

從蘇花改觀音隧道開炸技術探討如何提升工兵隧道開炸作業能力之研析

李文德士官長

陸軍工兵學校士官高級班 92-1 期、軍備局技勤士官長正規班 94-1 期。曾任助教、補給士、管制士、修護士，現任職於工兵訓練中心戰工組教官。

提要

- 一、因應經濟發展及交通建設之需要，國內隧道工程近年來蓬勃發展，在各種隧道開挖方式中，鑽炸工法由於適用之地質條件廣、施工成本合理，對於地質變化多端的台灣本島，遂成為應用最多的開挖方式。
- 二、有別於傳統隧道開炸施工法，觀音隧道採用現今各國普遍採用之方法-新奧工法，該工法係新奧地利隧道施工法(New Austrian Tunneling Method, NATM)之簡稱，工法之基本概念為利用岩體本身具有之自持力的特性而發展之隧道施工法；於隧道開挖後，利用噴凝土、岩栓、支保等支撐構件，配合周圍岩體形成支撐力，支撐作用於隧道之岩壓、水壓等作用力。

關鍵字：鑽炸工法、新奧工法、隧道工程

前言

開挖為岩石隧道工程之關鍵技術，鑽炸工法由於具有因地制宜的彈性施工特性，遂成為應用最廣的岩石隧道開挖方式。隧道鑽炸施工通常由鑽炸施工人員視開挖地質狀況、炸孔布置及炸藥用量，再依據開炸成果與岩體安定性等步驟，逐步修正開炸作業。

一、研究背景與動機

近年來國內隧道工程蓬勃發展，工程界對於隧道施工品質要求大幅提高，陸續引進許多國外先進技術，使國內隧道工程技術日益純熟。其中隧道開炸技術更是歷經爆破理論的革新、均滑開炸及預裂開炸觀念普遍落實，本土化的隧道開炸技術已具備優良雛形。

二、研究目的

國軍除早期於外島實施構工時，曾經實際執行坑道爆破作業外，近期並無實際相關隧道爆破工程，國軍準則內對於採石隧道爆破作業方式雖有相關篇幅介紹，惟缺乏相關工作經驗及數據。筆者擬藉近期蘇花改觀音隧道爆破工法探討，如何提升工兵隧道之鑽炸施工技術。

三、研究範圍與限制

本次研究範圍係針對觀音隧道開炸工法為案例，並從國軍早期隧道開炸案例及現行準則說明作業方式中探討國軍是否有何精進空間。

四、研究方法與流程

本研究藉由蒐集相關準則、論文、期刊、雜誌及報告，綜合研析以獲得研究結果。首先探討觀音隧道爆破工法，再從早期工兵傳統隧道爆破作業方式及現行準則所說明隧道爆破方法，探討如何有效提升國軍隧道開炸能力，奠定作業能力根基。

蘇花改觀音隧道開炸技術探討

一、蘇花公路改善計畫緣起概述

台 9 線蘇花公路自早期的步道起，大多以開鑿山壁所建造，又因地質條件與瀕臨太平洋，因此，一直面臨岩石風化與剝離之窘境，從步道、單車道，到雙車道改善後，現實條件從沒改變，故現況維護與改善一直是公路總局持續辦理之重要工作。但對於以原路的改善方式，是無法大幅提升其抗災能力。

蘇花公路改善計畫，正式名稱為台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫，簡稱蘇花改，實施路段為台 9 線蘇澳-崇德段。台灣東部首要的聯外道路蘇花公路在日治時代開闢以來，一直未能維持長期穩定的安全度，交通部公路總局因而提出此改善計畫，以根本性的提升蘇花公路服務品質。自 2010

年蘇花公路遊覽車事故後，加速通過環評，並於 2011 年 1 月動工。

本計畫原則上以提高公路安全及抗災能力為目標，依不同路段研擬出工程最佳方案，除仁水隧道(和人至大清水)有輕慢車道外，其餘皆禁止輕慢車行駛，行車速率每小時 60-80 公里。改善路段包含蘇澳-東澳段、南澳-和平段、和中-大清水段，新建改善長度 38.4 公里，隧道工程含觀音隧道等四座總計 23.6 公里，預計於 2016 年底前全線貫通。

二、工程地形、地理環境及地質概況

蘇花改觀音隧道北起南澳南溪計畫堤線右岸山嶺坡地(B1 標、南澳武塔段新建工程終點處)，向南穿越中央山脈至鼓風溪谷北側約 2300 公尺處，全長約 5.7 公里，為蘇花公路改善計畫中最主要之關鍵工程，觀音隧道於民國 101 年 5 月開工，利用舊北迴鐵路為

基礎並打設橫坑至主線，藉以縮短主線貫通期程，現今工程現況北上線已於 104 年 11 月 14 日貫通，南下線於 105 年 5 月 3 日貫通。

隧道位處中央山脈北段之東側山麓地帶，東臨太平洋，路線與蘇花斷崖海岸大致平行，地形上屬於 200-1300 公尺高之陡峭邊坡，坡面的風化及侵蝕作用十分發達。沿線穿越多條東西走向之溪流，形成大量地下逕流，地下水豐沛。隧道位於中央山脈東斜面地質區北段末，地質岩層為變質雜岩所組成之大南澳片岩，以黑色片岩為主，間夾綠色片岩、矽質片岩及結晶石灰岩，岩質脆落，岩層片理、節理摺皺及斷層發達。大致而言，隧道穿越之岩層片理發達且脆落，易破碎剝落，隧道施工時曾遭遇多次抽心、落盤及湧水等災害。

三、隧道開炸施工法簡介

有別於傳統隧道開炸施工法，觀音隧道採用現今各國普遍採用之方法-新奧工法¹，該工法係新奧地利隧道施工法(New Austrian Tunneling Method, NATM)之簡稱，工法之基本概念為利用岩體本身具有之自持力的特性而發展之隧道施工法；於隧道開挖後，利用噴凝土、岩栓、支保等支撐構件，配合周圍岩體形成支撐力，支撐作用於隧道之岩壓、水壓等作用力。為確

保隧道穩定安全，新奧工法藉量測儀器監控開挖岩體，支撐設施之應力。相較於傳統隧道工法，新奧工法之特點包括：充分利用岩體之自持能力；利用複合支撐系統，開挖後立即架設支撐；對於周圍岩體擾動較少，施工方式具彈性且具整體之經濟性。因其上述特性，且強調「配合開挖面之地質狀況及監測成果，彈性調整施工」，故適用於觀音隧道地質構造複雜之隧道施工。

(一)新奧工法基本原則²

1. 隧道之支撐，係以四周岩體承擔。
2. 隧道開挖後，利用噴凝土或岩釘繼續保持岩體之三軸應力，而使岩體處於穩定狀態。
3. 支保或襯砌施工時機需恰當，過早則承受甚大壓力，過遲則岩體失去自持能力而坍塌。
4. 襯砌應採用可撓性之薄層方式，避免彎曲破壞，亦可用鋼絲網或岩釘加強。
5. 襯砌方式與時機，由岩體變位狀況決定。
6. 隧道開挖時應採用台階法，避免岩石應力產生變化。
7. 岩盤、主要襯砌(噴凝土、岩釘、鋼支保)與次要襯砌(混凝土)需密切結合，以傳遞逕向應力。

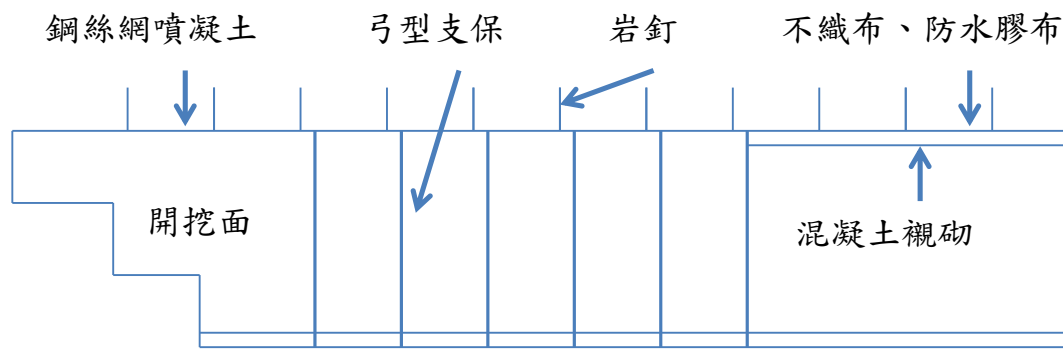
(二)新奧工法隧道開炸作業程序³

¹ 林明慶，《隧道開炸之施工探討》，地工技術雜誌，第 19 期，西元 1987 年。

² 蕭弘吉，《新奧工法之探討》，http://lib.dlit.edu.tw/dlit/flysheet_admin，西元 2006 年。

³ 黃文，《隧道開炸作業流程》，隧道開炸技術暨諮詢系統研討會，西元 2000 年 1 月 14 日。

圖一 新奧工法施工示意圖



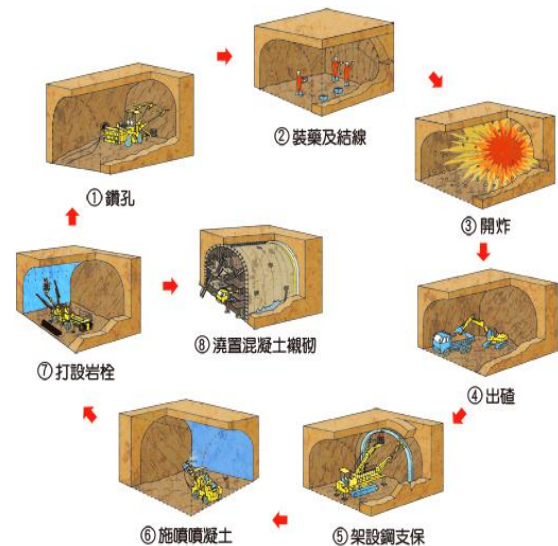
資料來源：<http://www.cyut.edu.tw/~wdshiau/teach/land/CH9.pdf>，西元 2016 年 7 月 12 日。

開挖為隧道循環施工之首環作業，也是最重要一環。採用鑽炸法施工的隧道中，跟開炸有關的作業項目包含開挖面地質研判、佈孔及藥量修正、定位及鑽孔、清孔及裝藥填塞、爆破及通風、清除浮石及出渣、開炸作業紀錄及評估等，如圖二所示，各項作業重點分述如下：

1.開挖面地質研判：鑽炸開挖作業受地質因素影響，如岩石種類、強度、密度、震波傳遞速度、不連續面性質等，因應不同的地質情況，設計適當的炸孔佈設，使用適當的炸藥量與延時引爆順序，係開炸作業中極為重要之施工控制項目。

2.佈孔及藥量修正：佈孔及藥量計算方式為鑽炸輪進施工之依據，惟因地質形況之複雜性與岩體性質之變異性，為避免過程中出現異常開炸現象，如失炸、超炸及炸出不足等，故施工過程中通常一定輪進距離(一般約 50-100 公尺，或 20-50 輪進)後，爆破工程師或鑽炸從業人員將依據實際之

圖二 新奧工法作業程序圖

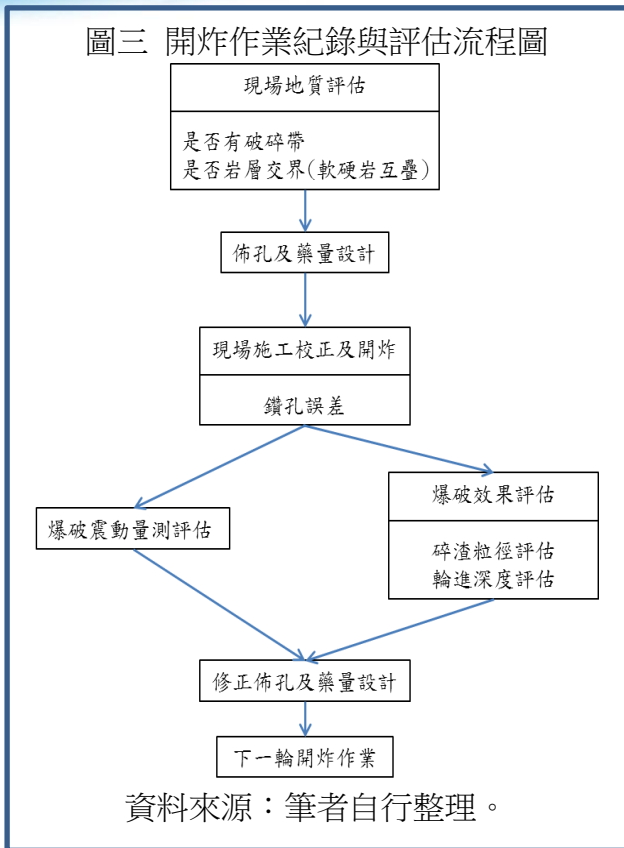


資料來源：蘇花公路改善工程處，<http://suhua.thb.gov.tw>，西元 2016 年 7

炸孔佈置位置、填裝藥量、雷管延時段數及開炸成果等因素，檢討炸孔佈置及填裝藥量、開炸作業之執行，尋求更適當之開炸方式。

3.定位及鑽孔：鑽孔作業依施作順序可分：準備、放樣與定位、開孔、穿鑿、拔桿、移機及鑽桿移位等六個步驟。良好的鑽孔為開炸作業中極為重要的施工控制項目，炸孔位置、鑽孔角度、長度等因素皆須準確地按炸

圖三 開炸作業紀錄與評估流程圖



孔佈置圖施作，始可得到良好的鑽炸效果。

4.清孔及裝藥填塞：鑽孔完成後，應以鐵鉤等工具清除孔內雜物、石渣，並汲出孔內積水，檢查炸孔深度是否正確，始可實施裝藥；每一炸孔藥量須依設計值配合適當的延時雷管謹慎填裝，避免裝填錯誤延時雷管，錯亂引爆順序。裝藥後須填塞，填塞可採 1:2 或 1:3 的沙和黏土混合物，加入少量的水形成泥團，做成柱狀填塞物，並利用長桿填入炸孔內。一般而言，炸孔長度不可超過炸孔長度的三分之一。

5.爆破及通風：引爆作業需指定專人負責且須具備國家核可之專業爆破

證照始可執行，引爆前應將人員及機具移至安全距離外，引爆區附近須以警戒燈警示，禁止人員進入。炸藥引爆後產生會有害氣體、粉塵，盡速開啟通風設備將其排除，工作人員始可接近開挖面。

6.清除浮石及出渣：爆破後須自隧道洞口至開挖面，由上到下仔細檢查是否因開炸導致浮石或支撐之不穩定狀況，並注意開挖面是否失炸。如有浮石或失炸現象，應先行處理後再行出渣。

7.開炸作業紀錄及評估：每一輪進的開炸作業需針對地質情況、佈孔與用藥量、開炸作業狀況、開炸成果等項目詳加記錄如圖三所示，以便檢討改進，達到勻滑開炸的目的。

工兵隧道開炸能力分析

一、早期隧道開挖作業方式

早期工兵隧道開挖方式為使用鑽炸法⁴，又稱鑽爆法，為使用爆破方式進行隧道開挖作業，首先在開挖處鑽孔，把炸藥埋入其中並引爆，利用瞬間激發的震波破碎岩石。由於炸藥位於洞中，爆破時力量不易散失，所以能夠發揮炸藥的力道，炸碎大量的岩石，使開挖工程持續進行。施工流程如下：

(一)鑽孔及爆破：在岩石爆破面上鑽取若干適當深度炸孔，並裝填爆材。

⁴ 朱紹義，《北二高岩石隧道工程鑽炸施工法之施工技術與開挖進度探討》，碩士論文，西元 1993 年。

(二)通風：爆破後以人工方式排除爆破後產生的有毒氣體。

(三)出渣：清除爆破所產生之石渣。

(四)支撐及防護：利用臨時支撐穩定開挖後之拱頂。

(五)襯砌：於適當時機，加設隧道永久襯砌。

國軍早期於外島實施坑道挖掘時即採用鑽炸法，以金門翟山坑道為例，該坑道於民國 52 年開挖，由當時陸軍五十八及九十三步兵師的工兵，以三班制的方式，日夜輪替所開鑿建造，至民國 55 年完工，整個坑道由水道及坑道兩個部分組成，坑道部分長約 101 公尺、寬約 6 公尺、高約 3.5 公尺；水道部分長約 357 公尺、寬約 11.5 公尺、高約 8 公尺，因當時礙於技術、裝備不足因素，當年坑道開鑿是用人力穿鑿而成，工兵以空氣壓縮機打洞，鑽上三、四十個孔以後，再嵌入炸藥裝上信管，接上點火線路後，拉到洞外安全距離掩蔽處，再行擊發引爆，爆破後的石塊以人力用鐵畚箕和臉盆一箕一盆的清理出來，接著使用十字稿、圓鋤等工具修整坑道，工程艱鉅且耗費人力及時間。

二、隧道爆破作業方式

早期外島因戰備需求曾派遣工兵執行多次坑道爆破作業，如金門翟山、九宮坑道，馬祖北海、八八坑道等工程，近期則較少執行類似工程，不過

工兵如因作戰需求須執行隧道爆破作業時，則有相關作業方式可供執行。

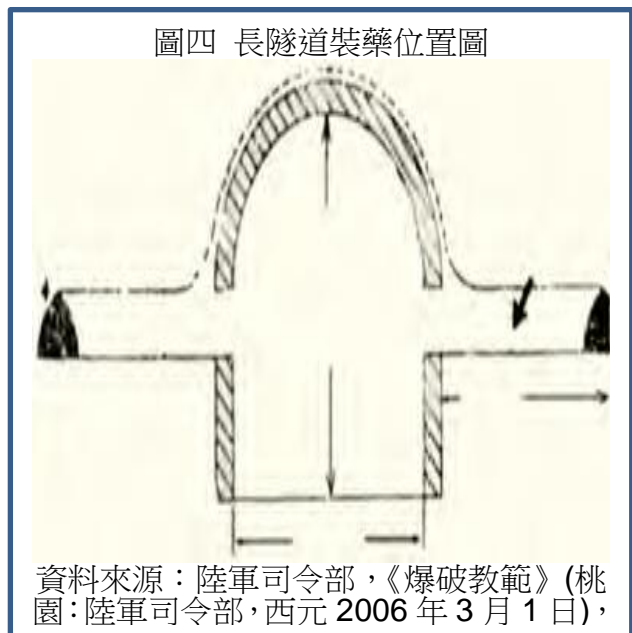
(一)坑道種類型式：堅硬岩石及混凝土被覆之隧道、木質隧道。

(二)爆破方式

1. 堅硬岩石及混凝土被覆之隧道⁵

(1)周密破壞法：時間充裕，對高度 22 英呎，寬 16 英呎，或更大之坑(隧)道係混凝土質，可用此法，為作業便易，可尋找原隧道既設藥室。長隧道常設置通氣孔，藥室位置常於通氣孔附近(如圖四)，如無通氣孔，則以鐵器在頂部敲擊，遇有不實之聲，則可察知其藥室，隧道中開設藥室應靠近弧拱變換線並與道軸平行，作丁字形藥室(如圖五)，藥室高度勿低於 4.5 英呎、寬勿小於 3.5 英呎。在隧道兩側壁各設四個裝藥，每個置爆藥 750 磅。各壁之藥室相距至少 30 英呎，距隧道壁至少 15 英呎，其藥室端末距隧道入口至

圖四 長隧道裝藥位置圖



資料來源：陸軍司令部，《爆破教範》(桃園：陸軍司令部，西元 2006 年 3 月 1 日)，

⁵ 陸軍司令部，《爆破教範》，民國 95 年 3 月 1 日，頁 4-81。

少為30英呎，靠近丁字口藥室之裝藥應以沙袋填塞。可用30磅至40磅之爆藥爆破之。

(2)急迫破壞法⁶

A.隧道入口部之爆破：硬岩石及混凝土之隧道，如頂部距地面不高，則破壞入口部極易將其阻塞。破壞裝藥需置於隧道上穿孔內，孔深應超過地面至隧道頂部距離之半。

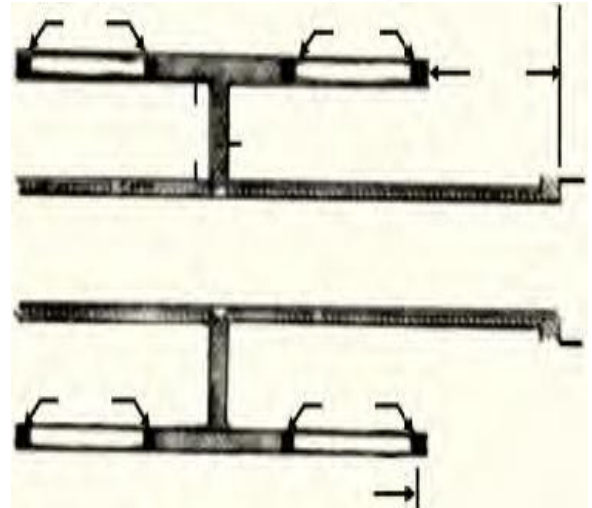
B.隧道內裝藥：

a.坑道頂壁之破壞：用數行破壞裝藥設置於橫過隧道頂部之穿孔內爆破之，如以外部裝藥其效果甚小，各列穿孔由隧道一側之頂壁交接線開始，經過隧道頂部而至他側之交接線，各孔之間隔不得超過 $1.5R$ ，孔深(R)至少為隧道高度之半，如時間許可，沿隧道上至少需穿四列之藥孔，其距離等於孔深，為求破壞效果良好，頂部中央孔內之裝藥先行起爆，其他各裝藥以較長之導火索而使之延緩起爆，或使用延遲電雷管起爆。

b.坑道路面之破壞：準道路急迫或周密破壞法開設V形路坑，在坑內注水並破壞，於坑內靠敵側邊坡之亂石泥土中設置地雷。

2.木質隧道：以木材被覆或以鋼材支撐之隧道，將支撐岩石或其他物料之支撐材爆斷之，即可將此隧道阻絕，其裝藥之方法沿兩側之頂壁交接線採每間隔2~3支木質支撐材設置，並

圖五 T型藥室裝藥位置圖



資料來源：陸軍司令部，《爆破教範》(桃園：陸軍司令部，西元2006年3月1日)，頁4-125。

同時起爆。

三、使用爆材及機具

「工欲善其事，必先利其器」，對鑽炸工法而言最重要的器具非爆材和機具莫屬，爆材可區分爆藥與火具兩種；執行隧道爆破作業除所需爆材外，適當輔助機具可提高作業效能，如爆破器材、鑽孔機等。

(一)爆材

1.火具：主要為起爆各式爆藥，使裝置之爆藥產生爆炸。火具選用適當與否，對爆藥之起爆有極大之關係。

(1)緩燃導火索：為起爆雷管之主要火具。主要成分為黑火藥、麻紗、柏油、紙帶、棉紗。

(2)爆炸導火索：係用以引爆裝藥，或使數個裝藥同時起爆，裝藥點火困難處使用爆炸導火索較方便。主要成分為彭梯兒(PENT)高爆炸藥。

(3)普通雷管：供緩燃導火索點

⁶陸軍司令部，《爆破教範》，民國95年3月1日，頁4-81。

火，藉以起爆爆破裝藥。主要成分為發火藥(氯化鉀與雷汞)、起爆藥(氯化鉛)、基本藥(PENT)。

(4)電雷管：用於電器點火，區分瞬發、MS 遲發、DS 遲發等三種。主要成分為起爆藥(氯化鉛)、基本藥(PENT)、傳導用白金線。電雷管為國內應用最多之形式，軍中爆破一般常使用瞬發電雷管，民間爆破通常使用遲發電雷管居多，茲詳細說明其種類及用途：

A. 「瞬發電雷管」

瞬發電雷管經通電後約 1/500 秒以內即可引爆。主要應用於須同時引爆之爆破作業的場合，如大理石、花崗石等礦石之開炸作業，一般工兵執行爆破作業皆使用此種火具。

B. 「MS 遲發電雷管」⁷

MS 遲發電雷管各段數視開挖面需要串連後，以點火機引爆時，全數能同時引火而靠延期藥之控制後能依段別次序分段引爆。MS 遲發電雷管分為十段。各段遲發間隔較小，所以實際爆破時，前後段炸出的岩石均有互相衝擊的機會，炸出的岩石較碎且均勻，因此適合石灰岩等礦石之開炸作業亦可應用於煤礦坑道等有可燃瓦斯的坑道爆破作業。

C. 「DS 遲發電雷管」⁸

DS 遲發電雷管各段數視開挖面需要串連後，以點火機引爆時，

圖六MS遲發電雷管



圖七 DS遲發電雷管



資料來源：

<http://mrec.myweb.hinet.net/product/product.htm>，西元2016年7月16日。

全數能同時引火而靠延期藥之控制後能依段別次序分段引爆。DS 遲發電雷管共分為十段，各段遲發間隔較大，所以實際爆破後，前段炸出的岩石已大部分落地後，後段始引爆因此延時互相衝擊機會較少，炸出的岩石較大，同時岩石被炸飛距離開挖面較近，即大部份集中於開挖面約五公尺地方，所以清除岩石工作較為方便，隧道內的支撐器材被飛石損壞機會較少，一般適用於無可燃性瓦斯的隧道開炸作業。

2.爆藥：隧道開挖作業能否順利進行，爆藥適當選擇為重要之一環，工兵不論在隧道開炸或巨石爆破作業通常使用代拿邁炸藥，民間爆破則通常採用乳膠炸藥居多，以上兩種爆藥特性分述如下：

(1)代拿邁炸藥：此種炸藥為目

⁷ 江火雄，《隧道爆材簡介》，隧道開炸技術暨諮詢系統研討會，西元 2000 年 1 月 14 日。

⁸ 江火雄，《隧道爆材簡介》，隧道開炸技術暨諮詢系統研討會，西元 2000 年 1 月 14 日。

前軍中主要使用炸藥之一，如圖八，適用於採石、隧道爆破作業，成分為硝化甘油，因硝化甘油為一種極敏感的爆炸性化學物質，使用上具有相當危險性，可由雷管及爆導索起爆。該炸藥因含硝化甘油經由空氣接觸會使人產生頭痛，儲存過久硝化甘油易釋出，遇磨擦及可能產生爆炸且爆炸後會產生過量有毒氣體，故國外多已經不再採用此種炸藥，並以安全性更高且性能更好之炸藥取代。代拿邁炸藥依形式可區分軍用及商用代拿邁兩種，其中軍用代拿邁較之商用代拿邁較為安全穩定，不過使用上仍需注意。

圖八 代拿邁炸藥



資料來源：陸軍司令部，《爆破教範》(桃園：陸軍司令部，西元2006年3月1日)，頁2-13。

(2)乳膠炸藥⁹：乳膠炸藥是由乳化劑等非爆炸性化學原料所組成，並加入化學敏感劑至乳膠炸藥配方中，提高其爆速，亦可加入鋁粉增加炸藥重量強度。乳膠炸藥可由雷管及爆導索起爆。此炸藥安全性及防水性較代拿邁炸藥為佳，且因不含硝化甘油成分，儲存及操作時更為安全，爆炸後

圖九 乳膠炸藥



資料來源：筆者自行拍攝。

所產生有毒氣體遠低於代拿邁炸藥，因此可以更快速及更安全的返回爆破現場繼續工作以增加開挖速度，所以環保及工安的要求均較傳統炸藥高，在絕大多數國家均已逐漸取代代拿邁炸藥。

(二)機具

1.爆破器材：主要為爆破作業時，用以截斷、接續爆藥，或量測點火電路導通及點火引爆爆藥時使用。適切的運用爆破器材能使作業過程更為簡單，裝置更為迅速安全，並使爆藥能確實產生爆炸。國軍之爆破器材均係成套裝備，置放在爆破箱中。依使用功能，器材種類區分如下¹⁰：

(1)點火具類：安全導通實驗器、20 及 200 發點火器、火具接合具、爆炸導火索夾。

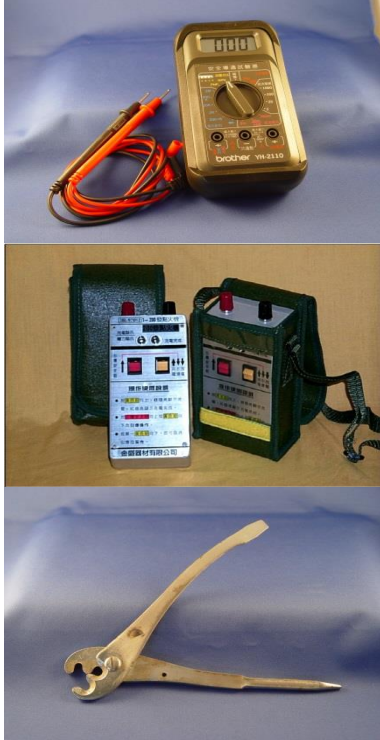
(2)工具類：雷管鉗、六用小鋼刀、剝皮刀、線工鉗、50 公尺測量尺、5 公尺測量尺、帆布攜行袋、10 枚雷管盒。

⁹ 江火雄，《隧道爆材簡介》，隧道開炸技術暨諮詢系統研討會，西元 2000 年 1 月 14 日。

¹⁰ 陸軍司令部，《爆破教範》(桃園：陸軍司令部，西元 2006 年 3 月 1 日)，頁 2-47。

(3)線材類：絡車總成、電雷管連接線、麻繩、黑色膠粘布、包紮膠帶、雙面膠布。

圖十 安全導通試驗器、點火機、雷管鉗



資料來源：陸軍ROC203 PC爆破鑽孔機操作手冊(第一版)，頁1-1。

2.鑽孔機：鑽炸法為完成開炸作業，須於前方岩盤以鑽孔機鑽孔，並於孔內填塞炸藥及火具、導線，連接至點火機引爆炸藥。為確保開炸作業順利，適當選擇鑽孔機可提高工作效率，國軍從早期運用人力手持鑿子鑽孔至目前使用動力鑽孔工具，作業效能明顯提升。

四、小結

綜合以上研析，茲將工兵傳統隧道開炸方式與觀音隧道開炸作業模式的優缺點作一比較：

圖十一 爆破鑽孔機



資料來源：陸軍ROC203 PC爆破鑽孔機操作手冊(第一版)，頁1-1。

檢討與精進作為

一、落實人員培訓，建立專業師資

培育隧道開炸作業人員，除了要有紮實的教育經過嚴格的訓練外，並且要落實經驗傳承與發展經營，始能使專業人才長留久用，作業技術不斷精進，為提升工兵隧道開炸能力，建議遴選優秀人員輔導考取國家級專業爆破證照，並納編此方面優秀人員為專業師資，使其具備持續蒐整各種國內外隧道開挖工程技術，並能輔導部隊執行隧道開炸的能力，使作業技術不斷精進，奠定作業能力根基。

(一)學校教育：由本中心開班授課，將課程推廣各部隊單位知悉，再由單位選派有意願執行隧道開炸之人員參訓，完訓人員納入師資，返回部隊後藉由駐地訓練及基地訓練時實施教學，以達學校教育目標。

(二)駐地訓練：排定相關課程，並由師資人員擔任教官，教導官兵隧道開炸之技術。

(三)基地訓練：針對駐地訓練不足之部分，於基地訓練時加強，並驗證訓練成效，增進隧道開炸之能力。

二、改善機具裝備，提升作業效能

(一)充裕的經費與完善的設備是一樣的重要，而目前國軍爆破器材如成套爆破工具箱，裝備老舊且已屆使用年限，相關特殊器材如點火機、安全導通試驗器、雷管鉗等損壞後無廠商維修，是目前各單位之通病，所以亟需更新與整備，建議參考國外專業爆破公司籌補新式裝備，所謂「巧婦難為無米之炊」，惟有從根本改善，方能提高作業效能。

未來執行巨石爆破或隧道開炸時使用。

三、增取參與民間工程，提升作業能力

國軍除早期於外島實施坑道構工時，曾經實際執行坑道爆破作業外，近期除了救災時曾經執行過巨石爆破任務外，並無實際相關隧道爆破工程，國軍準則內對於採石爆破、巨石爆破及隧道爆破等作業方式雖有相關篇幅介紹，惟缺乏相關工作經驗及數據。反觀國內諸多重大工程建設，如雪山隧道、蘇花改隧道工程等，除委任民間專業爆破公司執行隧道開挖作業外，

表一 傳統鑽炸法與新奧工法優缺點比較表

區分	方法	定義	優點	缺點
工兵	傳統鑽炸法	將炸藥埋入鑽孔內引爆，於瞬間激發爆震波破碎岩石	成本較低	開挖量不易精確控制，對於周遭岩體的擾動相當大，相對危險性增高
民間 (觀音隧道)	新奧工法	利用岩體本身具有之自持力的特性而發展之隧道施工法	充分利用岩體之自持能力；利用複合支撐系統，開挖後立即架設支撐；對於周圍岩體擾動較少，施工方式具彈性且具整體之經濟性。	成本較高

資料來源 筆者自行整理。

(二)代拿邁炸藥為國軍制式炸藥，適用於採石及隧道開炸作業，但該炸藥因內含硝化甘油，儲存過久硝化甘油易釋出，輕微摩擦容易產生爆炸，使用上具有危險性。而民間隧道開炸時一般皆使用乳膠炸藥，因該炸藥具有比代拿邁更佳的防水性佳，且使用上相對安全，威力亦不遜代拿邁炸藥，建議國軍應採購或生產此類炸藥，供

亦陸續引進許多國外隧道工程先進國家之設計理念、施工法及機具設備，建議國軍應積極增取參與民間相關隧道工程，對國軍整體隧道開炸作業能力必能有所提升。

結語

鑽炸開挖為岩石隧道工程之關鍵技術，但開炸技術受地質環境因素影

響甚大，由於台灣地質較為複雜，鑽炸工法預期仍為未來隧道開挖方式之一，而國軍對於隧道開炸技術缺乏實際施工經驗，故提升工兵隧道之鑽炸施工技術相當迫切，未來國軍對於隧道工程鑽炸人員之訓練、專業爆破師資之養成、國外先進爆破器材及機具之引進等，皆有相當改善之空間。期望藉由觀音隧道開炸技術為案例，作為國軍隧道工程開炸技術及改進之參考。

參考文獻

中文書籍：

陸軍司令部，《爆破教範》(桃園：陸軍司令部，西元 2006 年 3 月 1 日)。

中文期刊：

1. 林明慶，〈隧道開炸之施工探討〉《地工技術雜誌》(台北)，第 19 期，西元 1987 年。
2. 黃文，〈隧道開炸作業流程〉《隧道開炸技術暨諮詢系統研討會》，西元 2000 年 1 月 14 日
3. 朱紹義，〈北二高岩石隧道工程鑽炸施工法之施工技術與開挖進度探討〉《碩士論文》，西元 1993 年
4. 江火雄，〈隧道爆材簡介〉《隧道開炸技術暨諮詢系統研討會》，西元 2000 年 1 月 14 日

網路引用：

蕭弘吉，〈新奧工法之探討〉，<http://lib.dlit.edu.tw/dlit/>，西元 2016 年 7 月 16 日。