

全國測繪科學技術經驗交流會議

資料選編

水工隧洞及矿山巷道測量

煤炭工業出版社

内 容 提 要

本书介绍了隧洞测量及矿山测量方面的几篇经验。其中包括隧洞测量及施工测量；大巷、竖井贯通测量；急倾斜巷道的角度测量；经纬仪“基座三位置”测角法；井下縱长视差导线测量；经纬仪定倾斜巷道倾角等。

本书适合矿山测量及隧洞测量工程技术人员阅读。

1288

全国测绘科学技术经验交流会议资料选编

水工隧洞及矿山巷道测量

会议资料选编委员会编

水利水电建设总局勘测处程元庚审校

•

煤炭工业出版社出版(社址：北京东长安街煤炭工业部)

北京市书刊出版业营业许可出字第 084 号

煤炭工业出版社印刷厂排印 新华书店发行

•

开本850×1168公厘^{1/32} 印张3 插页2 字数61,000

1969年11月北京第1版 1969年11月北京第1次印刷

统一书号：16035·952 印数：0,001—2,000册 定价：0.43元

出版說明

一九五九年二月在武汉召开的全国測繪科学技术經驗交流會議广泛地交流了各方面的先进經驗和技术革新成就。为供全国測繪工作者学习先进經驗的参考。今由大会秘書处組成編輯委员会，按专业編选汇集，予以出版。

本册介紹了水电站隧洞測量及施工測量；大巷、豎井貫通測量；急傾斜巷道的角度測量；經緯仪“基座三位置”測角法；井下縱长視差导綫測量；經緯仪定傾斜巷道腰綫等經驗。

为加快出版時間，本資料选編由測繪、建筑工程、水利电力、煤炭工业等四个出版社协作出版。

目 录

出版說明

一、××河二級水电站隧洞測量总结·····	1
二、××县××隧洞測量放样經驗介紹·····	9
三、3650米大巷及豎井貫通測量工作总结·····	18
四、甲矿豎井貫通測量技术总结·····	44
五、急傾斜巷道的角度測量·····	60
六、經緯仪“基座三位置”測角法·····	63
七、井下縱长視差导綫測量方法介紹·····	75
八、利用經緯仪測定傾斜巷道的腰綫工作·····	81

一、××河二級水电站隧洞測量总结

云南水利电力厅

(一)工程概述及测量的要求

××河二級电站是靠近水库的地下式厂房电站，厂房枢纽位于水槽子左岸，它包括以下几个工程：有二个豎井式高压水道，深70米，上端与进水口相接，下端与厂房蜗壳相接；有一个运输豎井位于厂房上游面，深89米，与豎井相連有一座地下主厂房，高25米，寬10米，长25米。在厂房的左边有一个深98米的旁通豎井水道，与厂房之間有一个廊道相通，厂房的下游接尾水隧洞，此洞长1580米。此电站除以上工程位于地下外，其它如副厂房、进水口及变电站等均位于地面。各工程相关之平面位置见图1a、b。

从施工程序决定隧道之貫通位置，在旁通水道与尾水隧道交接处K点，平面貫通与高程貫通誤差，要求分别为 ± 20 厘米与 ± 10 厘米。

(二)旧有控制不能利用

××河勘测队原布設的三等三角鎖，只为滿足初步設計阶段施測地形图之用，其图形为单三角鎖，长共120公里。設四条基綫。基綫之丈量系用普通鋼尺进行，虽曾在各基綫施測过天文点，但未采用，各基綫长未投影在同一平面高程上，平差后精度未达三等。至于布满全河流的四等插入点，多系采用悬空三角形，精度更差。更由于当时工程方案未定，隧道进出口具体位置无从考虑。如利用原三角点作隧道貫通之用，勢必要

加密若干补点，貫通誤差估算在1米左右，此为隧道貫通所不允許的。所以决定从新布設貫通施工用的三角網，为了使坐标系統与勘测設計一致，用旧有二点作起始方位，一点作起算坐标。

原三等水准網成一长200公里之閉合环，經检查其間一段，就差80厘米余，精度太差，亦难利用。故亦新建支綫水准，取用原水准点作起算高程。

(三)新控制網的建立

1. 改建情况：根据隧道长度和貫通要求，建立三等三角網和二等水准点綫路。选点以尽量能直接觀測隧道洞口为目的。在尾水隧洞出口附近布置了一个多边中点形，由两个小組分別觀測，为适应隧道工程在7月1日正式施工，遂利用多边中点形加一級使用，又因水槽子受地形限制，再加一級为豎井进水口放样之用，当时因技术水平和时间的限制，未作控制網图上設計。选点情况如图2所示。

2. 基綫丈量：当时沒有鋼鋼基綫尺，是用No云1普通50米帶狀鋼尺丈量，洞內导綫量距工具均經此尺檢定，拉力用彈簧称15公斤，25米处設托桩，仅加温度、尺长、傾斜三項改正。基綫全长1032.9米，又量2測回，表面相对精度达1/600,000。

3. 觀測：用蔡司010經緯仪全圓方向觀測，两个小組各測8測回，取其平均值作最后觀測結果。

4. 平差計算：系采用鎖部的簡略平差，不是严密的平差，而且点位中誤差也未計算，因此未进行貫通測量的精度估算。

5. 新布設之二等水准点系以勘测队之四等水准点B.M.2为起算数据，自进水口至出水口測設二等水准綫路，仪器用威特N₃水准仪和鋼鋼水准尺。

(四) 施工放样使用的方法、仪器及实际贯通情况

各豎井及隧道出口点均系用悬空三角形、双向观测，为检查起见，曾作二次观测，豎井之深度放样用鋼尺，作业水准点就在豎井口附近，亦为二等水准点。

水平隧洞放样簡易，因系直伸形式隧洞每50米埋一施工导线点，同时也作水准点之用，每150米設基本导线点，开挖放样方向用正倒鏡法，腰綫用水准仪标出，求取得中心后繪断面規格綫，曲綫放样用直角坐标法。

实际貫通情况：高程貫通閉合差+6.8毫米。此系經由旁道豎井传递高程与尾水隧洞出口引入之高程閉塞差，从数值上証明情况良好。

平面貫通誤差：沿尾水隧洞中心綫之縱向：14.2厘米；橫向10.7厘米（貫通相遇点見图1之K点）。

洞內高程控制点用威特N₂水准仪观测，供开挖之腰綫放样用意大利之“OPTI GAL THEODOLITE”水准仪。前者按四等精度要求布設，三絲讀数中絲計算，从貫通情况看来，完全符合要求。

洞內照明，用具有电綫与插头的电灯，施測时，扶尺者就近插接。洞內平面控制之基本导线，用蔡司010型經緯仪測角；距离用云5普通鋼尺悬空丈量，量綫架及托桩架均用自制之鉄質活动脚架，用弹簧称拉力，讀数至毫米。

今将豎井高程传递、平隧洞內水准測量、豎井方向投遞、平隧洞內中心綫定向，簡單地分述于下：

1. 豎井高程传递：高程之传递是用鋼尺含接度量，并用分規量其含接間长度。将一端悬挂井架上，另一端悬挂重錘吊在井下，其重量应視豎井情况而定，使鋼尺稳定为止不可过重。鋼

尺均經檢定過的，讀數見圖3。為了準確可靠起見，上下同時讀數，為此于井上、井下安裝電話機，雙方同時在鋼尺上用三絲讀數，再前視水準點上所立的尺進行讀數。溫度問題較為重要，因井上井下溫度差異甚大，因此讀數採取分層同時讀數，精度至 0.1°C ，取各數之平均值作為尺長溫度改正之溫度中數。

改正數須考慮下列各項：溫度改正數、鋼尺本身重量而使鋼尺伸長的改正數、吊鐘超重改正數、尺長改正數，另尚需加水準尺零點差改正數。

豎井旁之作業水準點要經常檢查，視其是否受爆破震動之影響。井下埋設之水準點系用偏鐵折成角鐵，頂上焊接一半圓球狀鐵塊，以便置尺；角鐵斜埋岩石中，以水泥凝之，埋點數需在3個以上，免其受爆破之損毀時全部返工。

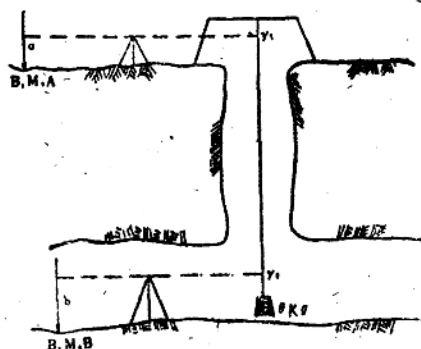


圖 3

圖3中，B, M, B的高程為：

$$H_B = H_A + a - \{ (r_2 - r_1) + \Delta l + \Delta t + \Delta K \} - b,$$

式中 Δt ——鋼尺溫度改正數；

$$(\Delta t = \alpha \cdot l(t - t_0); \alpha = 0.0000125; l = r_2 - r_1);$$

Δl ——尺長改正數；

ΔK ——鋼尺伸長改正數。

因鋼尺之檢定在地面上系置平進行的，而在豎井中系豎向進行，因此需加重錘 Q 超重及鋼尺本身重量引起伸長之改正數 Δl_1 及 Δl_2 ，而 $\Delta K = \Delta l_1 + \Delta l_2$ ，

$$\Delta l_1 = Q \cdot L / E \cdot F,$$

式中 Q ——重錘超過置平檢定時的重量(公斤)；

$L = r_2 - r_1$ (厘米)； E ——金屬之彈性係數，對於鋼而言， $E = 2000000$ 公斤/厘米²； F ——鋼尺之橫斷面積(厘米²)。

$\Delta l_2 = r/E \cdot L^2/2$ (r ——鋼之比重， $r = 7.8$ 克重/厘米³)。計算 B 點高程除考慮上式外，尚需加水准尺零點差改正數。

2. 平隧洞內水准測量：自尾水隧洞出口水准點(二等點)以支水准形式，伸展入洞內，至厂房部分與豎井之下水准點閉合，水准點與導綫點合一，每隔100米有一點，水准之等級為四等，用三絲法作往返測，每隔一定時間重複施測一次。

3. 豎井方向傳遞：由於隧道的貫通部位在 K 點，隧洞的開挖主要是從尾水隧洞出口向厂房方向挖進，而各豎井則因出渣慢，故主要用作解決地下厂房頂拱與下部的貫通（指在測量的使用上）而豎井至厂房的距離只有30餘米。為此，遂直接將豎井下平洞方向，用兩根鋼絲直接傳遞，其一端繫於井面絞車上，絞車上有前後左右微動螺旋，其下一端懸挂80餘公斤之重錘，錘置於油筒內，使之迅速穩定，見圖4。井上架一經緯儀於 A 點瞄准 B 點（ A 、 B 點是豎井中心之附桩），指揮掌握絞車者使兩鋼絲與 AB 之垂面重合，並隨時加以檢查校正。每次做好此項工作後，即用電話通知井下工作者。井下亦架一經緯儀，移動經緯儀湊合至儀器之光軸與兩鋼絲同在一垂面內，精確地使水泡居中，用光學投點，定出1點，而後定出2、3點，儀器需事先經過校正，採用這一方法的結果是兩個高壓平洞貫

通时横向誤差只有6毫米。在方向之精密投遞以前，曾做过一次概略的定向，并預埋1、2、3点之标石，其法乃在井下不用仪器及油筒，而用弦綫靠攏鋼絲，定出两个方向点于井壁，壁上打两鑽孔，拴一木楔，再依方向綫打釘子于其上，每次供高压平洞开挖时用錘球綫定向，鋼絲間之最大距离以不碰井壁为限，为检查起見，制一厚紙圈沿鋼絲放下，能沉至井下則示鋼絲未曾碰壁。此外，尚于井上、井下量取鋼絲間距离作检查。井上量附桩至鋼絲之距离；井下量鋼絲至1点之距离。則井下坐标，就可与井上成一系統了。

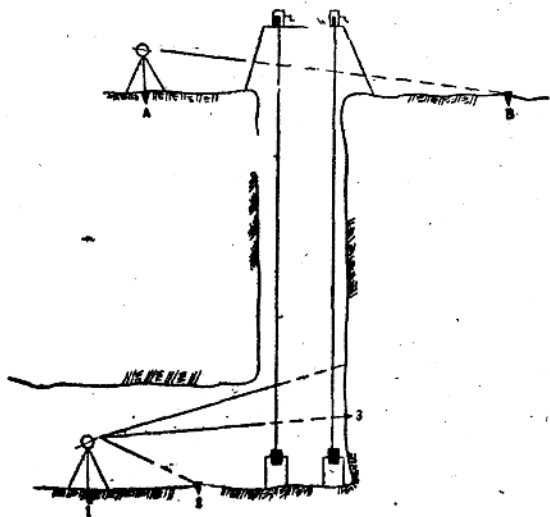


图 4

4. 平隧洞中心綫定向：在开挖隧道时，在出口点将隧洞方向綫放插在地面，并延伸至工作面的另一方，用正倒鏡法掌握直綫开挖，进洞后开挖用施工导綫点，最后定向用基础导綫

点，在隧洞出口点测角放样中綫，須經点位改正，而后仍再施測，測角中誤差在 $\pm 4''$ 內，量距用悬空丈量。

由于隧洞的开挖、衬砌是平行作业，先衬砌边墙、頂拱，最后为底板。洞內鉄道敷設于兩側，因之导綫沿隧洞中心綫敷設于底部，每50米設临时导綫点，每150米处設永久水泥桩，中心埋鉄标心，标心頂面是一长方形平板，在正倒鏡定桩后測角，并經点位改正至中心綫上供衬砌使用。

(五) 几 点 經 驗

1. 貫通良好获得的原因:

1) 洞內基本导綫的精度提高，測角用蔡司 010 型經緯仪，測角中誤差在 $\pm 4''$ 之內，距离系悬空丈量，加温度、傾斜、尺长等改正。

2) 洞內量距的鋼尺，系用丈量基綫的鋼尺鑑定的，使洞內、外长度一致。

3) 隧道之平面控制虽在三等三角網下加了两級，并未进行整体平差，但基綫早用作三角網的起始边(即无基綫網)图形不坏，測角精度又高，因之点位中誤差不大。

4) 洞外水准系用威特 N_2 水准仪施測，精度达二等；洞內水准系用威特 N_2 水准仪，按三絲法施測，精度达四等，豎井之高程传递亦正規地加了若干改正。

2. 在豎井中心測定后，立即將隧洞中心綫放出，作 2 附桩，并精密量其距离，而与隧道中心綫垂直的附桩，可以不量距离。附桩宜設于距中心 25 米处，再距 5 米处增設一組附桩，共 8 个附桩，均用混凝土鋼标心埋設，作永久点用。豎井开凿后，中心桩消失，此后則用附桩交会出来，因此附桩点需注意保护，我們在浇注时不拆模板，頂高出标石面 0.10 米，上面并

加盖，以保护混凝土标石。

3. 为便于在洞内悬空量距，我們自制了量綫架，其形状与直腿的水准脚架同，所异处在架头为一圓形平鉄板，靠圓周处有四方形釘孔，便于其上放置鉛皮，量距时导綫点用光学投点于一端，即將量綫架置于經緯仪脚架内(互不接触)用光学对点器投点，另一端則用經緯仪置放約成 90° 的两个位置正倒鏡投点，悬空丈量的速度提高了。

4. 托桩的高低用弦綫来确定，在两量距桩頂間拉直弦綫，于25米处置放脚架托桩；这样在确定托桩的时间上，大为节省。因为弦綫重量极微，拉紧后能成直綫，悬垂弧距极小，曾用水准仪定托桩与之比較，两者只差几个厘米，洞外大地控制之基綫定托桩时，亦用弦綫来定，簡化了定立托桩的工序，提高了工效。另外将托桩打偏些，用10厘米长的釘子釘于其旁作托点，这样既使托点减少摩擦且又省时。

5. 隧洞内測量照明，多因无220伏綫路，遇洞内水汽大，即使在50米处成象也不清晰，因洞内电源綫都是36伏，我們是自洞外接入洞内一条220伏专綫，用200瓦灯泡，并在灯泡后置灯罩，使光綫集中，但必須十分注意用电安全问题。

6. 对水工部分的圖紙进行核算是十分必要的，本来平面图上隧洞中心綫之方位与边长、頂角点偏角等部有，測量員本可不必复核，但慎重起見，測量工作者对水工部位平面图进行細致的核对，并注意工程設計与施工程序，結果发现尾水隧洞轉折点錯1.5米，折角錯达 $30'$ 之巨；如按原圖紙所說数据放样，势必造成不良后果。

7. 在机电安装阶段，埋桩之凝固时间往往影响工作，后掺入适量氯化鉀于200号水泥中，由8—12小时提前到2个小时，最好用氯化鈣，价值賤些，当时缺乏此物，所以用氯化鉀。

二、××縣××隧洞測量放樣經驗介紹

湖南省水利水電局

××水庫工程是由 55 米高的土壩，405 米長的輸水隧洞，151 米長發電孔，48 米高的調壓塔，31 米深的啟閉室，以及引水附壩和溢洪道等工程組成。

參加此次施工測量的有技術幹部 2 人，測工 3 人，臨時工 2 人。從控制至細部放樣，摸索了一套經驗，僅供今後隧洞測量的參考，茲介紹于下：

(一)控制工作

因輸水隧洞及發電孔有彎道，調壓塔和啟閉室的相對位置要求很嚴格；要完成這任務，達到設計的要求，必須設置足夠精度的平面及高程控制。本工程平面控制採用三等三角網，高程控制採用四等水準。

1. 平面控制：

三角網主網由三個四邊形組成(圖 1)，設基線一條，三角網中的 $\Delta_3 - \Delta_4$ 邊固定在隧洞的中綫上。這樣使三角網與隧洞中綫發生了聯繫，實地丈量壩軸與隧洞中綫交點 D 至 Δ_3 的距離。 $D - \Delta_3$ 的距離即為 Δ_3 相對於隧洞中綫的桩號。

三角網的觀測用威特 T_2 經緯儀全圓方向觀測四測回，用最小二乘法進行嚴密平差。經平差後，推算出各三角形邊長。以 $\Delta_3 - \Delta_4$ 邊方位角為零， Δ_3 的桩號做為起算坐標，則所算得各三角點的坐標均與隧洞中綫發生聯繫，即三角點縱坐標的增值就是隧洞中綫桩號的增加。

完成三角網的計算後，遂即進行輸水隧洞各主要桩位的坐

标计算。假设输水隧洞中线与发电孔中线为一导线网，导线网的一条边 $1+2.57-1+62.59$ ，是与三角网 $\Delta_3-\Delta_4$ 相重合，即做为联结边。根据设计平面图，隧洞中线各弯道半径圆心角等数据，利用导线方法，求得各主要桩位的坐标。例如调压塔E隧洞进口 $0+28.40$ 及出口 $2+65.75$ 等的坐标，因为隧洞的坐标

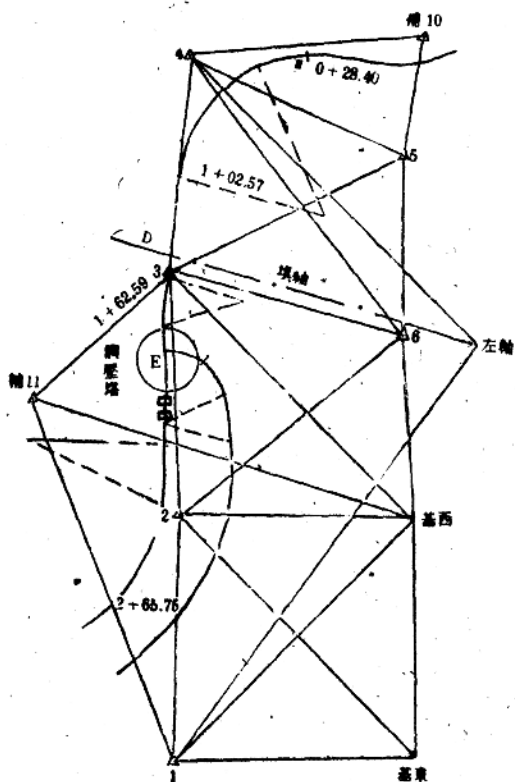


图 1

与三角網的坐标是一个系統，所以用前方交会法可求得其位置。

为了爭取時間，輸水洞的上游、下游、調压塔、启閉室及发电孔，五个工作面，須前后同时开工。測量工作的任务是保証开凿方位的正确，按設計的要求到預定的地点相接，必須于輸水洞的上下游、发电孔的进口、启閉室及調压塔，均設有控制点，做为各部分进隧洞后的主要控制。这些控制点的精度要求比較高，內业計算反复核算多次检查；外业一定要用三个方向綫以上进行交会。測量結果調压塔中心偏差为 5 厘米，发电孔两端相接相差为 2 厘米，輸水洞上下游相接相差为 3 厘米，启閉室亦相差 2 厘米。

2. 高程控制：根据工程情况，輸水洞全长只有 400 米，我們采用四等水准做为整个工程的高程控制，認為能滿足要求。根据施工的要求，布置水准点的位置。为了方便工作，于所有隧洞进口的控制标上埋有水准标点，高程控制和平面控制同样的重要，在施測、計算方面，进行了多次的检查，認為完全无誤后才正式使用。

(二) 隧洞內的中綫測量

隧洞的中綫控制主要靠导綫来完成，导綫点的間距一般以 10 米左右为宜，位置要注意到設站是否安全，是否妨碍交通，以及通視等方面。

导綫測量用威特 T₂ 經緯仪观测两个測回，距离用鋼尺丈量往返各一次。导綫因为是伸展的单导綫，沒有与高級控制点閉合，所以在測量計算上要特別細心，多检查，我們为了防止万一发生差錯，用不同的綫路来检查导綫，經過 1、2、3 到 4 点，为了检查 4 点的坐标是否正确，用另一条路綫，亦从高級点經

过 1、5 到 4 点。如果所求得坐标完全正确，则認為所有导线点沒有問題(图 2)。

1. 直线部分：隧洞内中綫为直线比較容易，根据导线点的坐标及隧洞中綫点的坐标，可求得导线点至中綫点的距离及方位角、計算公式。

已知导线点的坐标为 Y_1 及 X_1 ，中綫点的坐标为 Y_A 及 X_A 。
求导线点 1 到中綫点 A 的距离及方位角：

$$tbc = \frac{Y_A - Y_1}{X_A - X_1} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = M,$$

以 M 查三角函数表即可求得方位角。

距离

$$S = \frac{\Delta Y}{\sin \theta},$$



图 2

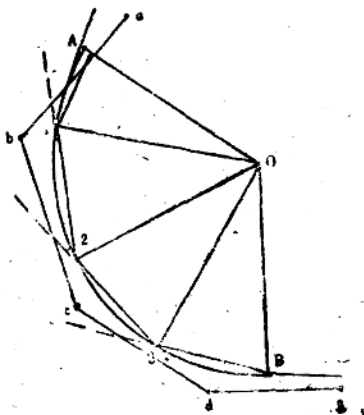


图 3

求得中綫点A后，設站于A点后視导綫点1，轉动度盘使其視綫与隧洞中綫一致，为以后控制中綫方便，于隧洞排架頂上打若干点子，用石灰水标记。

2. 弯道部分：隧洞的弯道測量比較困难，我們采用以下方法进行：如图3的曲綫AB分为四段，即 $\overline{A1} = \overline{12} = \overline{23} = \overline{3B}$ ，求出 $\overline{A1}$ ， $\overline{12}$... $\overline{3B}$ 的距离及方位角，利用导綫点b求得弯道点1，設站于1点即可求得1—2的方向綫。因为1—2是尚未开凿的岩石，則倒轉鏡筒于1—2的延長綫上釘几个固定点，作为隧洞开凿时控制1—2点的方向之用。同理可控制其他綫段。

曲綫自A点开挖到B点后，进行一次检查，因为用上述方法測量自A到B可能誤差較大，必須經检查校正后，再繼續向前开凿比較好。

(三) 隧洞断面开凿时的測量放样

隧洞断面开凿每爆破一次要測量一次，开始时没有一个适当的方法，花了不少時間，还不能滿足施工的需要，后来經過大家想办法，創造一件工具，

解决了这个问题。如图4所示：由A、B两条木尺組成，A尺上穿有許多小孔，B尺一端亦有一孔，使其长度等于隧洞断面半径（如断面为圓形）。使用时，将A尺立于隧洞中綫上（将以前釘好的中綫点挂三个鍾球，一人站在后面用目測使其A尺立准），再将隧洞圓心

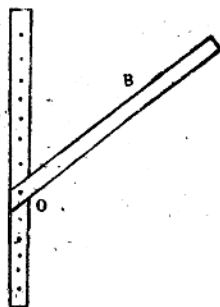


图 4