

# 大地工程發展史

## 山岳隧道～鐵路篇（中）

李佳翰\*

承166期(山岳隧道～鐵路篇(上))

### 4.3 臺東線(日治時期)～掃叭隧道

掃叭隧道位於臺東線舞鶴至三民之間，1914年6月掃叭隧道在臺灣總督府鐵道部規劃下以人力開鑿方式開挖。工事期間，屢屢發生地質及自然災害問題，使得工程進度嚴重延遲；隧道工址上部為黏土、下部為泥土，直至1916年10月完工，隧道全長為1,166.33m。於1919年，隨著臺東線路段啟用通車，原行駛窄軌762mm的火車。因隧道兩端引道坡度超過千分之20不利列車行駛，再加上隧道內部漏水老化問題無法解決，原決定要在臺東線拓寬時新建自強一號與自強二號隧道取而代之。1982年，因自強隧道工程進度延遲，臺灣鐵路管理局決定利用掃叭隧道進行降道工程並鋪設軌距1,067mm軌道供列車行駛暫用。1984年12月，路線切換完成，掃叭隧道隨之廢棄至今。掃叭隧道的南北兩口均有題字，北口為第五任臺灣總督佐久間左馬太總督所題「無窮」、南口為第六任臺灣總督安東貞美總督所題「宏達」(維基百科)。

基於以下四大特色與理由，掃叭隧道於2016年公告為縣定古蹟：

1. 掃叭隧道為臺東線鐵道最早開鑿的隧道，因地質問題使得施工難度高，曾有多名工人因而遇難，見證東部鐵路開發史，具歷史價值；
2. 見證1910~1983年之間東部鐵路建設及東拓之交通史，具重要歷史事件之關係；
3. 為東拓之前臺東線鐵路沿線唯一的隧道，且為現存東部鐵路相關構造物中，唯一之磚拱隧道，具稀少性，不易再現；
4. 為徒手開鑿，再以紅磚襯砌(圖十五)，表現地方營造技術流派特色。



(花蓮縣文化局，2016)



(維基百科)

圖十五 掃叭隧道北口照片

### 4.4 北迴線(光復後)

北迴線鐵路於1971年5月完成測量並列為國家十大建設之一。1973年12月從南北兩端同時動工，1979年12月全線通車，歷時6年，工程經費69.3億元。該鐵路北起宜蘭線的南聖湖站，經南澳至花蓮與花東線連接，全線長81.61km。北迴鐵路地質複雜、工程艱鉅，大部分路線經過山區，依山面海。全線隧道原計畫為40座，總長29.5km，於施工時基於安全考量，經再研究修訂，部分沿海路段內移及

\* 聯合大地工程顧問股份有限公司

表六 光復後北迴線鐵路隧道一覽表(北迴鐵路工程處, 1981)

編號	隧道名稱	長度(m)	單/雙線	開挖工法	備註
1	蘇澳一號	199	單	底設導坑	-
2	蘇澳二號	113	單	底設導坑	-
3	蘇澳三號	206	單	底設導坑	-
4	蘇澳四號	239	單	底設導坑	-
5	永春	4,020	單	大約翰、底設導坑、明挖回填、上下半斷面、上半環狀、全斷面	-
6	東澳	167	單	底設導坑	廢棄
7	南澳	5,286	單	底設導坑、上下半斷面、全斷面	-
8	武塔一號	345	單	底設導坑	廢棄
9	武塔二號	185	單	底設導坑	廢棄
10	觀音	7,740	單	底設導坑、上下半斷面、側導坑、上半環狀、全斷面	廢棄
11	鼓音	401	單	底設導坑、上半環狀、側導坑、全斷面	廢棄
12	谷風	1,959	單	底設導坑、上半環狀、側導坑、全斷面	廢棄
13	和平	2,969	單	底設導坑、側導坑、全斷面	廢棄
14	和仁	2,411	單	底設導坑、側導坑、全斷面	-
15	清水	2,106	單	底設導坑、上半環狀、全斷面	-
16	崇德	2,682	單	大約翰、底設導坑、全斷面	-

將短隧道合併，故隧道減少至16座(詳見表六)，總長31.029km，約佔全線八分之三，以長7,740m之觀音隧道，為當時本島最長之鐵路隧道。以下綜合彙整北迴線鐵路隧道開挖工法與襯砌，並以永春隧道為例說明如后(北迴鐵路工程處，1981)。

#### 4.4.1 隧道開挖工法

長大隧道最初採用美製「大約翰」隧道開挖機(Big John Excavator) 2部(圖十六(a))由南北兩端同時作業；中長隧道300至1,000m者，採用瑞典製輪胎式鑽堡機(Jumbo Drill) 3台(圖十六(b))，以全斷面開挖方式作業；短小隧道則以傳統式「導坑擴大開挖法」作業，亦即人工開挖作業，並輔以木支保(圖十七(a))或鋼支保(圖十七(b))支撐。而由表六可知，當時北迴線鐵路隧道之開挖工法可概分為：1. 底設導坑(適用於堆積層地質)；2. 側導坑(應用於最惡劣地質或覆蓋甚薄)；3. 上下半斷面(適用於岩質尚可)；4. 全斷面(適用於岩質良好)；5. 上半環狀(適用於地質不佳)；6. 明挖回填；7. 大約翰等七種，如圖十八所示(北迴鐵路工程處，1981)。

其中，「大約翰」1台於永春隧道使用初期(於鬆軟岩盤中)雖不理想但尚稱順利，但進入山腹後即因地質變化多端、軟硬不一，造成



(a) 大約翰(吳, 2004)



(b) 輪胎式鑽堡機(北迴鐵路工程處, 1981)

圖十六 隧道開挖施工主要機械



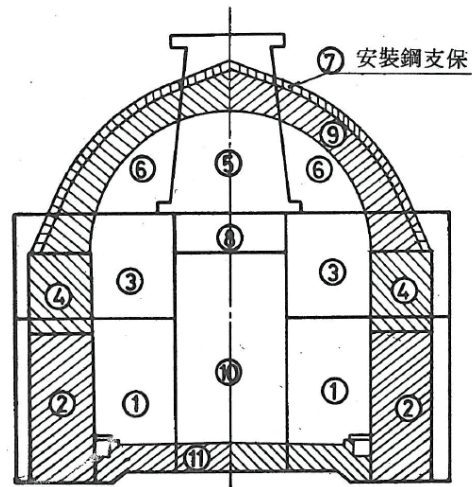
(a) 木支保



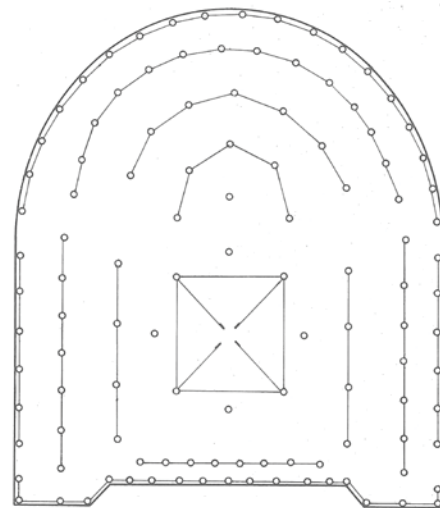
(b) 鋼支保

圖十七 隧道開挖支撐材(北迴鐵路工程處，1981)

抓齒折斷、油管漏油、外殼走歪等問題發生，更嚴重者在遭遇斷層破碎帶時，碎石、泥漿加水一擁而下，時作時停地經過了1年4個月，至1977年2月遇到一個大破碎帶，將大約翰前端全部埋入碎石之中，經採用各種補救辦法均無法突破，最後仍不得不放棄使用，計完成656.4m。而崇德隧道1台於278m之前全部為砂礫堆積層，進行尚屬順利，後砂礫鬆散層採用灌漿固結再開挖方式進行，曾有日進10m以上之紀錄，機具亦甚少損壞，惟當進入278m以後，即遇到堅硬而均勻的石灰岩，斷齒漏油接踵而來，開挖至為困難，日進難達1m，最後亦不得不忍痛放棄使用，共完成406.8m。而「輪胎鑽堡機」性能雖佳，但機體較大，用於單線隧道有欠靈活，效率亦不高，加以地層



(a) 側導坑工法



(b) 全斷面工法(鑽炸法)(中硬岩)

圖十八 隧道開挖工法示意圖(北迴鐵路工程處，1981)

變化難測，不斷遇到斷層、湧水、破碎帶等，工程進展亦極困難。

#### 4.4.2 隧道襯砌

短隧道以機動式混凝土泵打設，其餘均使用壓縮空氣混凝土泵。短隧道模板用木模，長隧道用鋼模；鋼模有上半頂拱鋼模(9m)與全斷面鋼模(12m)，均利用軌道移動，本身則利用機械式千斤頂或油壓升降。襯砌厚度有30、40、45、50、60、70cm數種，強度則為175kg/cm<sup>2</sup>(純混凝土)、210kg/cm<sup>2</sup>(RC)、420kg/cm<sup>2</sup>(大約翰環片)三種(北迴鐵路工程處，1981)。

#### 4.4.3 永春隧道

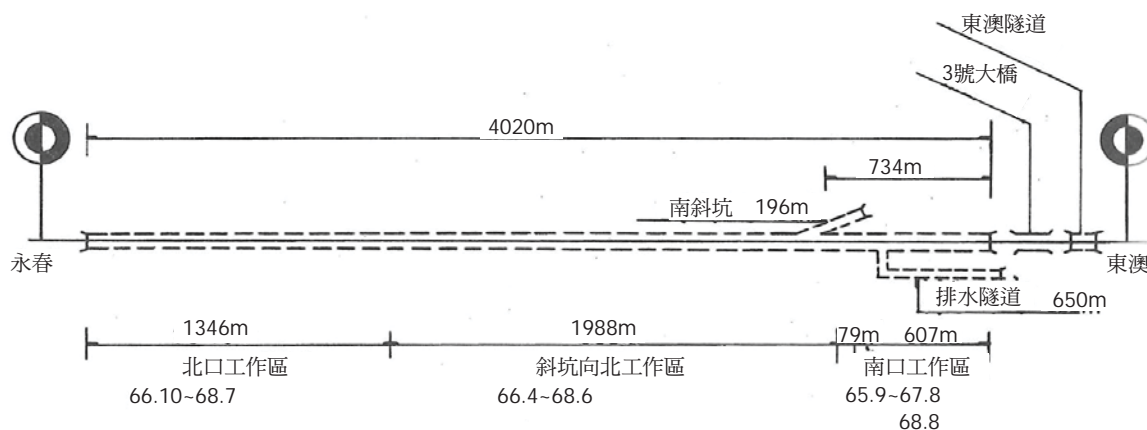
永春隧道全長4,020m，穿過猴椅山及東澳

北溪河床底下，為北迴線隧道群中地質最為複雜者，北端以千枚岩為主，中段多綠色及黑色片岩並夾有砂質片岩和石灰岩，南端為砂礫沖積層(位於河床下)及岩屑堆積層。為趕工，分四個開挖面施工：1. 北口；2. 斜坑向北；3. 斜坑向南；4. 南口，如圖十九所示。其中，為了消滅水壓以保本坑安全及將坑式軌道中之流水排出，於南口右側(靠山側)修築了排水隧道，其斷面為2.5m×2.2m馬蹄形，襯砌30cm厚，其仰拱較本坑仰拱低0.585m，支保採用H125，間距0.9m，全長650m(北迴鐵路工程處，1981)。

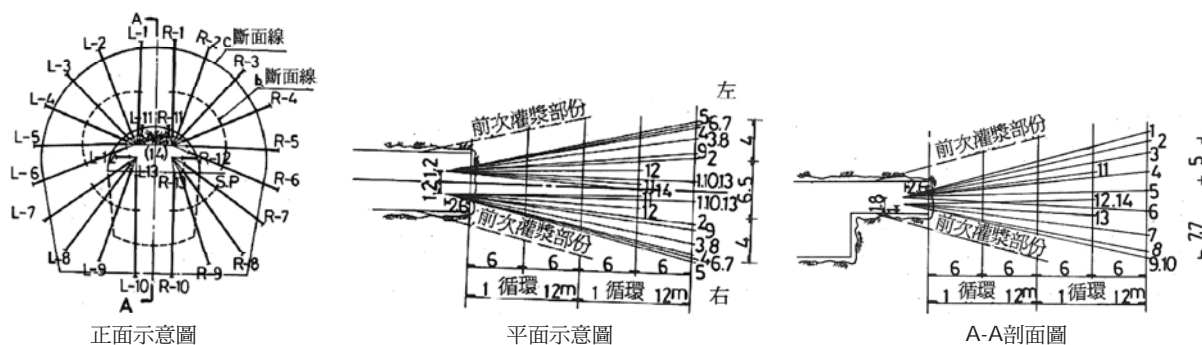
隧道8k+788~8k+984位於東澳北溪河床下約30~40m處，因有大量地下水致施工困難，必先將地盤改良後開挖，斜坑向南工作面因位處地下，水無法排出，採水平灌漿後上下半斷面工法施工。其法首先於中心線上游15m處河床上，鑿一排共16口深井，將地下水抽出，使地下水位降至隧道仰拱底面，另以灌漿加強地盤之固結度。其鑽灌範圍約為開挖線外4~5m。每循環鑽灌24m，開挖12m，留12m為保護層(詳見圖二十)，鑽灌工作完成後，採

用上下半斷面工法，隧道襯砌厚度位於河床下者為70cm，位於河床邊者為60cm。以鑽灌工法用LW藥液注入其防水效果良好，施工期間無地下水湧出，惟鑽灌過程需時較長，且工程費用甚高。

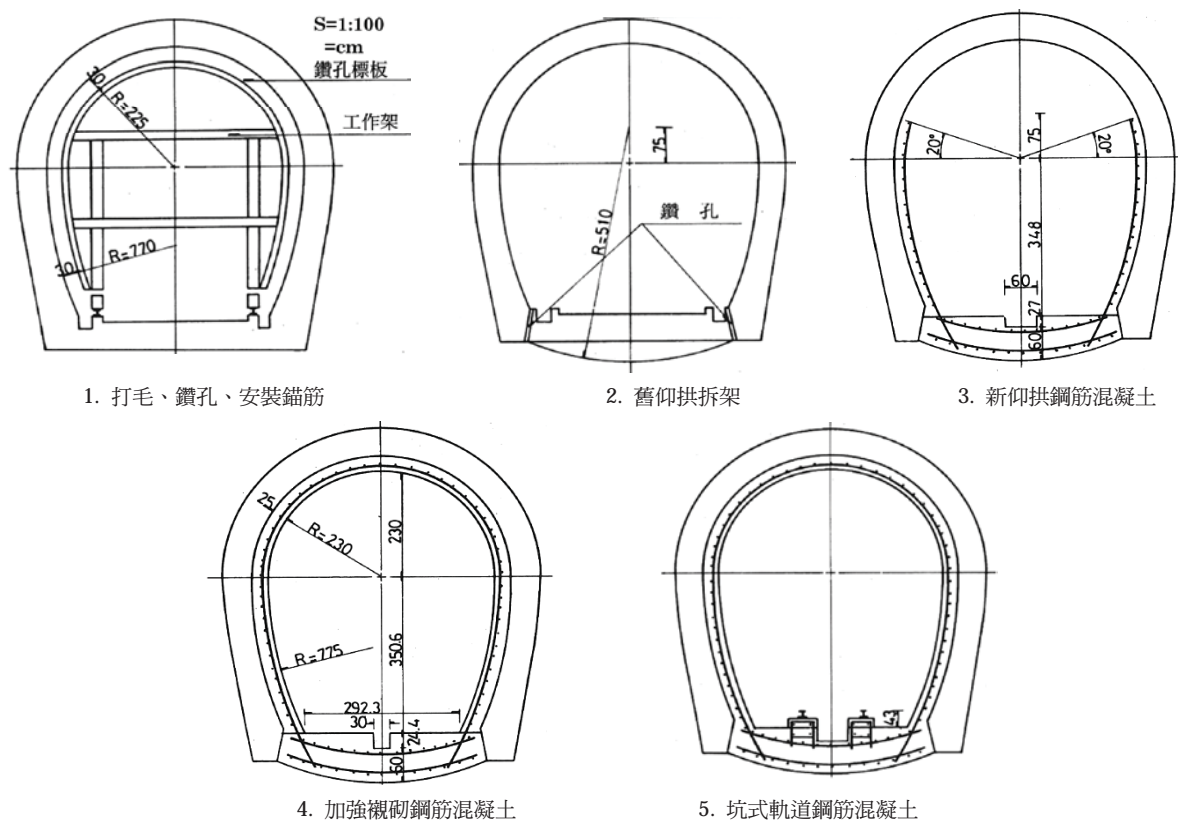
1978年10月娜拉颱風帶來豪雨，使原本乾枯之東澳北溪水深遠十幾公尺，地下水位線上升至地面，造成地下水壓過鉅，致距永春隧道南口北邊250m處隧道左側牆破裂被水擠出約1公尺餘，除明挖段隧道無損外，自9k+644至10k+169全長525m部份側牆與仰拱均有裂縫及湧水，最大湧水150t/min。修護加固工程除18m長破壞之側牆重作外，其餘先將原襯砌混凝土打毛，並鑽孔插入錨碇筋每平方公尺4.33支，另輕度爆破拆除仰拱，加深仰拱之厚度，並加鋼筋主筋為D25，副筋為D19及D16，此時側牆之D36主筋同時組立使錨入仰拱內，先將仰拱混凝土灌入，再組立加強襯砌之側牆及頂拱副筋，以10.5m活動鋼模灌入加襯之混凝土，最後施築坑式軌道之鋼筋混凝土，如圖二十一所示。



圖十九 永春隧道示意圖(北迴鐵路工程處，1981)



圖二十 永春隧道斜坑向南工作面灌漿示意圖(北迴鐵路工程處，1981)



圖二十一 永春隧道南段修復工程示意圖(北迴鐵路工程處，1981)

#### 4.5 花東鐵路拓寬工程(光復後)

花東鐵路拓寬自1978年7月正式興工，總工程費為新臺幣51.78億元，先後完成路基加寬和35個站場擴建，以及40餘km之改線，300餘座大小橋涵加固與重建，貫通山里隧道群之7座隧道，並完成舉世矚目之溪口和光復2座河底隧道(圖二十二)，詳見表七。



表七 花東鐵路拓寬工程隧道一覽表(廖，2018)

編號	隧道名稱	長度(m)	單/雙線	備註
1	溪口一號隧道	42	單線	2013.11.14停用
2	溪口二號隧道	1,598	單線	河底隧道/ 2013.11.14停用
3	光復河底隧道	2,356	單線	2013.10.24停用
4	自強隧道	2,899	單線	合併原自強一、二號隧道/ 使用年代1984~2017.9.26
5	山里一號隧道	272	單線	2013.8.29停用
6	山里二號隧道	260	單線	2013.8.29停用
7	山里三號隧道	364	單線	2013.8.29停用
8	山里四號隧道	202	單線	2013.8.29停用
9	山里五號隧道	448	單線	2013.8.29停用
10	山里六號隧道	1,380	單線	2013.8.29停用
11	山里七號隧道	1,016	單線	2013.8.29停用

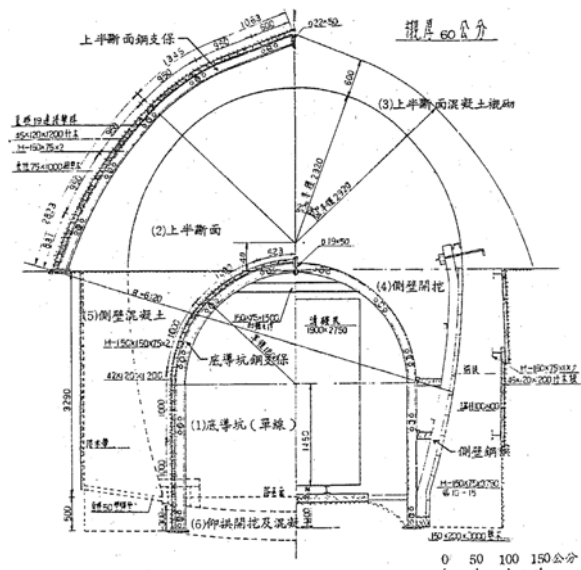


圖二十二 光復河底隧道施工照片(陳，2011)

### 4.5.1 舊自強隧道

舊自強隧道係一單線鐵路隧道，淨斷面積 28.2m<sup>2</sup>，全長 2,750m，為東線鐵路拓寬計畫新建工程之一，其自 1979 年 2 月起由隧道南、北洞口同時以傳統底導坑先進工法挖進(圖二十三)。1980 年 4 月，南口底導坑前進至 645m 處(里程 67k+252)突遭遇沉泥地質，軟化之沉泥使底導坑鋼支保產生嚴重變形，致使主隧道坍塌約 40m(里程 67k+252~ +292)(圖二十四、圖二十五)，同年 10 月該隧道全面停工。之後，經鐵路局諮詢中外隧道專家後，針對此困難地質段(約 277m)，決定改採 NATM 工法施工，配合高壓灌漿等工法，於 1984 年 4 月順利完成隧道貫通(東線鐵路拓寬工程處，1985)。

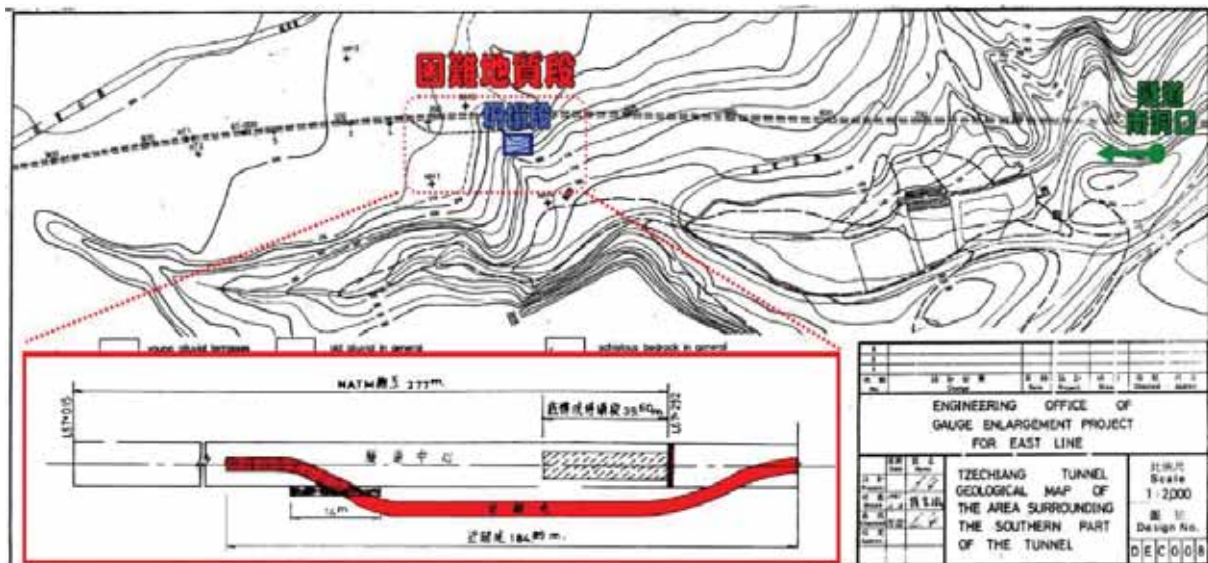
工程受阻期間，施工單位(榮工處)曾關建一平行主隧道之迂迴坑(圖二十五、圖二十六)，並增加多處水平鑽孔及垂直鑽孔，結果顯示該沉泥段長度約 120m(圖二十七)，為層狀堆積之高度過壓密土壤，具高塑性且透水性不佳，顆粒間膠結程度較差。推究隧道坍塌之成因，主要係由於沉泥受開挖擾動產生裂紋，造成地下水侵入，軟化周圍土層，甚至變成泥漿流失。由於傳統工法之鋼支保與木矢板並無法完全阻止沉泥之流失，致使隧道周圍鬆動區域擴大，增加支保荷重，終導致支撐潰敗與隧道抽坍。



圖二十三 舊自強隧道底導坑先進工法示意圖(東線鐵路拓寬工程處，1985)



圖二十四 舊自強隧道坍塌照片(東線鐵路拓寬工程處，1985)



圖二十五 舊自強隧道南段平面示意圖(東線鐵路拓寬工程處，1985)

#### 4.6 南迴線(光復後)

南迴鐵路為「臺灣環島鐵路計畫」的最後一段鐵路，是臺灣十二項重大建設計畫之一。該鐵路西起屏東線枋寮站，南經枋山東折入山，穿越中央山脈南端，沿東海岸北上至臺東卑南站，與花東線相接，全長98.248km。其中穿越中央山脈地段16.8km規劃為雙線，其餘81.5km為單線。1980年7月，南迴鐵路正式動工。因地質條件惡劣，工程受阻，主體工程於1991年1月完成，1992年12月開始營運。其中共計興建隧道35座，總長度38.92km，佔路線總長約39%，經費佔整體工程費約58%。超過1,000m以上之長大隧道共有11座，長約31.49km，如圖二十八所示(南迴鐵路工程處，1992)。

##### 4.6.1 規劃設計

1. 設計理念：南迴鐵路隧道初期規劃均沿用北迴隧道設計經驗，採用傳統工法(ASSM)隧道斷面設計與施工，嗣後因沿線地質變化過於頻繁，傳統隧道施工法應變彈性較差，每遇災害均造成工期延誤及增加鉅額搶修費用。南迴工程處幾經研議為提昇國內隧道施工能力，趕上國際隧道施工先進技術水準，於1986年始決定大量引進新奧工法(NATM)，以較新之地盤支撐觀念與較富彈性應變能力之支撐方式克服地質多變之困難。

2. 斷面形式：馬蹄形或直側壁形，且全部採用混凝土襯砌。

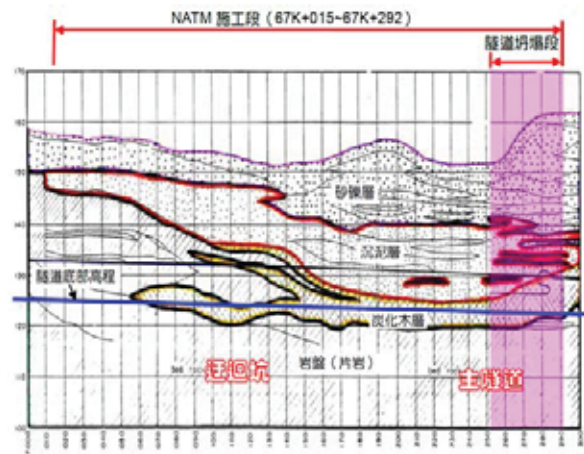
3. 設計要點：其一，依據規劃採用的新奧工法或傳統工法的施工機具與施工方法，將開挖、出渣、支撐及襯砌等工作，作周詳的細部設計。其二，對於開挖及襯砌工作，應衡酌地質狀況，選定適當的施工方法。其三，傳統工法應妥善採用適當尺寸及間隔的支撐，必要時可加噴混凝土鋼線網，或打設岩栓，酌增襯砌混凝土厚度，施工時並應審慎觀測以因應變化。其四，隧道內每隔600m設置大型避車洞，每隔20m設置小型避車洞。其五，中央、安朔兩隧道，各設兩處豎坑；金崙、大鳥兩隧道，各設一處豎坑以利通風。另中央隧道增設一處斜坑，金崙隧道增設一處橫坑，以加速工程進行。其六，隧道洞門應選擇比較安全的位置，並應有穩固而利於施工的設計(南迴鐵路工程處，1992)。

##### 4.6.2 施工概況

南迴鐵路大部分隧道工地均甚為偏遠，最遠之工地中央西豎坑距公路幹線即達23km，



圖二十六 迂迴坑施工照片(東線鐵路拓寬工程處，1985)



圖二十七 隧道沿線(67k+000~67k+300)地質分佈示意圖(東線鐵路拓寬工程處，1985)



圖二十八 南迴鐵路隧道群示意圖(南迴鐵路工程處，1992)

隧道施工人力聘僱不易，流動性大，隧道施工原本就很辛苦，加以南迴鐵路沿線地質破碎災害不斷，致所遭遇之各種困難情況更甚於北迴鐵路，施工初期主要仍採用傳統工法(ASSM)，於1986年起隧道施工因地質風化破碎變化劇烈，而抽心、湧水與擠壓變形等災害發生頻繁，歷經多次研商比較後始決定引進較可因應地質變化而彈性變更支撐系統的新奧工法(NATM)，於中央、安朔、大鳥、金崙、多良二號隧道等長大隧道工程中採用，經過初期適應期後始逐漸體會新奧工法之精神，而較能彈性因應以克服地質變化所造成之隧道施工困難，最後雖然依照規劃測量路線完成，但都增加了許多補強加固之保護措施，方得以確保工程安全。彙整南迴鐵路35座隧道、5座豎坑及1座斜坑之實際應用施工方法如表八與圖二十九所示(南迴鐵路工程處，1992)。

#### 4.6.3 遭遇困難與因應對策

遭遇困難：1. 長大隧道施工愈深入，通風設施效率愈見低落，洞內溫度有時高達38~39℃高溫，濕氣、泥濘、通風不良，施工環境惡劣，嚴重影響施工進度；2. 東海岸富山~多良間緊鄰南迴公路上方，地勢陡峭，地質多為夾泥破碎頁岩；大竹三、四號、多良一、二號等隧道洞口附近，受嚴重偏壓或邊坡滑動影響致擠壓下陷，隧道山側坡地與下側邊坡(位於南迴公路上方)之上下邊坡均需保護，增加施工困難(南迴鐵路工程處，1992)。

因應對策：1. 就尚未施工以及正在施工中之各隧道工程，由業主與承商逐項檢討，並研擬各個困難原因之解決方案；2. 邀請學者專家至南迴沿線實地勘察，綜合所提意見慎重規劃，加強鐵路下方與公路上方間之安全防護加固工程，以穩定邊坡；3. 加強隧道內集、排水設施，以降低水壓對工程所造成之不利影響，減少開挖面附近積水泥濘也避免影響工作效率。

#### 4.6.4 工程特點

南迴鐵路隧道工程有下列幾項特點(南迴鐵路工程處，1992)：

表八 南迴鐵路隧道施工工法一覽表(南迴鐵路工程處，1992)

編號	隧道名稱	長度(m)	施工方式	備註
1	枋電一、二號	125	明挖	單線
2	枋山一號	300	木支撐中央導坑先進 上半先進工法	單線
3	枋山二號	585	底設導坑工法	單線
4	枋山三號	688	底設導坑工法	單線
5	枋山四、五號	367.5	底設導坑工法 配合邊坡整治格梁地錨	單線
6	枋野一號	1,809	底設導坑工法	單線
7	枋野二號	單670 雙50	底設導坑工法	單線
8	枋野三號	1,360	底設導坑工法	單線
9	中央隧道	8,047	底設導坑工法 新奧工法(NATM)	雙線
10	中央隧道西豎坑	356.3	新奧工法(NATM) 昇井工法	豎坑
11	中央隧道東豎坑	144.9	新奧工法(NATM)	豎坑
12	中央隧道西斜坑	409.6	傳統工法(ASSM)	斜坑
13	善安隧道	139	新奧工法(NATM)	雙線
14	安朔三號	5,483	側壁導坑工法 底設導坑工法 上半明挖回填 上半先進工法 新奧工法(NATM)	雙線
15	安朔三號豎坑	113.6	新奧工法(NATM)	豎坑
16	古莊一、二號	463	上半先進工法	雙線
17	古莊三號	690	底設導坑工法 新奧工法(NATM)	雙線
18	古莊四號	153	底設導坑工法	單線
19	古莊五號	370	底設導坑工法	單線
20	古莊六、七號	379	底設導坑工法	單線
21	大武一號	372	底設導坑工法	單線
22	大武二號	1,180	底設導坑工法	單線
23	大鳥隧道	3,652	上半導坑先進工法 新奧工法(NATM)	單線
24	大鳥隧道豎坑	113.6	上半導坑先進工法 新奧工法(NATM)	豎坑
25	加津林	474	新奧工法(NATM)	單線
26	富山隧道	74	底設導坑工法	單線
27	大竹一號	1,452	底設導坑工法	單線
28	大竹二號	1,490	底設導坑工法 全斷面工法	單線
29	大竹三號	158	明挖回填 底設導坑工法 配合邊坡整治格梁地錨	單線
30	瀧溪隧道	138.2	底設導坑工法	單線
31	大竹四號	170	底設導坑工法 配合邊坡整治格梁地錨	單雙 線
32	多良一號	1,640	上半明挖回填 底設導坑工法	單線
33	多良二號	1,620.7	底設導坑工法 新奧工法(NATM)	單線
34	金崙隧道	4,392	底設導坑工法 新奧工法(NATM)	單線
35	金崙隧道豎坑	96.6	新奧工法(NATM)	豎坑
36	香蘭隧道	350	明挖覆蓋	單線
37	新吉隧道	368	新奧工法(NATM)	單線

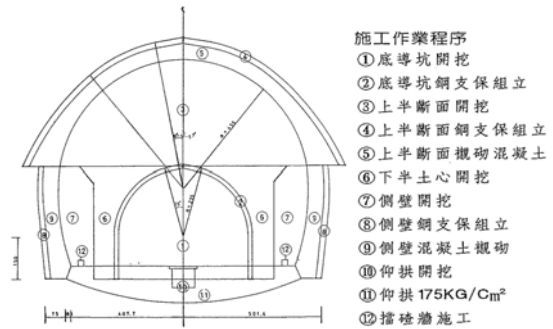


1. 隧道最多：全線隧道共35座，總長38.924km，另含一座遮體明隧道1,180m，總共全長佔南迴鐵路施工里程達40.8%。

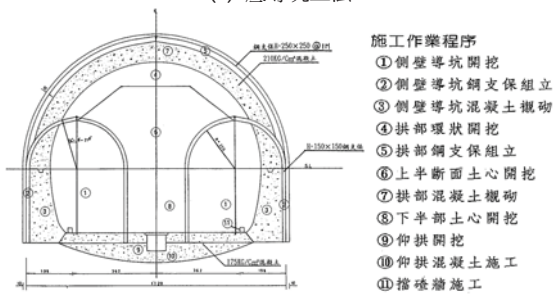
2. 最長隧道：中央隧道乃雙線隧道，長達8,070m，跨越屏東與臺東兩縣境，為當時國內最長之隧道。

3. 豎坑最深：中央隧道西豎坑深達341m，斷面直徑5m，為當時國內最深之通風豎坑。

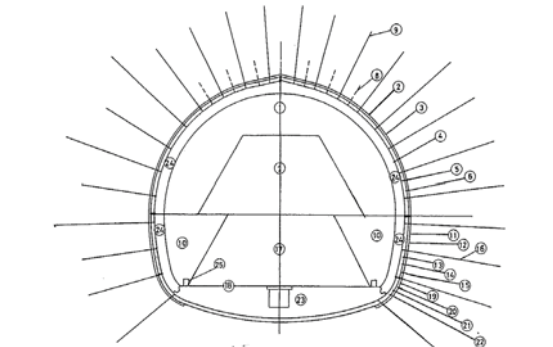
4. 引進新的施工技術與機具：隧道大量採用新奧工法施工，豎坑採用昇井工法(raise boring)(圖三十)及冷凍工法(圖三十一)施工。



(a) 底導坑工法

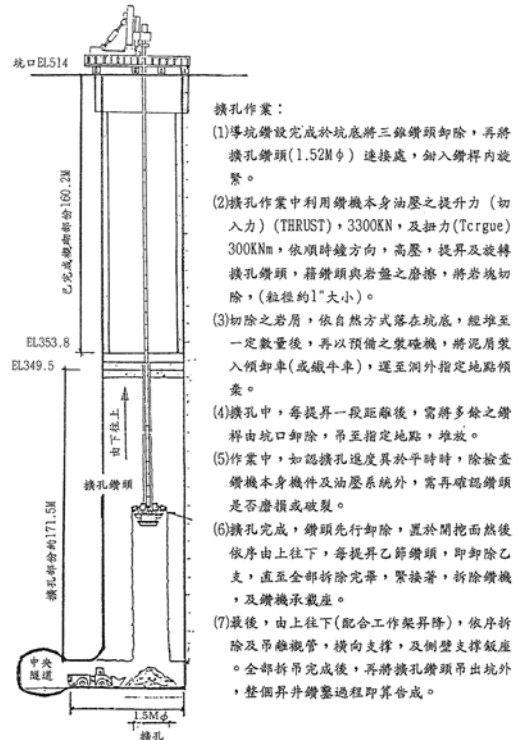


(b) 側壁底導坑工法



(c) 新奧工法

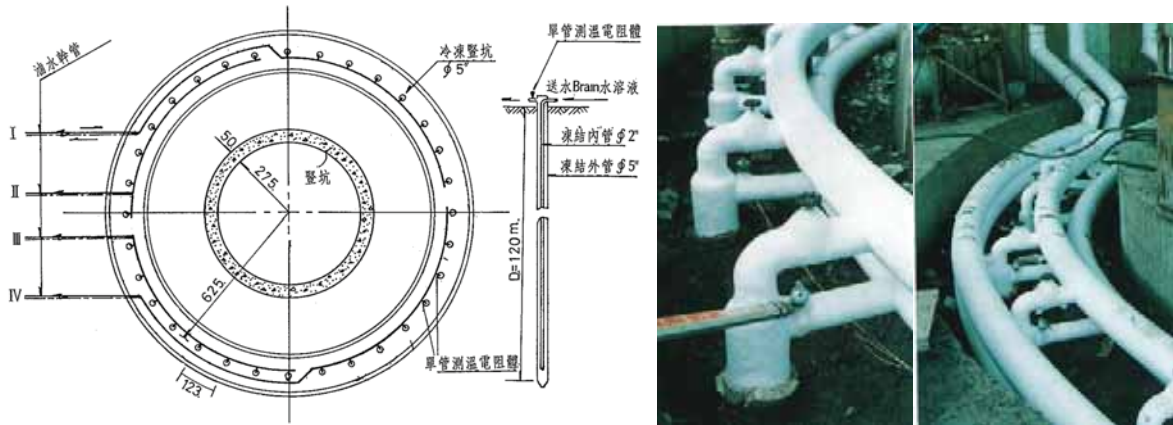
圖二十九 南迴鐵路隧道施工工法示意圖(南迴鐵路工程處，1992)



圖三十 南迴鐵路隧道豎坑之昇井工法示意圖(南迴鐵路工程處，1992)

5. 地質地形惡劣、施工困難：地質複雜多變，常遭遇突發性之災害、擠壓、湧水、抽水、落盤等(圖三十二)，影響進度甚鉅。

6. 隧道設計與施工均由國內技術人員完成：有效提昇國內隧道工程品質及培養隧道工程技術人才。



圖三十一 南迴鐵路隧道之冷凍工法照片(南迴鐵路工程處，1992)



(a) 抽水



(b) 落盤



(c) 擠壓



(d) 湧水

圖三十二 南迴鐵路隧道群遭遇之特殊地質(南迴鐵路工程處，1992)

「山岳隧道~鐵路篇」(下) (待續...)