

隧道工程

(下冊)

原著者：Károly Széchy

譯述者：段 品 莊

中國土木水利工程學會出版

隧 道 工 程

(下冊)

原著者：Károly Széchy

譯述者：段 品 莊

中國土木水利工程學會出版

版權所有

翻印必究

隧 道 工 程

(下冊)

原著者：Károly Széchy

譯述者：段 品 莊

出版者：中國土木工程學會

總經銷：科技圖書股份有限公司

台北市復興南路一段360號七樓之3

電話：7056781•7073230

郵政劃撥帳號：15697

七十一年二月初版

特價新台幣140元

隧道工程

目錄

第五章 隧道測量

5.1 隧道口外定測	1
5.11 平面定測	1
51.11 短隧道之定測	1
51.12 長隧道之定測	3
51.121 依據國家已有之大地測量三角網作隧道之定測	3
51.122 根據特種三角網作長隧道之定測	6
51.12 測站之標記	10
51.13 定測之細節	10
51.14 增進準確性之方法	12
51.15 豎曲線之定測	14
5.2 隧道內定測	16
5.21 平面定測	16
52.11 地面參考網	16
52.111 參考網之種類	16
52.112 改進參考網點	18
52.12 轉測線向至天井底	22
52.121 錘線法	22
52.122 視準儀法 (Optical plumb)	30
52.123 定向之其他方法	32
52.13 地下方向之定測	35
52.14 增加定測精確性之可能性	38
5.22 垂直定測	38
5.23 區段襯環及盾構之定測	40

52.31 區段襯環之定測 41
52.32 確定盾構位置 44

第六章 隧道施工與設計

6.1 堅石隧道之開鑿 49
6.11 堅石鑿道開鑿之方法 49
6.1.11 機械鑽孔與開鑿 49
6.1.12 炸藥之使用量及爆炸技術 51
6.12 無需支撐之全面開鑿法 60
6.13 需要支撐之全面開鑿法 64
6.1.31 無永久襯砌之臨時支撐 65
6.1.311 鋼結構支撐 65
6.1.312 木支撐 74
6.1.313 鋼筋混凝土結構支撐 76
6.1.314 石栓法 76
6.1.315 噴漿處理之支撐 84
6.1.316 灌漿法排除水患 86
6.2 中等堅實岩石及地層之隧道開鑿法 87
6.21 較小獨立導坑依順序相繼開鑿與襯砌之隧道開鑿法
(古老的或採礦開鑿法) 87
6.2.11 導坑範圍及施工 93
6.2.111 木支撐導坑 95
6.2.112 鋼支撐導坑 101
6.2.113 預鑄鋼筋混凝土支撐 103
6.2.114 污工襯砌之導坑 105
6.2.12 垂直向上開鑿及鑿井 107
6.22 一次完成開鑿法之隧道施工 107
6.2.21 縱梁(英國)法 108

62.22	橫梁(奧國)法 (Cross bar method)	113
62.23	間隔環法	115
62.24	中央開鑿法	116
6.23	多階段標準的開鑿法	116
62.31	托底支撐式(飛拱)或克利特式開鑿法	116
62.32	心體後挖式或德國式開鑿法	125
62.33	意大利式或仰拱式開鑿法	129
62.34	混合開鑿法	132
6.24	近代開鑿法——採用木與鋼混合肢件支撐	134
62.41	鋼襯板開鑿法(中、縱壁法)	135
62.42	全部採用舉重器安裝鋼襯板開鑿法	135
62.43	採用襯板與加勁肋之開鑿法	136
62.431	此法之用法芝加哥地鐵道	136
62.432	襯板法	137
62.433	鋼支撐邊導坑法	139
62.44	Kunz 法	140
62.45	Cologne 法	142
6.3	鬆動土壤及水道下之隧道開鑿法	143
6.31	沉箱法隧道之施工	149
63.11	採用挖掘室法下沉沉箱	149
63.12	浮式沉箱法	152
6.32	盾構隧道施工法	154
63.21	盾構結構與尺度	155
63.22	盾構隧道施工法之主要工作程序	174
63.221	開挖	175
63.222	清渣(Mucking) (清除廢土石之運輸)	178
63.223	盾構之前進	180
63.224	隧道襯砌之安裝	192

63.225	灌漿、塞縫、與排水	192
63.23	盾構隧道之襯砌塊	211
63.231	鑄鐵襯砌塊	212
63.232	結構鋼襯砌塊	219
63.233	混凝土塊	220
63.234	鋼筋混凝土襯砌塊	227
63.235	預力(先拉法與後拉法)混凝土襯砌塊	239
63.24	壓縮空氣法(充滿法)與土壤穩定法之隧道施工	241
6.33	特種地下建築物及鐵路車站	253
63.31	交通井及通風井	253
63.32	連接隧道(通風管道)	265
63.33	地下大廳(防空大廳、電源室及地下變壓站等)	267
63.34	地下車站及鄰接的公用設施與交通道路之位置	272
63.341	地面下地下車站	272
63.342	深理地下的車站	274
6.4	大都市與公用事業淺隧道之施工	286
6.41	採用牆導坑法邊之施工	289
6.42	行人地下道、公路及公用事業地下道特別施工法	289
64.21	維也納地下道	292
64.22	布達佩斯馬蓋爾橋	293
64.23	布達佩斯迪米托夫廣場地下道	294
6.43	涵管與污水管之施工採用千斤鼎擠管法	295
6.44	預鑄節間之開壕被覆施工法	300
6.5	隧道施工之安全措施及健康防護	303
6.51	安全措施	303
6.52	健康防護	304
65.21	石粉沉着病(因吸入過量之砂土而致之肺病)	304
65.22	沉箱病	305

第七章 隧道之修理、管理、與保養

7.1 保養與修理部門之組織與責任	309
7.11 隧道形狀之檢查	309
7.12 軌道排水與滲水之檢查	312
71.21 軌道檢查	312
71.22 布達佩斯地下道之檢查	313
7.13 襯砌與軌道之檢查及保養	314
7.14 保養工作之組織	316
7.15 保養設備之儲存	316
7.2 隧道之腐蝕與修理	316
7.21 隧道腐蝕的原因	317
72.11 材料與工作技藝不良之腐蝕	317
72.12 水浸蝕	317
72.13 烟氣之浸蝕	318
72.14 因氣候而發生之腐蝕	319
72.15 衝擊損壞	319
72.16 過量載重之損傷	319
72.17 壓力隧道之腐蝕	320
72.18 鐵路軌道之損壞	320
72.19 電纜之保養	320
7.22 隧道之修理與重建	320
72.21 排水系統之修理	321
72.211 目的在阻止水於隧道以外之修理	321
72.212 控制排水法修理	327
72.213 機械通風法修理	329
72.22 襯砌之修理	329
7.23 隧道之修改與重建	331

6 隧道工程

72.31 爲行車需要而重建	331
72.32 腐蝕或外來影響而重建	334
72.33 隧道改造實例	336
72.331 賽莫林隧道 (Semmering tunnel)	336
72.332 波匹浦隧道 (Bo-Peep tunnel)	337
72.333 坎德萬 (Kandevan) 公路隧道	339
72.334 皮爾賽斯 - 巴羅斯 (Pereces-Baross) 隧道	340
7.3 隧道施工之地面下陷	341
7.31 地面下陷之估計	341
73.11 根據理論估計地面之下陷	341
73.111 經驗公式	341
73.12 實際觀察估計之下陷	349
7.32 地下道施工建築物下陷之量計	350
地名中英對照表	355
工程名詞中英對照表	359

第五章 隧道測量

隧道測量是工程測量中最困難的一章，在很多方面與地面測量不同。問題是在於要求高度的準確性。在地下測量時，受施工的妨礙。視線的不良，及難於到達等。

需要高度準確，是因為隧道定測，總是在地形環境條件最壞之情形下，自一端採用開口導線測量的。

設方位角必需經過氣閘自外轉入壓縮空氣區中，則量測是更為困難。深埋隧道之另一困難，是方位角應由地面經天井轉測至 30~40 m 之地下，採用光學的垂線，或機械的垂線方法，如此欲“固定”之各點，都是在移動，至少在某一短時間內是在移動的。

測點之測定，亦與地面測量不同，因為測點是置於頂上的。經緯儀之設立，是在測點之下而非在測點之上。

所有這些不利因素，對於閉合差都有影響。欲使隧道定測更精，必需要地面三角測量，作為基礎。

5.1 隧道口外定測

5.1.1 平面的定測

隧道在地面上之測量，可以直接依據地面大地測量三角網之標點作定測。

5.1.1.1 短隧道之定測

大多短隧道之定測，可以兩點不能互見之直線測量法測量之，如圖 5-1 所示。

設隧道起於 K 點止於 V 點。該兩點也是位於 A 及 B 兩點所成直線上之

2 隧道工程

點。第一步置兩測桿於 A 及 B 點之間。由該兩桿同時可以見到 A 及 B 。使 3 點位於 2-B 線上，再使 4 點位於 3-A 線上，再使 5 點位於 4-B 線上。如此反復對線，最後可使兩測桿在土丘上同時在 A 及 B 線上，即求得此直線矣。

設將兩測桿置 $A-B$ 線間，仍是不能同時看到 A 與 B 時，則另添加一第三測桿，置於兩測桿之間，使能經第一測桿看到 A ，經第二測桿看到 B (圖 5-2)。置測桿 1 於 2-A 及 3-B 線上，然後再將測桿 1 移置於 2-3 線上，成為 1'；再將 2 移置於 1'-A 線上成為 2'；將 3 移置於 1'-B 線上成為 3'；然後再將 1' 移置於 2'-3' 線上成為 1''。如此反復對測，直至三

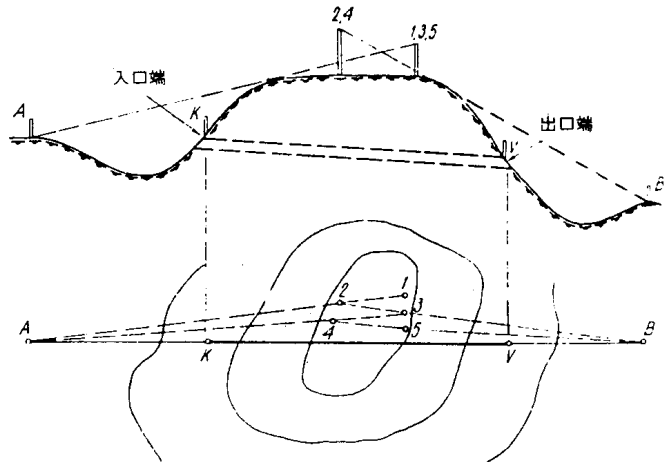


圖 5/1. 短隧道定測採用逐步對線法圖



圖 5/2. 短隧道定測藉標桿之助逐步對線法圖

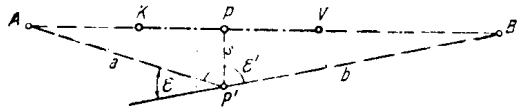


圖 5/3. 短隧道定測採用測量角度法圖

個測桿在一直線上為止，即得所需要之直線矣。在 A 、 B 、 K 、 V 各點，置永久樁位，使隧道施工期間內，隨時可以參考。

上項測量，亦可用丈量距離與測角度法測量之。 K 及 V 點（圖 5-3），應位於 A - B 基線上。經已量得 a 與 b 之距離 並已測得角 ϵ ，距離 s 可用下列公式計算之

$$s \cong \frac{ab}{a+b} \epsilon, \quad (5.1)$$

上式是一約略公式，在 $(a+b) \cong \overline{AB}$ 與 $\sin \epsilon \cong \epsilon$ 時，是適用的。重複此步驟， P 點可正確測定。因為本法需要丈量距離，故較前兩法為費力。利用視距法測距離，則可免去丈量。

51.12. 長隧道之定測

隧道長有數 km 者，亦可採上述方法作定測，但所有對線應使用儀器為之。

隧道定測亦可與國家已有之大地測量三角網，取得連繫關係，或以特為隧道定測而單獨所測之導線為依據亦可。

51.121. 依據國家已有之大地測量三角網作隧道之定測

設 K 及 V 為隧道中心線在地面上之兩已知點（圖 5-4）。 KV 及 VK 方向，必需在 K 與 V 點予以分別確定。

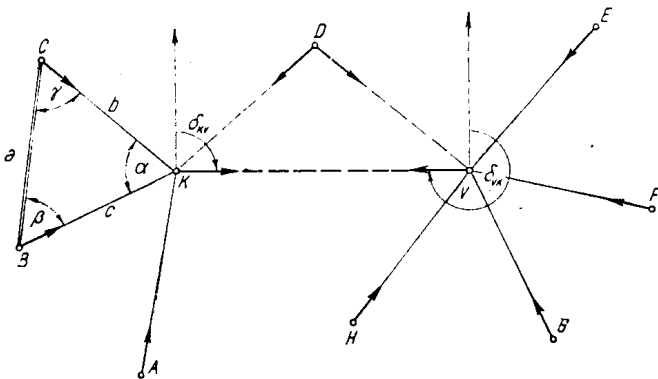


圖 5/4. 隧道中線定測採用地面上大地測量三角網兩已知點之測量法圖

4 隧道工程

第一步 V 及 K 點之座標，依照國家座標制，根據 A 、 B 、 C 、 D ，及 E 、 F 、 G 、 H 各點，採用交點法，予以確定。角度應量得平面圖之兩個位置之度數，(a) 方位角，或 (b) 內角。

(一) 採用方位角法，至 K 及 V 之方位角，應以至 A 、 B 、 C 、 D 及 E 、 F 、 G 、 H 方位角為參考，分別確定之。此可如下進行：將經緯儀設立於 A ，將望遠鏡對向至少兩已知點 (S 、 Q) 及 K 點。設 δ_{AS} 與 δ_{AQ} 代表該兩方位角度。此項方位角度，亦可自座標 A 、 S 、 Q 計算之：

$$\delta_{AS} = \tan^{-1} \frac{Y_S - Y_A}{X_S - X_A} \quad \text{及} \quad \delta_{AQ} = \tan^{-1} \frac{Y_Q - Y_A}{X_Q - X_A}$$

設 l_{AS} 、 l_{AQ} ，及 l_{AK} 各代表以 S 、 Q ，及 K 為參考點之讀數。方位角 z_{AS} 與 z_{AQ} 可以下列公式計算之

$$\delta_{AS} - l_{AS} = z_{AS} \quad \text{及} \quad \delta_{AQ} - l_{AQ} = z_{AQ}$$

其平均值則為

$$z_A = \frac{z_{AS} + z_{AQ}}{2}$$

于是 AK 線之方位角為

$$\delta_{AK} = l_{AK} + z_A$$

K 及 V 之其他方位角，亦可自其他固定點，用同樣方法求得之。採用多於兩點，或測量在 K 點之角度，及 V 點之角度，可得到較多次之量計，用以調整座標，及增進其可靠性。

(二) 精確稍差亦可滿意時，則可採用內角法。本法僅取用兩已知點，與擬決定之點組成一三角形，並在兩已知點處，測其兩內角。(B 點之 β 角，及 C 點之 γ 角見圖 5-4)。 BC 距離可由座標計算得知， BCK 三角形之其他兩邊則為

$$b = a \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \quad \text{及} \quad c = a \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha}$$

BK 及 CK 線之方位角，則為

$$\delta_{BK} = \delta_{BC} + \beta \quad \text{及} \quad \delta_{CK} = \delta_{CB} - \gamma.$$

式中

$$\delta_{BC} = \tan^{-1} \frac{Y_C - Y_B}{X_C - X_B} \quad \text{及} \quad \delta_{CB} = \delta_{BC} \pm 180^\circ$$

K 之座標為

$$Y_K = Y_B + \overline{BK} \sin \delta_{BK} \quad \text{及} \quad X_K = X_B + \overline{BK} \cos \delta_{BK},$$

換一方式計算（校對用），則為

$$Y_K - Y_C + \overline{BC} \sin \delta_{CK} \quad \text{及} \quad X_K - X_C + \overline{CK} \cos \delta_{CK}.$$

設需要之精確性稍差亦可， K 及 V 點亦可用截線法求之。

KV 方位角： $(KV) = \delta_{KV}$ 用座標計算之：

$$(KV) = \delta_{KV} = \tan^{-1} \frac{Y_V - Y_K}{X_V - X_K}, \quad (5.2)$$

及

$$(VK) = \delta_{VK} = \delta_{KV} \pm 180^\circ.$$

將經緯儀立於 K ， δ_{KV} 可自己知點測知（ δ_{VK} 可在 V 點用相同方法測知）：

將經緯儀立於 K 、 A 、 B 、 C 、 D 各角度均可測出。平均方位角可以計算之。以 l_A 、 l_B 、 l_C 及 l_D 代表各角讀數，各個方位角則為

$$\begin{aligned} \delta_{KA} - l_{KA} &= z_A, \\ \delta_{KB} - l_{KB} &= z_B, \\ \delta_{KC} - l_{KC} &= z_C, \\ \delta_{KD} - l_{KD} &= z_D, \end{aligned}$$

K 點之平均方位角則為

$$\frac{z_A + z_B + z_C + z_D}{4} = z_K.$$

應測定方向之讀數為

$$l_{KV} = \delta_{KV} - z_K.$$

求 V 點時，可將上述步驟重複即可。應測定方向之讀數為

6 隧道工程

$$l_{VK} = \delta_{VK} - \bar{z}_V.$$

國家大地測量三角網，常常是不夠精確，用以作隧道定測，故各點在使用之前，應予校對過。精確問題在 5.14 節予以討論之。

51.122. 根據特種三角網作長隧道之定測

在國家大地測量三角網不夠準確時，長隧道定測，可根據特種三角網，或在條件較簡單時採用專測的導線。

有關專測之導線，計有兩種。第一種已知隧道兩端，而所不知者為 ϕ 及 ψ 角度（圖 5-5）。第二種已知隧道一端及一角 (ϕ)；其他一端 (V) 及另一角 (ψ) 不知，應予測定者（圖 5-6）。

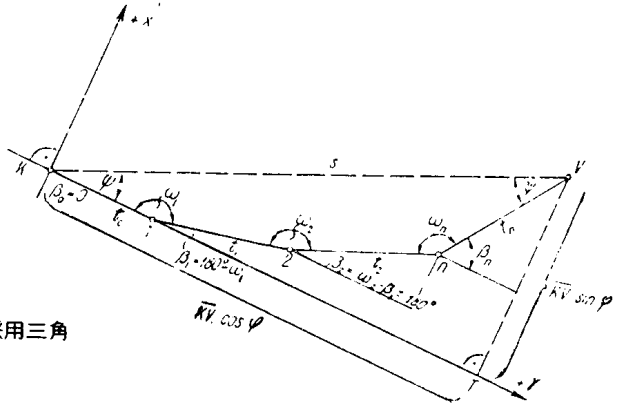


圖 5/5. 隧道兩端位置已知採用三角網法作隧道定測圖

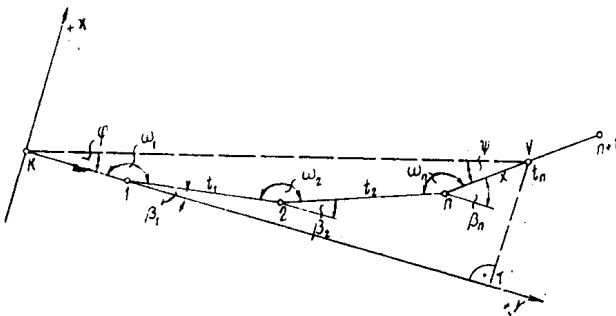


圖 5/6. 隧道一端位置已知採用特測導線法作隧道定測圖

在第一種案例，距離 $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ 及內角 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ 等均在工地量測之。自圖 5-5

$$\frac{\overline{KV} \sin \phi}{\overline{KV} \cos \phi} = \tan \phi = \frac{\overline{VT}}{\overline{KT}} = \frac{[t_i \sin \beta_i]_{i=0}^n}{[t_i \cos \beta_i]_{i=0}^n}, \quad (5.3)$$

符號與圖 5-5 中所用者同

$$\beta_0 = 0, \beta_1 = 180^\circ - \omega_1, \beta_2 = \omega_2 - \beta_1 \pm 180^\circ, \beta_n = \omega_n - \beta_{n-1} \pm 180^\circ,$$

ϕ 已知，則

$$\psi = n 180^\circ - \phi - [\omega_i]_{i=1}^n, \quad (5.4)$$

式中 n = 導線站點數目

在第二種案例，角度與距離，均需要照上所述予以量計。於是第一步先沿導線，確定 V 之位置。參考圖 5-6 及公式 5.3 (符號相同)，則

$$\tan \phi = \frac{[t_i \sin \beta_i]_{i=0}^{n-1} + x \sin \beta_n}{[t_i \cos \beta_i]_{i=0}^{n-1} + x \cos \beta_n},$$

未知數 x ，可用下式求之

$$x = \frac{[t_i \sin \beta_i]_{i=0}^{n-1} - \tan \phi [t_i \cos \beta_i]_{i=0}^{n-1}}{\tan \phi \cos \beta_n - \sin \beta_n}. \quad (5.5)$$

猶如在公式 5.4 求 ψ 角，則

$$\phi = (n - 1) 180^\circ - \phi - [\omega_i]_{i=1}^{n-1}. \quad (5.6)$$

隧道長度在 8 ~ 10 km，設國家大地測量三角網不夠準確時，即需要測定一特設的三角網應用。

對於此類三角網之獨立性，亦有兩辦法。

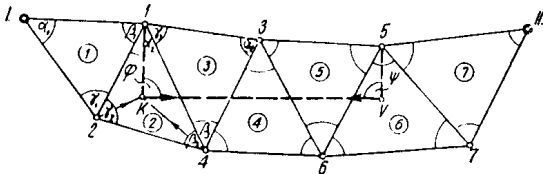


圖 5/7. 採用國家三角網上兩點作
· 隧道定測圖

第一辦法，此特設的三角網中之兩點，應為國家大地測量三角網中之兩點，且此兩點之線即是所選擇與要採用的。如此即可無需要作基線之丈量了，但三角形之所有三個角都要用經緯儀測量。該經緯儀度數之精確度，應準確至1"，並至少應以水平盤固定於四個不同位置測量角度。最好沿隧道中心線設立三角網。

茲假設三角網如圖 5-7 所示。I 與 II 兩點是屬於國家大地測量三角網點，1、2、……7 各點是要測設之點。這些點之座標，可採兩步驟計算之。第一步例如假設 I-II 線之長度，其他各三角邊之長度，即根據此假設 I-II 線之長度，與測得並予調整後之角度，計算之，並將所有測站點之座標計算出來。設 I 點之座標為 $y_I=0$ ，及 $x_I=0$ ，假設的 II 點之座標 y_{II} 與 x_{II} 以及其他各點之座標，故予算出並附以 ' 之符號標記之，以使與實際之座標有所區別。現在將實際與假設距離之比率，用下列公式計算之。

$$C_y = \frac{Y_{II} - Y_I}{Y'_{II}} \quad \text{及} \quad C_x = \frac{X_{II} - X_I}{X'_{II}} \quad (5.7)$$

第二步用以下各公式，計算實際各座標

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= y_I + C_y y'_1 \quad \text{及} \quad x_1 = x_I + C_x x'_1 \\ y_2 &= y_I + C_y y'_2 \quad \text{及} \quad x_2 = x_I + C_x x'_2 \\ &\dots\dots\dots \\ y_n &= y_I + C_y y'_n \quad \text{及} \quad x_n = x_I + C_x x'_n \end{aligned} \right\} \quad (5.8)$$

於此特種三角網所有點之座標求得後，即可依據作隧道之定測，猶如依據國家大地測量三角網作定測者然（見 51.121 節）。

第二辦法是必需要測定一基線，並需要依據國家大地測量所定之座標系統，至少決定一測站點之座標與一三角形一邊之方位角。此特設的三角網之一邊，經常是自此測定之基線與基三角網，予以發展。三角網每邊長度，可用已測得且已調整之角度計算之。三角網每邊之方位角，可由已知方位角之邊計算之。每測站點之座標，於是可依據已知座標之測站點計算之。該已知座標之測站點，其座標是依據國家大地測量三角網之座標系統所求得的。此特種三角網測定後，隧道定測，依特種三角網進行測量，猶如依國家大地測量三角網作定測者然（見 51.121 節）。