

亞洲第一 全世界排名第五長公路隧道

雪山隧道豎井施工案例探討

☆張文城 ☆☆張龍均

摘要

雪山隧道長度約12.9公里，為北宜最高速公路隧道群中最長的隧道，而覆蓋層又最深達約750公尺，且長隧道的通風系統對交通安全非常重要，故經研究各種通風系統方式後採加強縱統式通風系統，全線交錯設置三組通風豎井機房及中繼站，形成8個獨立之通風迴路。

雪山隧道豎井因位於雪山山脈複雜多變之地質區，且豎井最深達501公尺，又位於水源保護區之山區，致研擬施工方法除須衡量豎井直徑、深度、工程地質、工期、成本、施工場地與動線及環保等因素，更需檢討水平隧道通過與否、地質弱帶輔助工法及施工技術可行性等因素，在國工局、中興公司及榮工公司組成之施工團隊，逐一克服困難積極趕辦下，三組豎井即將在本(93)年10月開挖完成，特以雪山隧道豎井施工案例加以介紹與探討，俾提供爾後類似豎井工程施工、規劃及設計的參考。

一、前言

雪山隧道長度約12.9公里，為北宜高速公路隧道群中最長的隧道，亦為全世界第五長的公路隧道，主要包含雙孔雙向兩車道之主隧道及一條位於兩主隧道間下方直徑約4.8公尺的導坑，及作為通風系統用的三組通風豎井。

雪山隧道採用加強流式通風系統，每組豎井由相距50公尺之進氣井與排氣井所組成，豎井底部設置通風機房連接兩條主隧道，並於每組通風機房間設置三組通風中繼站，形成8個獨立的通風迴路，以確保空氣品質。

雪山隧道因位於雪山山脈，穿過經輕度變質之沉積岩層，並由於受板塊衝擊影響，致地質變化相當劇烈及複雜；當豎井遭遇剪裂破裂時，無論採用沉挖工法或昇井工法均須事先處理，才能順利、迅速及安全通過。

豎井工程施工方法研擬主要因素，大致與隧道工程類似，諸如豎井直徑、深度、工程地質、工期、成本、安全、環保及輔助工法等，然豎井若採用昇井工法則必須考慮水平隧道通過與否。

二、豎井施工方法概述及研擬

(一)豎井施工方法概述

豎井開挖之施工方法甚多，若依施工方法演進順序可概分為下述四種：

1.傳統豎井工法

依豎井開挖方向可採向下及向上鑿挖兩種方式，然一般常採向下鑿挖方式。

2.吊籠工法

吊籠工法主要施工程序為(1)先由豎井頂沿豎井中心鑽設一垂直孔至豎井

底；(2)將安裝於豎井頂附近提升機之鋼索穿過垂直孔與豎井底之吊籠連接；(3)由下向上進行豎井小斷面開挖作業，而吊籠則作為施工人員、機具之工作平台，並藉由提升機升降；(4)由上往下進行豎井擴挖及後續襯砌等作業，詳圖一。

3.爬昇工法

一般採用之爬升機具可概分為 Alimak 及 Jara 兩種，基本上本工法係採由下向上進行開挖，施工程序詳圖二。

4.昇井工法(Raise Boring Method)

昇井工法係藉由昇井鑽機先行鑽設導孔至預定位置，再以擴孔鑽頭進行擴孔作業，並檢視擴孔斷面是否符合設計斷面，符合則完成，若設計斷面大於擴孔斷面，則再進行擴挖作業至設計尺寸，施工程序詳圖三。

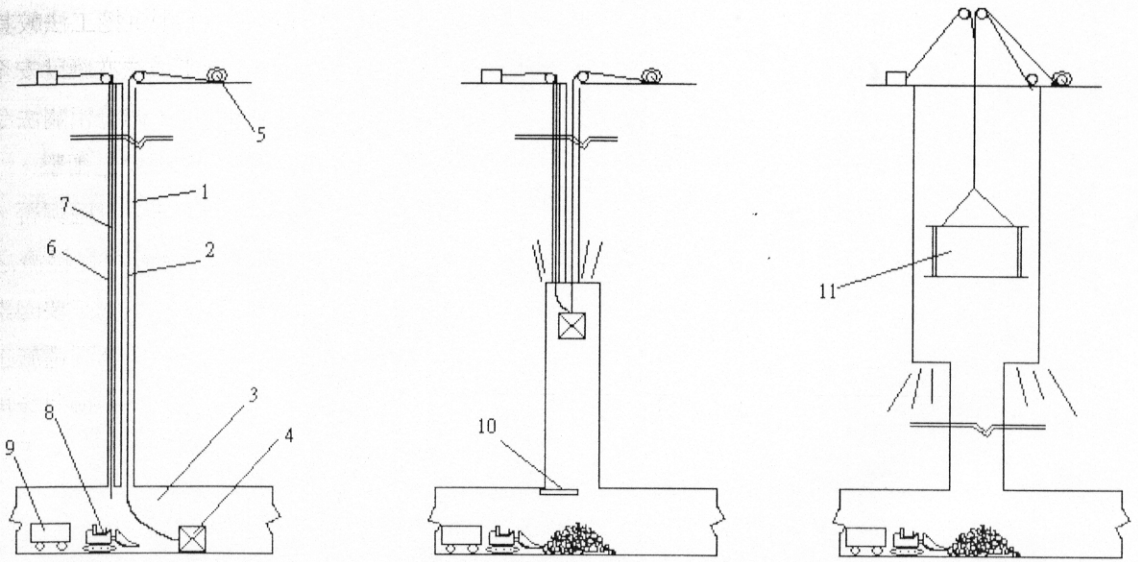
(二)豎井施工方法研擬

豎井工程施工方法研擬主要因素，大致與隧道工程類似，諸如豎井直徑、深度、工程地質、施工技術、工期、成本、安全、環保及輔助工法等，然豎井若採昇井工法則必須考慮水平隧道通過與否，且一般均佈置於人煙稀少之山區，施工場地及施工動線又較隧道洞口更為艱難惡劣，故研擬施工方法時更須謹慎周密。

豎井工程施工方法研擬主要因素概述如后：

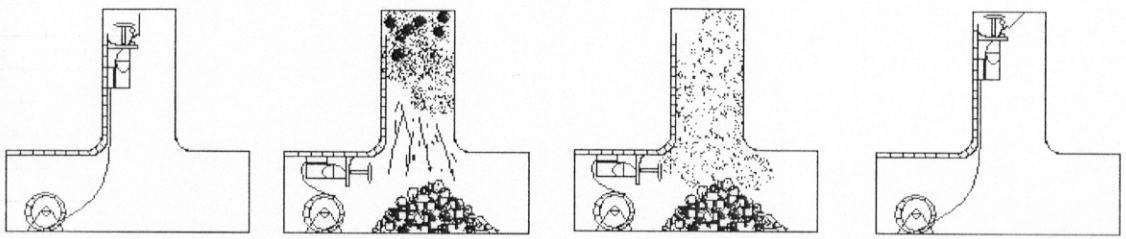
1.豎井直徑、深度及水平隧道通過與否因素

吊籠及爬昇施工法不適用於直徑較大或深度較深之豎井，而水平隧道若未通過，則僅能採用沉挖工法。



(1)繩孔、(2)鋼纜、(3)下方隧道、(4)吊罐、(5)捲揚機、(6)輔助孔、
(7)管線、(8)鏟渣車、(9)運渣車、(10)擋板、(11)擴挖作業工作平台

圖一 吊籠工法施工程序示意圖



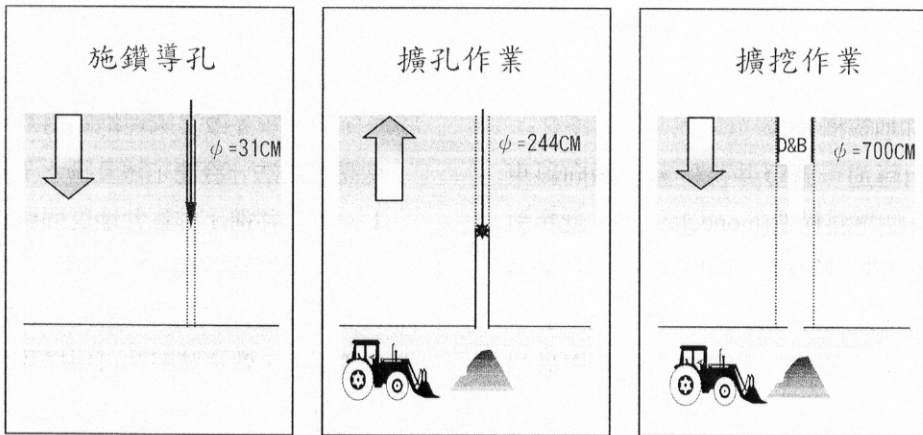
1.鑽孔

2.開炸

3.通風

4.修整

圖二 爬昇工法施工程序示意圖



圖三 昇井工法施工程序示意圖

2. 工程地質、輔助工法及施工技術因素

在岩層節理及破碎帶發達又含豐沛之地下水，則需有地質弱帶處理因應輔助工法及優良的施工技術，否則僅能使用沉挖工法。

3. 工期、成本、安全及環保等因素

豎井沉挖工法係將開挖面之渣料或地下水，以提吊設備提升至井口再運離或排放，遠較昇井、爬昇及吊籠施工法等係採重力式落入下方水平隧道再運離(或排放)，需費時較長、費用較高。若就初期設

備、機具等加以探討，則沉挖工法較其他工法經濟。但評選施工方法亦應就安全、環保等因素，詳加檢討，俾符相關法令規定，並減少對當地生態環境之衝擊。

4. 綜合上述，豎井施工方法之正確與否，攸關豎井是否得以在符合最適宜經濟之原則下如期如質完成，故將相關主要因素彙整成建議表(詳表一)，俾作為評選施工方法時之衡量，且務必詳加綜合檢討後再審慎定案。

表一 豎井施工方法研擬主要因素一覽表

工 法	沉挖工法	吊籠工法	爬昇工法	昇井工法 (上擴法)
主要因素				
水平隧道通過與否	不受限	必要	必要	必要
適用地質條件	不受限	佳	稍佳	稍佳
豎井深度	不受限	<100m	<150m	>100m
適用豎井直徑	不受限	直徑=2m	直徑2m~4m	直徑<3.5m
作業條件	尚可	差	差	好
成本	低	低	高	最高
工期	慢	快	快	最快
施工技術	不受限	高	高	高
安全性	安全	差	差	安全

三、豎井昇井工法案例探討—以一號豎井為例

(一)一號豎井地質概述

雪山隧道一號豎井位於鶯仔瀨向斜東南翼，一個單斜構造(monocline)上，此單斜構造近地表處因解壓及風化作用，岩體較為破碎，層面並夾有泥縫。地層岩性為中新世枋腳下部之砂頁岩層及媽岡層之厚層砂岩偶夾頁岩。

(二)一號豎井地質弱帶處理概述

隧道工程遭遇地質弱帶，欲安全開挖通過該區段之方法，除改變開挖及支撐方式外，尚有預先改良處理地質弱帶，如地盤改良灌漿工法、冷凍工法及排水工法等。

1. 一號豎井進、排氣井地質弱帶處理方式

一號豎井自土水泥預灌作業：雪山隧道一號豎井，因位於豎井下方之導坑已開挖通過，致一號豎井可採昇井沉挖混合工法施工，但依現場鑽孔資料顯示，自地表下78m岩層破碎且富地下水，又有一傾角

約65°、寬約45m之破碎剪裂帶，為求達到預定之地質改良及形成止水隔幕等效果，俾昇井鑽機之導孔及擴孔能順利施工，並避免影響當地之地下水文及因滲水量問題影響隧道西口之工進；以排氣井為例，採四孔佈置，其中三孔以深孔皂土水泥灌漿方式施作，第四孔則與昇井工法配合，以昇井工法之導孔做為第四灌漿孔，俾能完成全深度之皂土水泥預灌工作。

2. 皂土水泥灌漿工法之特性

本工程採用之皂土水泥灌漿，係以STG公司之泥基灌漿工法之經驗再配合實際地質情況加以調整，其主要原則為：

- (1) 灌漿依據灌漿地層的地下水文進行詳細調查，再按調查結果推算各項灌漿參數。
- (2) 漿材係採用皂土、水泥及少量添加劑，具較長凝結時間，可滲入0.1~0.15mm裂隙，不易受地下水稀釋，塑性強度高，凝固後仍具彈性，抗腐蝕性，處理後岩盤滲透係數約可達 10^{-6} cm/sec。
- (3) 灌漿過程中對灌漿壓力、灌漿流量和灌漿液比重進行連續監控。
- (4) 主要灌漿孔灌漿完成後，再鑽檢查孔，以檢驗灌漿成果，並視實際需要針對部分區段，由檢查孔再施作灌漿處理。

3. 皂土水泥漿配比及施工程序

(1) 配比

本工程採用之皂土水泥灌漿，係以比重控制其品質，以黏滯度維持其工作性，採皂土漿比重 $1.03 \sim 1.04\text{g/cm}^3$ ，黏滯度(flow cone)40~50sec，皂土水泥漿

之比重 $1.3 \sim 1.4\text{g/cm}^3$ 。

若岩層裂縫甚小時，可考慮降低水泥含量，並依實際灌漿情況決定添加木屑等添加物。

(2) 灌漿程序

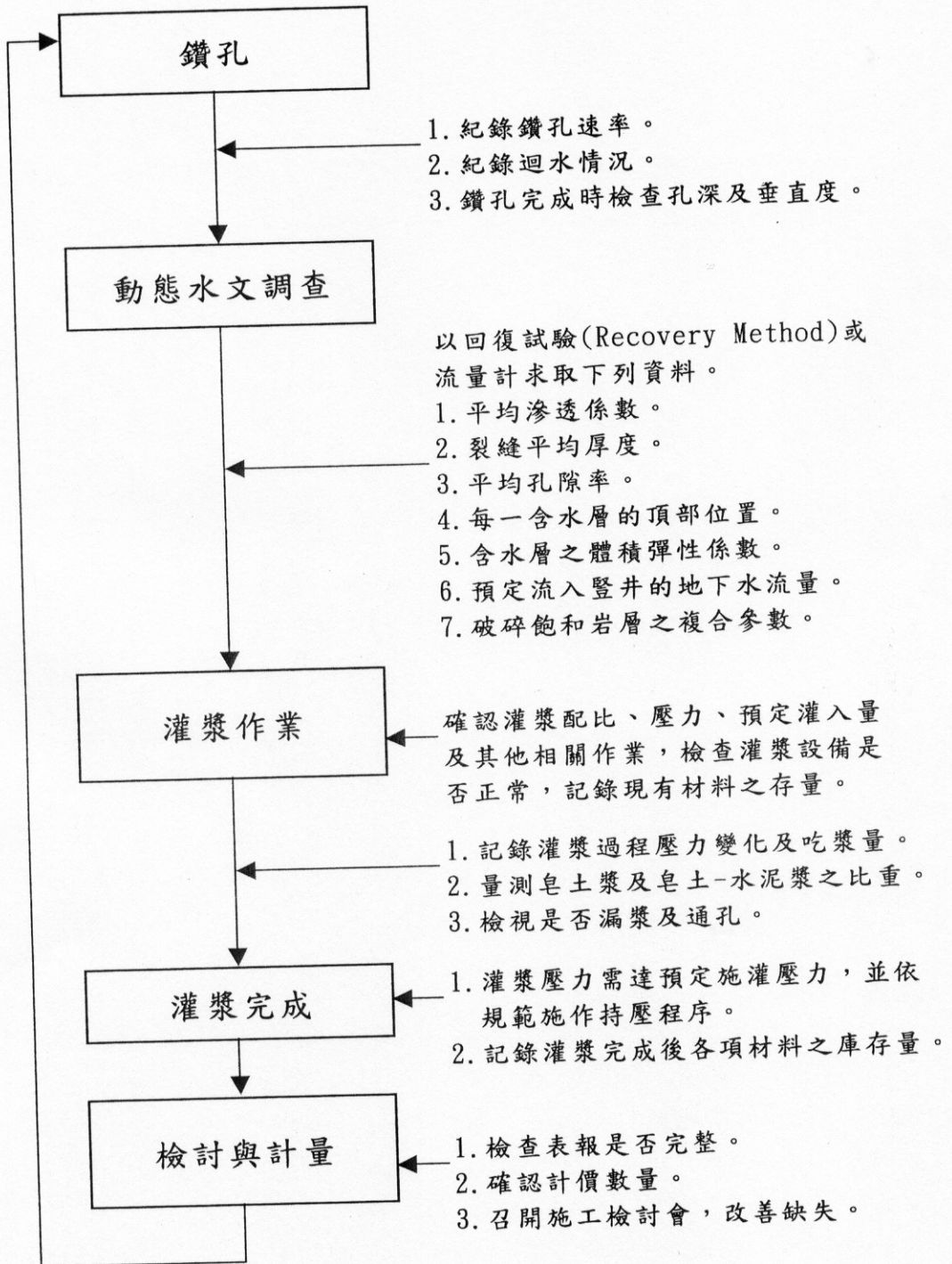
本工程採用由上而下逐階施灌之方式(Stage-Down Method)灌漿，其灌漿程序流程，如圖四所示。

(三) 一號豎井昇井工法施工概述

雪山隧道一號豎井進氣井深度480m，排氣井深度501m，相距50cm，內徑6m，因導坑已通過，故於皂土水泥灌漿作業完成後，並依豎井施工方法研擬後，採昇井上擴工法進行開挖作業。

本昇井工法係於井口地面鑽設一直徑31cm之導孔至豎井底部機房，再更換直徑244cm之擴孔鑽頭，利用導孔鑽桿由下往上鑽掘擴孔而成。然後再以鑽炸法由上往下開炸，將碴料推落井底，由隧道運出，稱之昇井上擴工法。

現階段一號豎井昇井工法已擴孔完成。一般昇井工法鑽設導孔之偏差率約為1%至2%，換算於此一深度約501m之豎井相當於約5至10m，而經本深孔皂土水泥灌漿作業及引進精密的導航儀器，排氣井偏差率僅約72cm，而進氣井偏差率更僅約14cm。為世界上罕有之精度。且導孔鑽設日最高工率達44.5m，擴孔日最高工率達54m，均為國內最佳紀錄。一號豎井導孔擴孔完成後，於進、排氣井豎井底部量測其滲水量僅約0.81及0.27 l/s，詳表二，灌漿效果非常顯著。



圖四 深孔皂土水泥灌漿程序流程圖

表二 一號豎井昇井工法作業進度統計表之1

排氣井昇井工法作業							
昇井工法導孔			昇井工法擴孔				
日	期	進度(m)	累計深度(m)	日	期	進度(m)	累計深度(m)
91年9月23日		9	9	92年2月9日		24.4	24.4
91年9月24日		1.5	10.5	92年2月10日		44	68.4
91年9月28日		2.3	12.8	92年2月11日		33.5	101.9
91年9月29日		1.5	14.3	92年2月12日		1.5	103.4
91年9月30日		1.7	16	92年2月13日		4.4	107.8
91年10月1日		1.5	17.5	92年2月14日		28.9	136.7
91年10月2日		2.5	20	92年2月15日		18.1	154.8
91年10月3日		2	22	92年2月16日		38	192.8
91年10月4日		1.6	23.6	92年2月17日		24.3	217.1
91年10月5日		2	25.6	92年2月18日		34.9	252
91年10月6日		1.9	27.5	92年2月19日		28.8	280.8
91年10月7日		2.2	29.7	92年2月20日		43.9	324.7
91年10月15日		20.1	49.8	92年2月21日		4.5	329.2
91年10月16日		3.3	53.1	92年2月22日		50.2	379.4
91年10月19日		16.1	69.2	92年2月23日		37.8	417.2
91年10月23日		15.9	85.1	92年2月24日		51.7	468.9
91年10月24日		31.8	116.9	92年2月25日		32.04	500.94
91年10月25日		30.3	147.2	於92.02.26, 08:00完成			
91年10月26日		2.8	150	合	計	500.94	
91年10月28日		7.8	157.8				
91年10月29日		27.4	185.2				
91年10月30日		10.6	195.8				
91年11月5日		9	204.8				
91年11月6日		28.8	233.6				
91年11月7日		27.3	260.9				
91年11月8日		27.4	288.3				
91年11月14日		33.3	321.6				
91年11月15日		30.3	351.9				
91年11月16日		30.4	382.3				
91年11月17日		7.7	390				
91年11月20日		19.5	409.5				
91年11月21日		4.7	414.2				
92年1月6日		2.8	417				
92年1月21日		9.3	426.3				
92年1月22日		15.1	441.4				
92年1月23日		16.7	458.1				
92年1月24日		16.8	474.9				
92年2月4日		5.4	480.3				
92年2月5日		20.1	500.4				
92年2月6日		0.54	500.94				
合	計	500.94					

表二 一號豎井昇井工法作業進度統計表之2

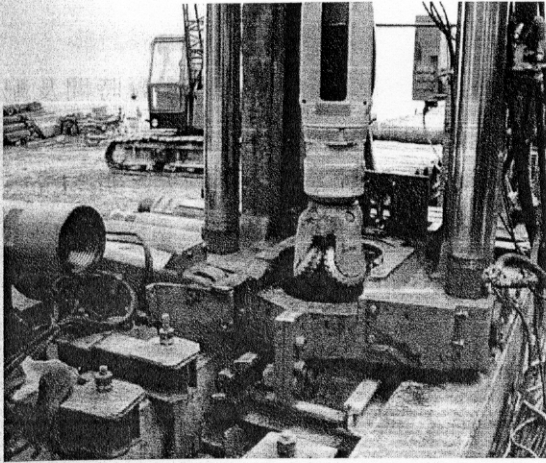
進氣井昇井工法作業						
昇井工法導孔			昇井工法擴孔			
日	期	進度(m)	累計深度(m)	日	期	累計深度(m)
92年3月6日		10	10	92年4月21日		47.8
92年3月7日		13.9	23.9	92年4月22日		36.5
92年3月8日		12.1	36	92年4月23日		42.4
92年3月11日		44.5	80.5	92年4月24日		41
92年3月12日		17.2	97.7	92年4月25日		48.5
92年3月13日		20.7	118.4	92年4月26日		27.3
92年3月14日		28.8	147.2	92年4月27日		34.9
92年3月15日		13.7	160.9	92年4月28日		38.1
92年3月16日		34.9	195.8	92年4月29日		50
92年3月17日		36.4	232.2	92年4月30日		47
92年3月18日		27.4	259.6	92年5月1日		7.7
92年3月19日		19.8	279.4	92年5月2日		54
92年4月7日		21.2	300.6	92年5月3日		5.02
92年4月8日		30.3	330.9	合	計	480.22
92年4月9日		28.9	359.8			
92年4月10日		34.1	393.9			
92年4月11日		28	421.9			
92年4月12日		28.9	450.8			
92年4月13日		24.7	475.5			
92年4月14日		4.72	480.22			
合	計	480.22				

雪山隧道一號豎井於導孔擴孔完成隨即進行井口提吊設備之塔架及高速捲揚機組裝作業，以符合深達500公尺豎井向下擴挖作業之要求，其提吊設備之規模及安全性能要求，皆為全國首創。

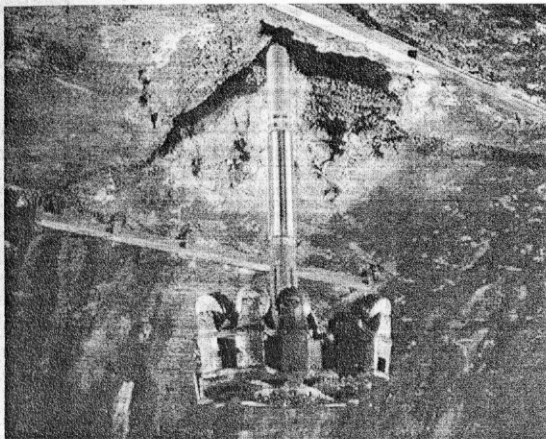
本豎井向下擴挖作業，係以鑽炸法由上往下逐環開炸，並藉由已擴孔完成直徑244cm之導孔，將碴料推落井底，由隧道運出，並逐環依規定施作支撐工。豎井沉挖過程之施工排水亦藉由導孔下排至井底，由水平隧道既有污水處理設備處理後排放。此工法與傳統沉挖工法之差異，為除可節省開挖碴料必須由豎井井口提吊，再經由彎延曲折之通達道路運輸。施工排水亦不須藉由強制

抽水系統強制抽出至井外增設之污水理設備處理後才可排放，大幅節省碴料運輸、污水處理之時間及成本費用。

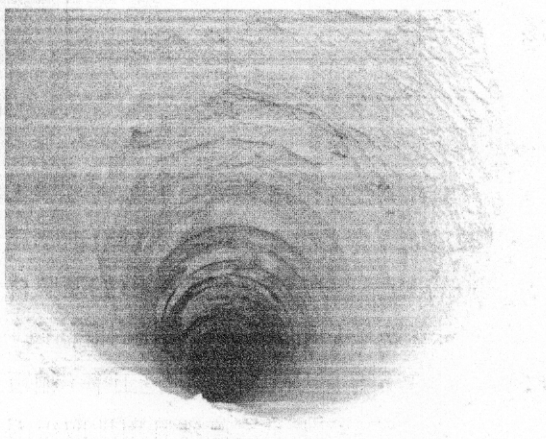
本豎井向下擴挖過程，曾因導孔擴孔後，於遭遇剪裂破碎帶之擴孔段，開挖壁面因長久無支撐狀態之自然風化與解壓及落碴撞擊之影響，致導孔孔壁呈不規則崩塌，超出開挖線達3m，經檢討後於垂直開挖面向增設支撐鋼管及鋼線網等支撐工，再逐環以噴凝土封面及填實崩塌處等快速應變支撐措施，目前已安全通過地質不良區段，本豎井即將在本(93)年10月開挖完成，其開挖最高工率曾達93m/月，亦為國內豎井最高開挖進度，施工情形詳照片一~四。



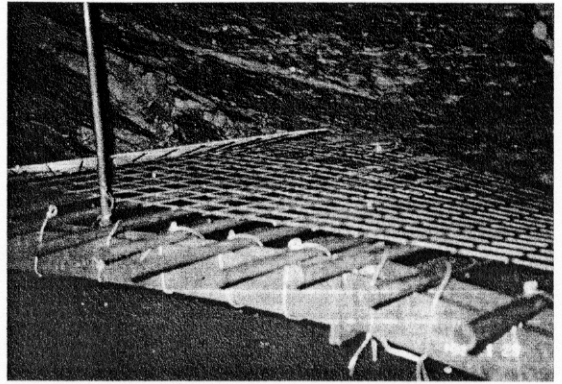
照片一 昇井工法鑽機導孔導向鑽孔系統



照片二 昇井工法擴孔鑽頭



照片三 昇井工法向上擴孔完成



照片四 沉挖時發生坍塌及岩楔情形

四、沉挖工法案例探討—以三號豎井為例

(一)三號豎井地質概述

雪山隧道三號豎井位於一座獨立山頭之坡腰，地層屬始新世之四稜砂岩，係由石英砂岩間夾粉質細砂岩、泥岩及炭質岩等構成。其中偶夾局部淺層火成岩之細岩脈及凝灰岩。

岩層層理平緩，位態相當均緻，節理不連續面甚為顯著與發達，地下水位約在地面下55公尺，預估施工時之滲水量大。

(二)三號豎井地質弱帶處理概述

1.三號豎井排氣井L.W.灌漿工法

雪山隧道三號豎井排氣井因位於豎井下方之導坑尚未開挖通過，致無法採昇井工法施工，須採傳統沉挖工法開挖；並因井體位址之岩盤為四稜砂岩層，岩體破碎、地下水豐沛，且地層之軸向多為高角度傾斜或垂直，致地下水多流至開挖面，造成施工非常艱困且施工品質較難完全掌控，故檢討評估後，採先行止水灌漿工法，減少井內滲水，並輔以強制抽排水系

統，再進行開挖作業，以確保豎井之施工進度及品質。

三號豎井灌漿作業之主要目的係降低開挖面側壁之滲水量及增加其穩定性，使開挖作業順利進行，並經多種灌漿方法、多次施灌及比較評估結果，L.W.灌漿工法效果較佳，故採L.W.灌漿工法以短階先灌後挖方式施作，並已順利開挖至

井底。

三號豎井L.W.漿液膠凝時間及配比，如表三所示，並得依現場施灌情況調整，且灌漿工法每次施灌19m、開挖15m，範圍約為井壁外8m，採三環佈置，A、B環每環8孔，交錯排列，C環4孔兼做檢查孔，其各階深度及灌漿壓力詳表四。

表三 三號豎井L.W.灌漿配比表

A劑			B劑			合計 (公升)	膠凝時間 (秒)	A劑濃度 (%)	A劑濃度 (%)
水泥 (公斤)	水 (公升)	合計 (公升)	水玻璃 (公升)	水 (公升)	合計 (公升)				
50	176	192	96	96	192	384	113	8.30	50
50	151	167	84	83	167	334	91	9.50	50
50	109	125	63	62	125	250	64	12.70	50
100	168	200	100	100	200	400	51	15.90	50
100	135	167	84	83	167	334	45	19.10	50
100	93	125	63	62	125	250	31	25.40	50
200	136	200	100	100	200	400	26	31.80	50

表四 三號豎井L.W灌漿各階段深度及灌漿壓力表

階段數	A	B	C	深度(m)	PVC管埋設深度 (m)	灌漿壓力 (kg/cm ²)
一	8孔	8孔		5m	4	15
二	8孔	8孔		12m	11	25
三	8孔	8孔		19m	18	40
檢查孔			4孔	19m	18	40

2.三號豎井進氣井深孔皂土水泥灌漿

雪山隧道三號豎井進氣井深度約438m，地層屬始新世之四稜砂岩，因臨近東洞口段斷層群，雖岩體品質尚可，但透水性較高，致開挖期間地下滲水量甚大，若未事先加以處理，恐無法如期如質施工，經參考烏克蘭STG公司與中國大陸有

關豎井開挖採用黏土(或皂土)水泥灌漿工法之成果報告文獻，其滲水量阻絕率達90%以上，並多次就灌漿方案(如灌漿材料、灌漿方式及灌漿時程等)檢討評估後，引進該灌漿工法，以提高開挖工率，縮短工期；惟因環保意識高漲且用地取得困難，無法採擷適量之黏土材料，而以皂土

替代黏土施作。三號豎井深孔皂土水泥灌漿，其工法之特性、配比及灌漿程序，亦如三、(二)、2及三、(二)、3所述。

(三)三號豎井沉挖工法施工概述

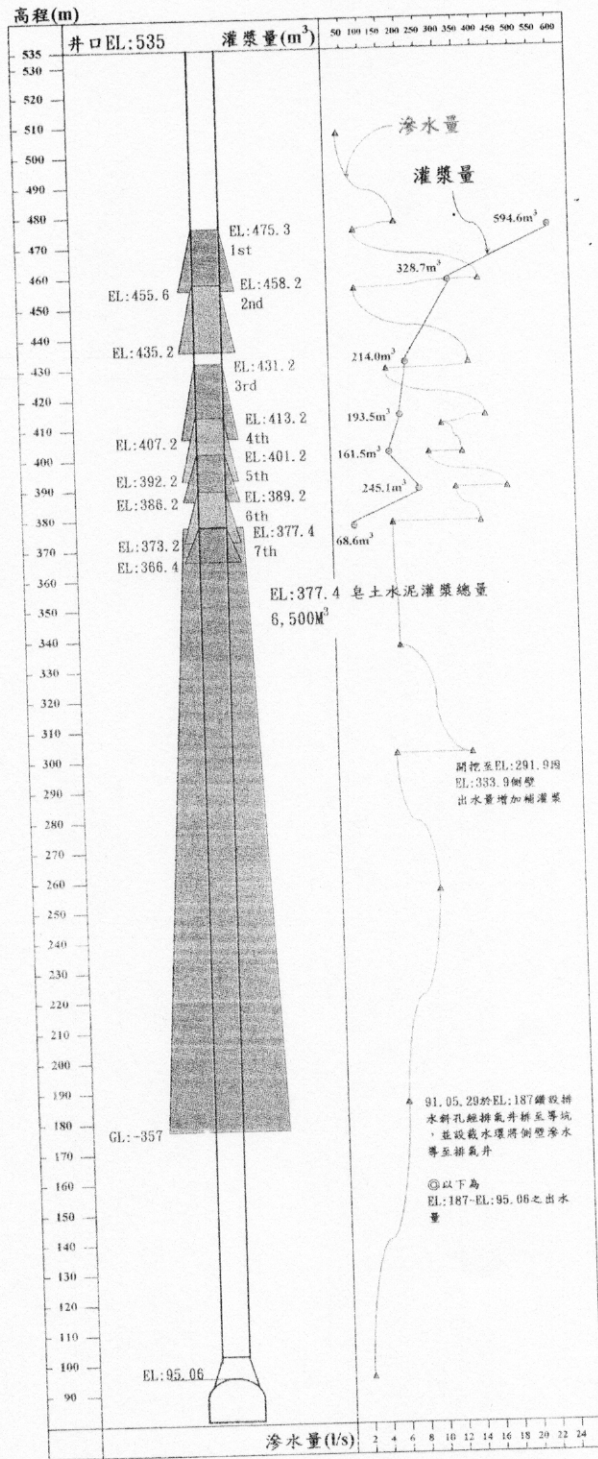
三號豎井之進氣井深度438m，排氣井459m，相距50m，內徑均為6.0m，係位於北宜公路四堵苗圃附近，距離坪林隧道東洞口約3.5km。由於下方之導坑施工進度落後，尚未能到達豎井位置，依豎井施工方法研擬後，僅能以沉挖工法施工，無法採用昇井工法施工。

三號豎井進、排氣井均採沉挖工法、本文僅以進氣井為例，說明如后：

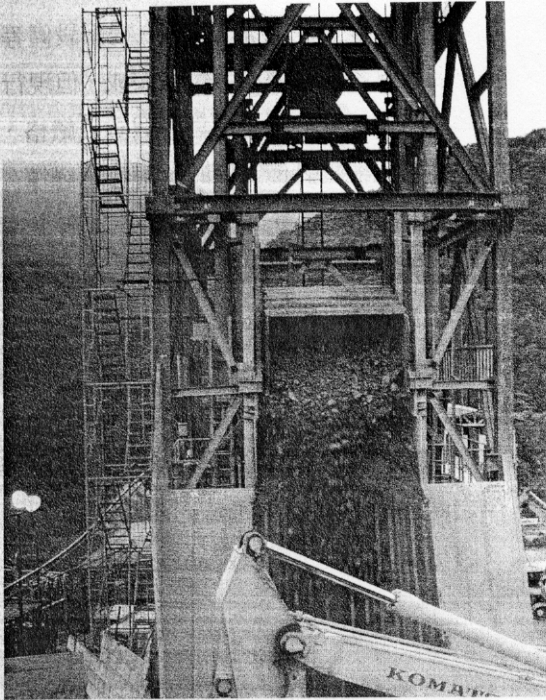
- 1.三號豎井進氣井以沉挖工法開挖深度達57.7m時，因開挖面已低於地下水水位線，井內滲水量達7.4 l/s，因本豎井之岩盤節理不連續面發達，透水性高，如不進行止水灌漿，已無法施工，於是實施第一次灌漿處理，灌漿材料採水泥漿及水泥砂漿，出水量改善至3 l/s，惟僅下挖17.1m，滲水量又增加至16.2 l/s，於是此後持續以短階L.W.止水灌漿配合沉挖工法交互施工，計灌漿處理7次，總開挖深度為157.6m。
- 2.三號豎井進氣井經多次就灌漿方案(如灌漿材料、灌漿方式及灌漿時程等)檢討評估後，最後改用水泥與水玻璃混合之L.W.灌漿，經試灌效果良好，開挖面鮮少滲水，但止水效果隨開挖深度遞減，由滲水剖面圖可見遞減速率甚大，詳圖五，亦即處理深度太深效果則較不顯著。此外，觀察豎井壁面，灌漿後初期呈乾燥狀態，惟隨時間及下挖後開始慢慢滲水，約半年後

則大量滲水，可確定其有效期間約半年，而井壁再作二次止水灌漿之作業非常困難，效果亦有限。

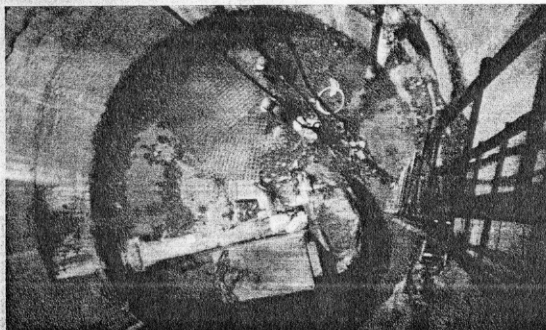
- 3.為了提高進氣井開挖工率且考量L.W.灌漿材料有隨時間增長而出現水解現象，於是自深度157.6m以下改採深孔皂土水泥灌漿。惟當逐孔分階施灌漿至深度357m時，因鑽機能量、鑽桿口徑過小、鑽串重量不足，且受井址岩盤堅硬破碎，於硬頁岩與石英砂岩互層間之硬度與強度差異過大，致井底垂直(偏斜率)精度無法控制於預期之2%範圍內，而停止往下施灌。三號豎井進氣井採深孔皂土水泥灌漿後之後續開挖作業，由於滲水量已大幅降低，深度157~357m區段開挖過程中，除於深度243.1m處，因地質惡劣且側壁滲水量變大，須採補灌措施外，其餘區段大致維持於6~7 l/s，致開挖工作順利進行，最高月進度達39m，顯見深孔皂土水泥灌漿作業對提升豎井開挖工進有顯著成效。
- 4.三號豎井進氣井以沉挖工法開挖，其開挖面側壁之滲水量皆須以強制抽排水系統接駁抽排至井外，為舒解井內強制抽排水系統故障維修時間影響開挖工進，遂於進氣井深度約345m處往已開挖完成之排氣井鑽設斜向排水孔，結合深度357m以下之排水系統，將井內滲水量往排氣井抽排，再經由導坑排至雪山隧道東洞口，以節省強制抽排水及污水處理之時間及費用，進氣井全程已順利於91年10月開挖完成，施工情形詳照片五~八。



圖五 三號豎井進氣井灌漿量與滲水量關係圖



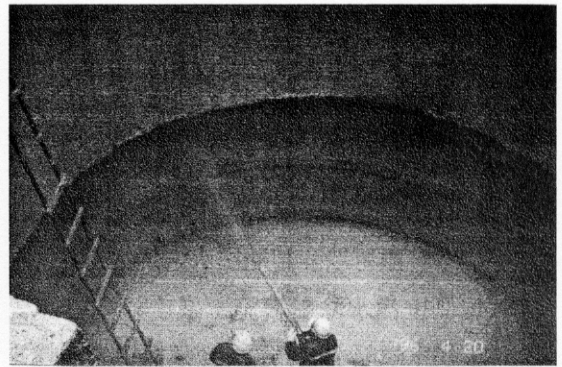
照片五 沉挖工法施工一出渣情形



照片六 沉挖工法施工一修挖情形



照片七、沉挖工法施工一鋼筋組立



照片八 沉挖工法施工一噴凝土

五、豎井施工工法檢討與建議

(一)檢討

1. 昇井工法導孔之偏差一般約為1%至2%，換算成500m豎井之偏差約5m至10m，而雪山隧道一號豎井之進氣井導孔約500m深，因採用精密的導向鑽孔系統(Directional Drilling System D.D.S.)儀器，偏差僅約14cm。
2. 地質弱帶進行皂土水泥灌漿處理鑽孔時，因鑽機鑽桿內徑僅約10cm，雖採用測斜儀器，鑽孔偏差亦曾達1.5%，致須費時進行修孔作業。
3. 昇井工法施工前，地質情況必須深入瞭解，並預先針對地質弱帶加以確實處理，俾避免鑽設導孔或擴孔發生卡鑽或大量岩碴坍塌現象。
4. 昇井工法深度達350m以上時，因困難度甚高，故除必須有良好性能之昇井機具等設備外，更需具有優良執行昇井工法資歷、技術與經驗之施工團隊。
5. 豎井工程因大都係在施工環境較差處施作，故在評選施工方法、施工程序、施工

機具及施工人員等時，均需特別衡量安全性，並符合安全衛生及環保相關法令。

6.沉挖工法開挖，其由岩層裂隙滲出之水皆必須以抽水機強制抽水之方式抽出井外，才能確保開挖面能順利開挖。豎井的滲水，雖可以強制抽排水方式抽出井外，但側壁滲水除影響施工進度外亦將影響支撐工噴凝土之品質，致須採預先灌漿方式減少滲水量，降低抽水機之負擔，並使開挖及支撐等工作得以順利進行。

(二)建議

1.我國因較具規模之豎井工程數量不多，以

致往昔甚多豎井工程之鑽機、提吊設備等重要機具設備均係混合組裝而成，但現行安全衛生相關法令，已日愈周全及嚴格，故在施工機具設備選擇時，應特別謹慎。

2.雪山隧道一號豎井昇井工法之施工案例，無論地質弱帶處理或昇井上擴工法均有相當成效，建議爾後豎井工程界人士可作評選之參考。

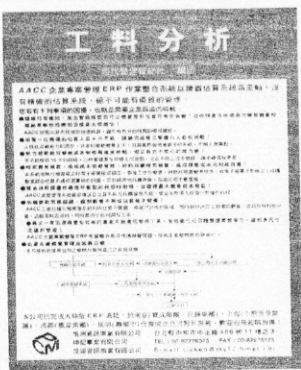
3.沉挖工法開挖前應進行適當之地質及水文調查、慎選適當的開挖方式及地質弱帶之處理模式(如灌漿工法、灌漿材料等)，將更能掌控施工進度及品質。■

參考文獻

- 1.交通部國道新建工程局，「北宜高速公路坪林隧道導坑工程地質調查工作91年度簡要報告」，(2002)。
- 2.交通部國道新建工程局，「三號通風豎井EL.401.2隔幕灌漿施工計畫」，(1999)。
- 3.交通部國道新建工程局，「三號通風豎井進氣井EL.377.4以下全程止水隔幕預灌處理施工計畫」，(2000)。
- 4.交通部國道新建工程局，「一號通風豎井全程止水隔幕預灌處理施工計畫」，(2001)。

營建工程界隨時必備

工料分析



■93年5月(再版)

■(平裝/16開/262頁)

■定價390元(含郵資40元)

本書專為營建工程招標、估算時最實用之工具書，內容包括工料項目、單價、工率等，全部皆經由營造業從業員實際參與詢價審慎評估後，所整理出的正確資料，仍然是目前國內具有單價、複價數據資料參考的「工料分析」，深信工程業界朋友能擁有它，在執行估算實務時更能得心應手。

訂購專線(02)2551-8906 劃撥01510899 現代營建雜誌社