 繩 法

本法又称单垂切繩法，工作过程相当简单。切繩法在苏联克里沃罗格铁矿应用比较普遍，在我国矿山还少应用，矿山测量工作者有必要对此方法进行研究 and 应用。

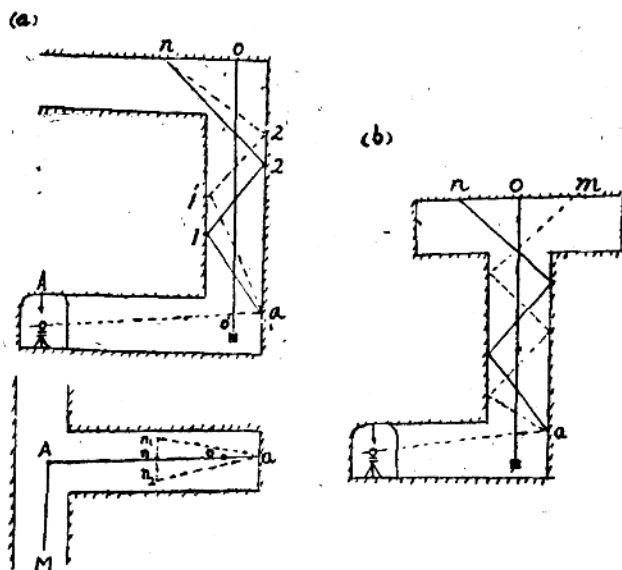


图 5 切繩法进行定向

在天井中挂垂綫 $00'$ ，在下部起始水平选择适当的位置設立測点 A ，经过导綫測量就能求出 (AO) 方向角，以及 A 点和 O 点的坐标。在 AO 的照准綫上标定 a 点， a 点設在井壁上用临时标志固設。然后在天井中拉斜繩 $a-1, 1-2, 2-n_1$ ，拉时使斜繩切于綫之一側，标設 n_1 点于上部中段巷道中。为了避免粗差，系統差及减小由于垂綫摆动而引起的誤差，在垂綫之另一側再作一次，即拉斜繩 $a-1'-2'-n_2$ 。这样就在中段定向水平上得出 n_1 和 n_2 二个点，取其平均位置 n ，并設立測点。on 边即为定向水平的起始边，方向角 $(no) = (Ao)$ 。

在定向过程中应注意以下各点：

- 1) 斜繩与垂綫不要直接相切，应留 1—2 公厘的空隙，以免碰动垂綫而影响它的鉛直位置；
- 2) 斜繩与垂綫相切的次数愈少愈好；
- 3) 为了保证相切适当， $a, 1, 2$ 等点建議用金屬的活头測釘（图 6）把釘子打在木支架上，然后，上部活动部分能在 1 公寸范围内移动。小圆孔的直径不要超过 2 公厘。

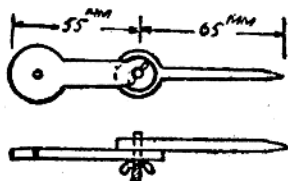


图 6 活头測釘

4) 当上部水平的巷道与二井是双面相交时，此时可以在上部水平用切繩求得 n 与 m 二点。由于这二点距离較长，因此起始边方向精度就可以提高了（如图 5b）。

苏联学者帕梁克（З.И. ПОЛЯК）等人提出切繩法精度評定的簡單公式：

$$m''_{\alpha} = \frac{n_1 n_2}{2d} \times \rho''.$$

式中 m_{α} ——方向角 (α) 的中誤差 (秒) ;

$n_1 n_2$ —— n_1 与 n_2 点的距离 (公尺) ;

ρ'' ——等于 2.06×10^5 (秒) 。

假若我們給定 m_{α} 的容許值，就可以求出 $n_1 n_2$ 的容許值。 n_1 与 n_2 的距离如超过容許限度，就說明定向質量不合要求，需要返工。但我們发现这个公式有个很大缺点，因为 $n_1 n_2$ 数值中包含了一项系統誤差，此系統誤差是由于鋼絲和斜繩分別在二側相切而引起的，此系統差对于定向精度沒有影响，因为它可以在求平均位置时得到消除。假設 $oa = 0.6$ 公尺， $on = 3.0$ 公尺，在相切时斜繩中心与垂綫中心相距 3 公厘。根据相似三角形原理，可求出此系統差 $t = \frac{2 \times (3.0 + 0.6)}{0.6} \times 3 = 36$ 公厘。

显見这数值相当大，在 $n_1 n_2$ 数值中不除去这项系統誤差就不能用此公式来估計定向精度。为了估計切繩法的精度，可以重复进行几次，例如在垂綫之一側用切繩法作二次，得出 n_1 及 n'_1 。而在另一側也作二次得出 n_2 及 n'_2 。

$$m''_{\alpha} = \frac{n_1 n'_1 + n_2 n'_2}{4d} \times \rho''.$$

[例] $on = 3.54$ 公尺， $n_1 n'_1 = 0.025$ 公尺， $n_2 n'_2 = 0.035$ 公尺，則：

$$m_{\alpha} = \frac{0.025 + 0.035}{4 \times 3.54} \times \rho \approx \pm 14'.$$

切繩法之最大优点是简单迅速，在天井中挂一个垂綫是

比較容易作到的。內外業全部工作時間僅需2~3小時，在測量過程中，根據 n_1 和 n_2 位置能在一定程度上判定定向的質量，如發現粗差就可以立刻進行復核。

本法的缺點是精度稍低，定向中誤差為 $\pm 15' \sim 20'$ 。在定向精度要求不很高的情況下（如分層崩落法），此法值得提倡和推廣。

§4 串綫法和對稱連接法

在本節中將敘述幾個不同方案，這些方案的原理是近似的。在現有文獻中被介紹的有串綫法和對稱直接法。

所謂串綫法又稱瞄直法，其原理如圖7所示。在上部水平設置A、B兩點，然後在其連綫上掛二條垂球綫直通到下部水平。

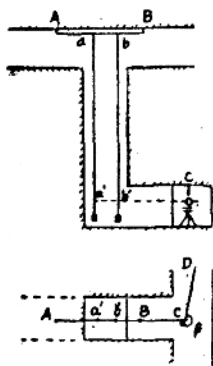


圖7 串綫法之一

在下部水平上可用目力設立近似點 C' 使 C' 尽可能位於二垂綫所成的垂直平面內。也可用細綫繩與二垂綫輕輕接觸，延長之就得出近似點 C' 。

在 C' 點設置經緯儀，先瞄準較遠的垂球綫 a ，然後固定上下盤，調整對光螺旋瞄向垂綫 b ，看其是否在視準面內，如不在視準面內，則須左右移動經緯儀之照準部分直到儀器中心與垂

綫 a' 、 b' 都在同一垂直平面內為止。經緯儀位置確定後，就可在其上確定 C 點，並測連接角 β ，丈量 Cb' 及 $a'b'$ ，

這樣

$$(AB) = (ab) = (a'C) ;$$

$$(CD) = (a'C) + 180^\circ - \beta.$$

定向水平上就可以求出起始边方向角，并可計算出起始点的坐标。

矿山测量暂行技术規程指出：用此法进行定向时，应移动仪器先后进行二次，以二次测量平均数作为最后結果，二次測量值之差不得超过 $\pm 3'$ ，也就是說一次定向的中誤差为 $\pm 42''$ 。这个要求是过高的，很难达到。苏联盖尔曼（Д.З. Гельман）的研究指出，把經緯仪置放于两垂綫連綫的中誤差不会超过 $\pm 3'$ ，經緯仪串綫及測速接角的时间只需15~20分鐘（这在技术相当熟練的情况下才能达到此速度）。由此可见这种方法比連接三角形法要优越，内外业的时间都能节省一些。然而，經緯仪位置确定后，設立測站的工作是比较困难的。

在巷道布置有限的情况下，上部及下部水平都要安設經緯仪进行瞄直工作（如图8）。瞄直工作可以先在上部水平进行，左右移动一个垂球綫位置使經緯仪中心和两垂綫在同一垂直平面內。然后在下部水平移动經緯仪进行瞄直。

在用本法进行定向时，两垂綫之间的距离应尽可能的大，而測点不能离垂綫太近，否則不是使瞄直不易进行就是使方向誤差增大，因为仪器离垂綫愈近，設立C点的誤差对 β 角值的影响也愈大。一般說来，經緯仪距离垂綫10公尺以上是必要的。

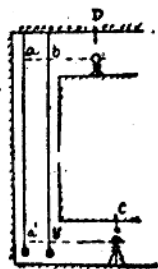


图 8 串綫法之二

串綫法的历史相当悠久，由于它的操作简单，因此在我

国矿山中应用还是不少的。

所谓“对称连接法”是不采用测角仪器的，而是量取一些垂距值以进行方向变换的计算。其原理如图9所示。

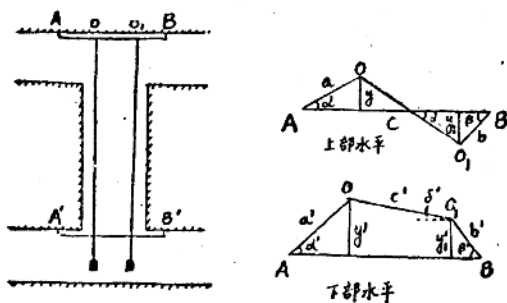


图9 对称连接法

设A, B为导线点，坐标及方向为已知，今欲通过天井进行定向以求出下部水平之起始边方向角(A'B')。在测量时，先在A, B间拉起细绳或金属丝，然后在天井中挂上垂球线O及O1。再在下部水平A'和B'间拉起细绳或金属丝，二垂线应尽可能靠近A、B及A'、B'，而O与O1之距离愈大愈好。用钢尺丈量垂线至测点的水平距离a, b, a'和b'及垂线间距离C和C'，并用小钢尺或带公厘刻划的直角三角板量垂距y、y1、y'和y'1。

有了这些数据我们就可以进行方向及坐标的计算，今以上部水平的计算为例来说明。

$$\sin \delta' = \frac{y + y_1}{C};$$

$$\sin \alpha = \frac{y}{a};$$