

44
772202

中國工程師手冊

(3) 隧 道

周 文 德

厚 生 出 版 社

2037

中國工程師手冊總目

A. 基本手冊

- | | |
|----------|------------|
| A-1 算表 | A-7 材料力學 |
| A-2 算學 | A-8 應用流體力學 |
| A-3 高等算學 | A-9 測量學 |
| A-4 物理 | A-10 工程地質 |
| A-5 化學 | A-11 工程契約 |
| A-6 應用力學 | A-12 換算表 |

B. 土木手冊

- | | |
|----------|-----------|
| B-1 工程材料 | B-11 隧道 |
| B-2 材料試驗 | B-12 土木機械 |
| B-3 結構力學 | B-13 道路 |
| B-4 土力學 | B-14 鐵路 |
| B-5 混凝土 | B-15 登山鐵路 |
| B-6 圬工 | B-16 高速鐵路 |
| B-7 鋼結構 | B-17 房屋 |
| B-8 木結構 | B-18 都市規劃 |
| B-9 土工 | B-19 航空站 |
| B-10 基礎 | |

C. 水利手冊

- | | |
|----------|-----------|
| C-1 水文 | C-6 渠工 |
| C-2 閘壩工程 | C-7 發電水力 |
| C-3 灌溉工程 | C-8 海港 |
| C-4 排水工程 | C-9 給水工程 |
| C-5 河工 | C-10 陰溝工程 |

中國工程師手冊

土木手冊

(汪胡楨主編)

第十一編 隧道

(周文德)

目 錄

第一章	緒論	2
第二章	地質測探	9
第三章	測量	24
第四章	初步計劃	33
第五章	泥土及岩石之開鑿	38
第六章	泥土石屑之搬運	77
第七章	隧道上之壓力	87
第八章	支撐工	93
第九章	開鑿方法	102
第十章	盾構隧道	115
第十一章	地下水之處理	142
第十二章	襯砌工	145
第十三章	建築時所需之設備	152
第十四章	各國著名隧道	162
附 錄	粵漢鐵路株韶段工程局隧道工程承辦包工施工細則	177



厚 生 出 版 社

第十一編 隧 道

第一章 緒論

1. 隧道工程之要旨 近世工程技術進步之速，一日千里，千奇萬巧，妙極僇工。重巒疊嶂，燒巖峻險，難通軌轍者，可築山岳隧道以貫之；長川急流，怒潮涵湧，難架橋梁者，可建水底隧道以通之；故隧道之建設，無異縮地之有術，既可獲運輸之便利，又可得時間之省節，有功於世，可謂大矣！況今空襲之武器，日新月異，轟炸之猛力，山崩川竭，凡地面上所設之交通工具，以及偉大之建築物類，一經波及，頓成焦土，僅離地較深之地下建築，差可幸免。世界建築工程泰斗，比利時萬能提爾教授曾謂『……由此次歐洲大戰所得之教訓，知地面上重大之交通工具，皆供為戰爭之犧牲品，故吾人今後之目光，不得不從地面而移轉於地下矣……』，由此觀之，隧道工程對於今後軍事上及交通上之重要，不言而喻焉。

2. 隧道之歷史 隧道之創設，由來已久，凡人類在地下所築之甬道，皆可謂之隧。古代皇帝之陵墓，多築隧道，以防盜竊而垂永久。傳曰：『隧而相見』；『晉侯請隧』，可知隧道之見於我國經傳者，已非稀罕。希臘底比斯某皇登極之初，即命臣下開鑿一狹長之甬道，以通其墓室。古時埃及帝皇亦曾開鑿墓道，竟有長達七百五十餘呎者。他如印度，努比亞，及荷芝特克等古代文明民族，均有相同之隧道建築，足徵隧道歷史之悠久矣。

世界最初有歷史可稽之隧道，當推亞述人之所築，沙爾瑪尼則二世，在其尼羅特宮東南所築之拱形圓頂水道，實為一備有圻工襯砌之軟土隧道；史稱幼發拉底河之河底，築有隧道，實開世界水底隧道之先河。其建築時，將河水轉導他處，使河床暴露，掘泥築

隧，隧成覆土，復引水入河，形成一水底隧道，其內部襯以磚石，闊十二呎，高十五呎云。

古代人民之隧道建築，均以人工爲之，開掘軟土，大都用鋤，鏟等簡單工具；開鑿堅石，方法較多，據歷史家之考查，知往昔埃及之採石技術，已有相當之程度；但彼除用配有金鋼沙之管形鑽或鋸以外，僅有鐵錘，尖楔，及石鑿等之簡單工具，故工作之進行，頗爲遲緩，而人工之浩大，亦可想而知也。

古代隧道之建築，依所建隧道數量之多寡，口徑之寬狹，用途之大小，以及方法之改進而言，當以羅馬人之創用火力，加速岩石之崩裂。並築坑井以利進行之法爲最著，凡加熱之岩石使之驟冷，即可崩裂無遺，此係利用溫度驟變，漲縮不均之原理；是以彼等所用之方法，先在岩石附近，建火燃燒，使岩石赤熱，急取冷水噴澆之。若爲石灰岩，則以醋代水，收效更宏；但此種工作，極有礙於工人之健康，故當時建築隧道之人工，均驅判有重罪之囚犯及奴隸以充之。

除用火攻開掘法以外，坑井之設備，亦爲羅馬人民所首創；開掘福撒諾湖灌水隧道時，在三哩半之距離內，築有斜甬道及坑井四十餘口，其中有深達四百餘呎者；隧道中挖掘之泥土，則用容量約爲十加侖之銅質吊桶，自坑井中提出之。

羅馬時代之隧道建築，係屬公用事業。所建隧道之最著者，當爲在石灰岩中所開掘之蘇必哥及提服利間之各水道，由執政官馬求所督造。乃爲自蘇必哥叢山中，輸水至羅馬之用。羅馬最長之隧道即爲上述之福撒諾隧道；截面寬約六呎，高約十呎，動員三萬餘人，歷十一年之久始克完成。凡輸水隧道，截面較小，若爲治道路，利交通之隧道，則截面須較大，最著者爲築於那不勒斯及坡促奧利間，橫穿坡雪列坡叢山之隧道，所經之處，大約爲火山之凝灰岩，全長約三千呎，截面闊二十五呎，尖部築成尖拱形，爲隧道中取光之設備，其頂部與底部，由兩端起向中部逐次收縮，入口處高約七十五呎，中部僅高二十二呎，此隧道之建築，約在奧古斯都時代。中古時代之隧道建築，其目的多係軍用。1450年硫雪能安主

張在皮德夢特斯阿爾卑斯山之丹達峯下，築一隧道，以維持尼斯及熱亞那間之軍事交通；但因困難叢生，卒未完成。中古時代之堡壘中，地下築有隧道，為溝通各堡壘間之祕密交通，以供軍糧及武器之運輸，或軍隊進退與突擊之用。

中古時代，隧道建築之技術，並無顯著之進步，直至十七世紀火藥發明以後，始將羅馬傳統之隧道建築法，發生一重大之革新。火藥之用於礦冶，為時甚早，但最初用以開掘隧道者，當推 1679 年所建之法國麥爾柏斯朗基多克運河之隧道。⁽²³⁾此隧道長為五百十呎，闊為二十二呎，高為二十九呎，所經之處為凝灰岩，築成後越七年，始以圬工襯砌。

自羅馬帝國時代以後，火藥之發明與運河之建築，應運而生，遂使隧道建築復變為商業與社會之事業矣。

在十七世紀之末葉，英法兩國之巨型運河隧道，相繼完成；惟均為岩石隧道；至於巨型軟泥隧道之建築，在 1800 年以前之工程師，未有敢作輕易之嘗試者；及至 1803 年，法國聖昆丁運河，始築有軟泥隧道，闊約二十四呎；先用撐架法開掘，繼以圬工襯砌。⁽²⁴⁾

自蒸汽鐵路發展以來，隧道建築遂一躍而為近代重要工程之一。1820 至 1826 年間，英國利物浦及曼徹斯特鐵道上之兩大隧道，相繼完成。美國之最初鐵路隧道為 1831 年至 1833 年所建之賓夕法尼亞省阿利根尼及波特其鐵路之隧道，⁽²⁵⁾而最初之運河隧道則在奧本附近，乃於以上所述之鐵路隧道建設前之十三年所完成（1818~1821），承造者為司庫基爾航運公司。⁽²⁶⁾

歐洲塞尼山隧道及美國呼薩克隧道之建築，為機械鑽孔法與高度爆炸用於隧道建築之最大成功，而奠近世隧道工程之基礎。塞尼山隧道為聯絡意大利與法國間之交通，實係貫通微克志厄曼努尼爾二世王國之皮特孟與薩服兩部，⁽²⁷⁾此兩部原為阿爾卑斯山所阻隔。此隧道全長為 7.6 哩，並通過塞尼山附近之夫賴求斯峯；⁽²⁸⁾主持之工程師為索米拉，格刺通尼及格蘭第斯，⁽²⁹⁾於 1857 年興工，至 1872 年告成；其工程之浩大，困難之繁重，時間之減縮，及方法之革新，可

爲隧道建築技術開一新紀元。機械鑽孔法用於隧道建築之第一人即爲索米拉氏。其他如壓縮空氣之應用，吸氣機之抽吸污濁空氣等方法，均屬創舉。美國呼薩克⁽³⁵⁾隧道，相繼於1875年完成，其開掘方法，多有仿效前者之處，此爲美國最初應用機械鑽孔法，壓縮空氣，硝化甘油及電力等設施之隧道。

自十八世紀以來，世界各國之隧道建築，突飛猛進，勢如雨後春筍，又如盾構隧道之建築，地下水之科學處理，機械電力等應用之進步，更爲隧道工程放一異彩；及至今日，已完成之隧道，當以萬計，其中最著名之隧道甚多，如介於意大利瑞士二國間之新普倫鐵⁽³⁶⁾路隧道，長約二十千米，堪稱世界上最長之隧道也，此道於1895年興工，於1906年始告完成；荷蘭⁽³⁷⁾隧道，於1921年興工，1927年完成，由美國紐約市溝通新澤⁽³⁸⁾州，建造於哈得孫⁽³⁹⁾河底，全長約九千二百五十呎，其位於河底部份佔五百四十八呎，爲世界上專供汽車行駛之一大隧道。

我國之隧道，爲數僅數百餘條，其中最著名者有廣九路之畢科⁽⁴⁰⁾山隧道，計長2211.63米；隴海鐵路中觀音堂硤石兩站間之四號隧道，計長1779.58米；以及長約1091.18米之平綏路之八達嶺隧道。

1942年五月間建築完成之日本關門⁽⁴¹⁾隧道，爲舉世矚目之水底隧道，可謂世界上最近完成之隧道也。

3. 隧道之分類 隧道之分類方法甚多，今舉數種於后：

一、依隧道中心軸之形式不同而分，則有：

1. 直線隧道⁽⁴²⁾——此式最爲普通。
2. 曲線隧道⁽⁴³⁾——曲線之成螺旋形者，又名螺旋隧道。⁽⁴⁴⁾
3. 曲直綫配合隧道。
4. 虹吸隧道⁽⁴⁵⁾——成虹吸管形而有虹吸作用者。

二、依隧道所經之岩層及泥土等性質之不同而分，則有：

A. 普勒林尼⁽⁴⁶⁾教授之意見：

1. 硬石隧道⁽⁴⁷⁾——隧道所經，皆係岩層，非用鑽孔及爆炸以

開掘不可。

2. 軟泥隧道——隧道所經，皆係軟質泥土。
3. 流沙隧道⁽⁴⁹⁾——流沙中開掘之隧道。
4. 被覆隧道⁽⁵⁰⁾——隧道入地甚淺，上部泥土極易挖掘者。
5. 水底隧道⁽⁶¹⁾——隧道自水底石層，泥土層或油沙泥中通過者。⁽⁵²⁾

B. 勞其立氏之意見：⁽⁵³⁾

1. 火成岩與變質岩之隧道⁽⁵⁴⁾——如喀斯喀德⁽⁵⁵⁾，斯坦比特⁽⁵⁶⁾，聖保爾⁽⁵⁷⁾，塞尼山⁽⁵⁸⁾，聖哥薩特⁽⁵⁹⁾，亞爾堡⁽⁶⁰⁾，洛吉斯⁽⁶¹⁾等隧道。
2. 水成岩之隧道⁽⁶²⁾——如斯克藍吞⁽⁶³⁾，金伍德⁽⁶⁴⁾，金山⁽⁶⁵⁾，格蘭及斯⁽⁶⁶⁾，魏森斯丹⁽⁶⁷⁾，好斯丹⁽⁶⁸⁾，波斯魯克⁽⁶⁹⁾，喀拉文根⁽⁷⁰⁾，及里辰⁽⁷¹⁾等隧道。
2. 混成岩(即火成岩，變質岩，水成岩三者交互成層者)之隧道⁽⁸⁶⁾——如新普倫⁽⁷²⁾及洛脫慶堡等隧道。

三，依隧道用途之不同而分，則有：

1. 運河隧道⁽⁷³⁾；2. 鐵路隧道；3. 道路隧道；4. 礦山隧道；
5. 軍用隧道；6. 污水隧道；7. 給水隧道；8. 灌溉隧道；9. 墓道。

四，依隧道形式之不同而分，則有：

1. 小截面隧道；2. 中截面隧道；3. 短隧道；4. 長隧道；
5. 淺隧道；6. 深隧道。

五，依隧道開掘方法之不同而分，則有：

1. 爆炸式隧道⁽⁷⁴⁾；2. 挖掘式隧道；3. 盾構隧道；4. 壓縮空氣隧道。

六，依隧道上部自然地形之不同而分，則有：

1. 山岳隧道⁽⁷⁵⁾；2. 市街地下隧道⁽⁷⁶⁾；3. 水底隧道⁽⁵¹⁾；
- (a. 江底隧道；b. 海底隧道)。

七，依隧道鑽孔之多寡而分，則有：

(77)
1. 單孔隧道；2. 雙孔隧道；3. 多孔隧道。

4. 隧道與塹道之比較 上有負土者曰隧道，上無負土者曰塹道，⁽⁷⁸⁾雖同為崇山峻嶺中，維持鐵路交通之用者，而其優劣則各有不同，兩者之選擇常為工程計劃中之難決問題；其解決之法，須視建築與養護費用之多寡，及商業與構造上之利害而定。塹道之優點在於建築時所費較省，需時較短；而其劣點則為路線較長，養護費用較鉅，因坡度往往較大，而機車之能力亦須較大也。隧道之優點，能使路線縮短，並可減除雨雪等自然侵蝕及空襲之損害，故管理及養護等費用可以較省，而且坡度較小，行車亦較便利，但隧道建築之費用較大而時間亦較長耳。簡言之；在下列情形之下，則隧道似可勝於塹道矣。

一，若泥質鬆軟，則築塹道，有坍塌之虞。

二，若氣候嚴寒，則築塹道，易受冰雪之淤塞。

三，若地價昂貴，則築塹道，有拆卸地面建築之勞，而阻礙交通也。

四，道底離地面之距離大於六十呎者，以隧道為宜，然亦不可膠柱鼓瑟，應用仍須視當時情形而定；例如土質堅硬，岩石成層，或泥土鬆軟，不易維持較大之坡度者，則宜稍加變更也。此規則又可用為決定隧道起迄點之所在，如在隧道縱截面圖中，於道底以上六十呎處，繪一平行於隧道中心軸之直線，此直線與地面之相交處，即可為隧道之適當起迄點。

5. 隧道工程進行之程序 隧道既經選定，則工程即可進行，但其過程至為複雜，如籌款，用人，設計，購機，辦料，施工等等，均為重大之問題，凡此種種，必須先有深長之考慮，與完善之解決，而後可以進行之。至於其進行之程序，可分下列數端：

一，測量 已往測製之地形圖，當可根據，但因歷時稍久，變遷必多，而灘岸河床，更易變遷，尤須時加測量。

二，探鑽 ⁽⁷⁹⁾地層之探鑽，實係地質測量之唯一方法，隧道橫穿地下，則地層下之情形，必須有詳細之試探也。

三，設計與繪製工程詳圖。

四，訂購應用機件；建築工場，料場，機器場，及辦公室等。

五，開鑿。

六，最後設備，即敷設軌道或汽車道，人行路，電車站，路燈等之工作。

6. 隧道工程難易之區別 關於隧道工程難易之區別，約有數種，分別述之於下：⁽⁸⁰⁾

A. 凡長度逾三百米以上之隧道，工人在內工作，呼吸即感困難，故隧道愈長，工作愈難，勢須有通風或其他導坑設備。

B. 曲線上隧道之空氣，較直線隧道更不流通，但在定線時，如稍有錯誤，較直線易於補救。

C. 隧道內如發見水泉甚多者，工作較難。

D. 隧道屬於堅石層，或礦石層，及雜有混濁之氣體者，工作亦較棘手。

E. 隧道兩端，無適當之出口，可以運輸挖出之土石者，即須另鑿橫導坑，以運土石。

F. 隧道開挖，逐節地質，應隨時驗明紀錄報告，以備日後實建圖登載；又隧道內最易偷工減料，監工責任所在，尤應嚴密稽查監視。

G. 隧道有傾斜坡勢者，即應注意其上口之流水路，以免工作未半，山洪暴發，致有傾灌隧道，沖毀工程之危險！

H. 隧道因土層之擠力，推力，及水泉之滲透，能使其全部傾覆或坍塌。故當工作之際，內部支撐情形，固應注意，而在山頂四週，亦宜時往查視。

I. 隧道撐柱架託各木料，應隨時審驗，遇有彎折之表現，應即加添裝頂，以期堅固，而免坍塌。

J. 隧道內石層，時有鬆脫下墜，猝不及防，至為危險！監工應隨時審驗，用錘試擊，遇有鬆動之勢，應先敲擊，使之脫落，或立即支柱穩固，以求工作安全。

K. 隧道兩端，對向開鑿，俟將接近接通時，用炸藥爆炸，應格外避免危險！只能一方進行工作；其他方面工人，應令停工，否則爆炸時，其他方面工人有被炸之危險！

第二章 地質測探

第 1 節 概論⁽⁸¹⁾

7. 地質測探之重要 隧道之開鑿，橫貫地下；所經之地層，結構複雜，若不詳悉底蘊，則盤根錯結，困難必多；倘僅憑已往之經驗與專家之學識，亦無異緣木求魚，無從知其究竟，故非有精確之測探，決難奏其功效也。1853年，當世界著名之新普倫⁽⁸⁶⁾隧道興工之際，地質測探已認為當務之急，曾由吉勒氏⁽⁸²⁾担任此項工作，將隧道所經之阿爾卑斯山區，詳加測繪，及至1906年完工之日，先後由各專家測探所得之地質截面圖，不下二十餘種，其與開鑿後之實際情形相較，其平均差僅在百分之二十五而已，可見地質測探與開鑿隧道之關係也。

總之，地質之測探，實為隧道工程進行之第一着，其影響於隧道之位置，形式，支撐工，襯砌工，建築費等甚鉅。如工程規模較小，工程師當探測隧道地位附近之地形與地質，製成地質截面圖，與當局所測製者，相互比較之。若為規模宏大之工程，則須集合地質專家多人，由各方面從事精密測探，俾得詳盡之資料，以便預測工作之難易，計算完成之時間，估計工資與經常之開支等。至於探測地質所需之要務，可分下列四項而述之於后：

- 一，岩石泥土之性質；
- 二，地層結構之形式；
- 三，地下水之存在⁽⁸⁴⁾；
- 四，岩石溫度之高低⁽⁸⁵⁾。

8. 岩石泥土之性質 試察岩石或泥土性質之方法，以應用金剛石鑽為最佳，蓋此項管形鑽頭將岩石鑽成一小圓柱，然後取出檢閱，由此即可確定各岩層之深度，厚度，及性質。各岩石泥土之性

質，可因其種類之不同而分述之。

一，根據岩石泥土之硬度不同，有硬石，軟石及軟土之分。⁽⁸⁶⁾

a. 硬石⁽⁸⁷⁾ 凡內聚性特強，切成垂直面而能壁立不致分裂崩潰之岩石均為硬石。如花崗岩，片麻岩，長石，玄武岩等是也；但其他硬石如硫化礦等則易受大氣中水蒸汽及碳酸氣之作用而生分解，故硬石又有易受大氣影響與不受大氣影響之別。築易受大氣影響之硬石隧道，則須加以襯砌。⁽⁸⁸⁾

b. 軟石⁽⁸⁹⁾ 凡較硬石之內聚性稍弱，更易受大氣之作用而分解之岩石，謂之軟石。如沙岩，成層頁岩，雲母片岩，及其他晶質片岩，火山岩等是也。我國黃河上游之黃土，亦可屬於此類，因黃土係由細微之石英末結成，呈黃褐色而不粘稠，每有垂直分割性而易造成斷岩之傾向。凡屬軟石隧道，開鑿時均須有簡單之支撐架，並須築堅強之襯砌，以禦垂直之壓力，而防碎片之傾墜也。⁽⁹⁰⁾

c. 軟土⁽⁹²⁾ 軟土為崩壞粉碎之岩石，與枯死腐朽之植物質，相混而成，內聚性極弱，不用爆炸即能開鑿。凡隧道之開鑿，而貫穿此種軟土者，均須築有極堅強之支撐，與極鞏固之襯砌。礫石，細沙，頁岩，粘土，流沙，及泥炭等均為隧道工程中常遇之軟土。礫石與乾燥之細沙最為堅實，頁岩亦甚堅固，惟遇水分或暴露於大氣中，則易膨脹而分解。流沙，泥炭及含水之粘土亦為最難應付之軟泥。成層之粘土，係為普通之粘土經化學與機械之作用而形成者；其結構與頁岩相似，常為兩面凸狀之片層，隔以光滑之表面，極易剝離。成層粘土多作深暗色，紅色，赭色，或青藍色，常存在於石灰層中；在建築中，此種粘土可分三種：第一種常與石灰層相混，不易失去其片層性質；第二種之石灰層已化為碎片，混雜其中，但不含絲毫水分；第三種係受連續之激動與水分之存在而生受範性，流沙之性質，難以捉摸，亦可列入於第三種之粘土。⁽⁹³⁾

二，根據岩石種類之不同，岩石有下列三類之別：⁽⁹⁴⁾

a. 火成岩與變質岩⁽⁹⁵⁾ 花崗岩，片麻岩，片狀岩等均屬此類；其特性為不生特殊之岩石壓力與不含水分；但因熱之傳導性甚小，

故在較深之隧道中，常生稍高之岩石溫度。在此類岩石中開鑿隧道，並無特殊之困難，祇須支撐以防碎石片因爆炸之震動而墜落；排水溝渠可不必甚大，因除在江河底部開鑿時，偶有水量自石縫中滲入外，其他並無水量也；至於襯砌，實可省去，但因防禦碎石之分裂及外面整潔起見，近代之隧道中，大都用之，惟厚度可以減小耳；隧道之兩壁宜直立。若隧道之位置較深，則因岩石溫度較高，須有完善之通風及冷凍裝置。至於工程進行之快慢，須視岩石之硬度或韌度及岩石溫度等而定。

b. 水成岩 ⁽⁹⁶⁾ 石灰岩，⁽⁹⁷⁾ 頁岩，⁽⁹⁸⁾ 粘土，泥灰岩，礫岩，沙岩，粘板岩，石膏，黃土等均屬此類，其特性為壓力較大，含水較多，易於傳熱，故岩石溫度甚低。因含有石炭沈積⁽¹⁰⁰⁾，故常生碳質氣體。隧道通過此種岩石時，所遇岩石之硬度與內聚性，變更甚大；含水之硬石岩層與軟石岩層隨處皆有。石灰岩，沙岩，礫岩中，含碳質氣體甚多，對於工程之進行，殊多障礙。又因岩石之壓力甚大，故開鑿時，須用堅強之支撐及圻工襯砌，以防周圍岩石之壓入。鑽孔爆炸時尤須謹慎。無水石膏岩易遇地下水而膨脹，常使隧道破壞，亦不可不注意及之。

c. 混成岩 混成岩為火成岩，水成岩與變質岩三種岩層交錯而成，岩石壓力，溫度及含水量，須視岩層之結構與性質而定。隧道如通過此種岩石時，更須先有精密之測探，以定其岩層之組成，然後依前述二類岩石之性質，再用相當方法處理之。在此種岩石中進行工作時，往往由極易開鑿之岩層一變而為困難叢生之岩層，亦有由難而一變為易者。

9. 地層之結構 ⁽⁸¹⁾ 地層之結構，至為複雜，其生成之初，層位雖屬水平，但經年累月之後，地層每因壓力之不均與溫度之升降而生變動；如歐洲之阿爾卑斯山及朱辣山⁽¹⁰¹⁾，美洲之阿帕拉幾山與落磯山⁽¹⁰²⁾等即其例也。凡因地層之移運與變動而所生之結果，其影響於隧道工程，為狀不一，如底部之凹凸，兩側之傾斜，道孔之扭旋等是也。此種現象，有於工程進行時即發現者，亦有於竣工後數閱年月而表

現者，在新普倫⁽³⁶⁾，波斯魯克⁽⁶⁹⁾，喀拉文根⁽⁷⁰⁾，魏森斯丹⁽⁶⁷⁾及里辰諸⁽⁷⁾隧道中，均爲屢見不鮮之事實。

地層傾度，即地層與水平面所成之交角，對於下述數事，影響至鉅，即

一，隧道與地層之交角及隧道所欲穿過之地層爲何，均賴以決定。

二，開鑿費用之預測；如開鑿方向與地層垂直，則易於炸爆，費用可省。

三，支撐工之確定；如爲垂直之岩層，則較水平者不易碎落，故可減輕支撐。

四，襯砌厚度之估計；如水平岩層不如垂直岩層之具有拱之作用，能載負其上部荷重而不下墜，則須加強襯砌。

五，地層壓力之抵禦；此對於軟泥地層，尤關重要，因其易生不對稱之壓力故也。設地層傾度爲三十度，則隧道軸之方向宜與地層作相等之角度，以期減少不平衡之壓力，因道孔開鑿時，乃破壞泥土原有之自然平衡，而使泥土墜傾或崩裂；此種現象往往因地層傾度之大小而權衡泥土破壞之傾向，或造成不平衡之壓力。不平衡之壓力雖可用完善之襯砌工抵禦之，但往往易使支撐工扭換或使道壁凹陷，故宜妥爲處理之。

⁽¹⁰³⁾褶曲作用常使岩石沿褶曲之軸，發生裂縫；背斜褶曲時，⁽¹⁰⁴⁾裂縫向上開口，向斜褶曲時，⁽¹⁰⁵⁾向下開口；設有隧道穿鑿而過，遇背斜褶曲時，水易從裂縫中徐徐滲入；若遇向斜褶曲時，則岩石碎片，極易墜落；故在此種情形下，工程師對於隧道位置之選擇，須有相當之考慮。

⁽¹⁰⁶⁾斷層作用常使地層沿其龜裂之斷層線而生運動；其於隧道工程之重要，不僅有關隧道之安全，建築之難易，且影響於工程完成後之養護工作至鉅也。美國加拿的安太平洋⁽¹⁰⁷⁾鐵路上，在猷馬河⁽¹⁰⁸⁾山谷之一部，因欲減少坡度起見，遂築螺旋隧道二管。上部之隧道位於谷南喀薩特雷爾山⁽¹⁰⁹⁾之石英岩中，而下部之隧道則位於谷北奧格登

⁽¹¹⁰⁾山之石灰岩中。喀薩特雷爾山與史蒂芬山⁽¹¹¹⁾間生一斷層，長約三千呎，上部隧道之一部，適位於斷層之剪力地帶，故道孔中碎石飛墜，全賴堅強之襯砌以禦之；且地面上之水，隨裂縫而漏入，以致交通時有阻梗。至於下部之隧道，因無斷層之影響，故無恙也。又美國加利福尼亞州富蘭克林⁽¹¹²⁾之隧道沿軟泥斷層建築，遂因水自裂縫滲入，以致泥土膨脹，而毀壞支撐工。⁽¹¹³⁾

10. 地下水之存在 地面之水與地下之水，皆有關於隧道之建築，而地下水則影響尤鉅，因非用地質測探，不易測定其存在也。不論地面水或地下水，均隨透水層而流動，如遇不滲水石層，則流動之方向分歧矣；石層雖具有不透水之特性，但因含有罅隙與斷層之故，致不能絕對不令水之透過；故岩石隧道亦有遇水之可能。普通在高山之下，常有地下水之存在，係為山巔積雪溶化，經石層之罅隙而滲入者。礫岩及沙岩均易透水，粘土及頁岩則否；故負於粘土上之礫岩或沙岩，含水甚多，因不易宣洩也。若於粘土層中開鑿隧道，則無地下水之侵入，但接近其上部礫岩或沙岩之處，或有透入之可能。地下水道，含水甚多，隧道須繞道而過之；美國卡次啓爾山⁽¹¹⁴⁾至紐約之輸水隧道，所經之處，經過地下水道甚多，乃用虹吸隧道繞而進之。最深者在高地哈得松谷⁽⁸⁹⁾中，隧道達海面下一千呎處，上負已埋沒之哈得松故道。

地下水之壓力，亦須注意，其強度不因流經岩石罅隙而稍減少；但在沙岩中，則因摩擦力較大，水流經長距離後易減小其壓力。含水之沙岩，常因水壓而增加其流動性。聖哥薩特⁽⁸⁸⁾隧道建築時，一度會因水流之侵入，而沖去支撐工及材料甚多。其他如新普倫⁽⁸⁶⁾，波斯魯克⁽⁶⁹⁾，洛脫慶堡⁽⁷²⁾，格蘭及斯⁽⁶⁶⁾，及金山⁽⁶⁵⁾等隧道，於建築時亦均有地下水之遭遇。

第 2 節 岩石溫度

11. 概說 深隧道中之溫度往往較高，則須有通風及凍結等之設備以降低之，惟此種設備之裝置，運用，及養護等，所費甚鉅，故

於隧道之設計中，須詳加考慮。

12. 測定岩石溫度時所需之資料 岩石溫度之測定甚難，因其隨隧道之位置而不同也。簡言之，測定山岳下之岩石溫度，所需資料約有下述數點：

一，隧道位置之經緯度與高度。

二，氣候與水文之情形。

三，隧道所經之地層，截面圖，詳示地層之結構與性質。

四，沿隧道軸線之詳細縱截面圖與各點之橫截面圖；橫截面圖左右之寬度適等於隧道上部負土之深度。

五，詳細之地文圖，示有山川，林澤等。

六，沿隧道軸上部之地面溫度。

七，近隧道基地高度不同處，每年平均之空氣溫度。

上述一，二，四，五，各項，均可以相當之時間與經濟而獲得之，惟三，六，七，各項則往往不易測定。

中歐自 1857 年塞尼山隧道等深長隧道開鑿後，對於氣象，地溫及地質等，每年均有詳細之調查。⁽¹¹⁵⁾美國則有美國地質測量局與美國氣候局之調查，以供參考之資料。

13. 地溫梯度 地溫梯度者，⁽¹¹⁶⁾溫度每增華氏一度時，所經地層之深度呎數也。⁽¹¹⁷⁾1857 年在盧森堡之自流井與鑽孔中，⁽¹¹⁸⁾華爾佛丹氏⁽¹¹⁹⁾曾作地溫梯度之測定；其中深 2400 呎之一孔中，每五十六呎增加溫度華氏一度。自此以後英德法奧諸國均有測定地溫梯度之舉。在上西利西亞⁽¹²⁰⁾之 6600 呎之鑽孔中，⁽¹²¹⁾哥不立克氏作有三百八十四次之溫度測定。孔底之最高溫度為華氏 165.7 度，地溫梯度約為華氏每度六十四呎。⁽¹²²⁾據海伍德氏⁽¹²³⁾所稱康瓦爾之銅鑛中，溫度最高，其地溫梯度之紀錄為：錫礦脈四十呎。銅錫礦脈三十九呎。銅礦脈為三十八呎。地溫梯度常因石炭，金屬，等礦脈或火山岩之存在而生特殊之變化；普通之變更為華氏每度 20 至 30 呎不等。

14. 山嶽下之地溫梯度 根據開鑿塞尼山隧道時所作之實驗，知山嶽下之溫度增加較山谷或平地下為小。事實上，設其他情形均

相同時，則山谷之地溫梯度必較小，因其輻射表面較小故也。茲略舉世界著名隧道中之地溫梯度紀錄表示於下，以資參考：

表1. 各隧道之地溫梯度

隧道名稱	地溫梯度 (華氏每度之呎數)	備考
道安	70	表53澳洲4
洛脫慶堡	80	表53瑞士6
聖哥薩德	86	表53瑞士1
塞尼山	79	表52—3
新普倫	65	表52—10
阿爾部刺	64	註60
亞爾堡	64	表53澳大利亞1
里辰	62	註71
好斯丹	64	表53瑞士9
平均	64呎	

由上表所示，可知山嶽下之地溫梯度約較山谷或平原下大百分之三十餘。

其他促成地溫梯度之變更者，似更有下述數種原因：一，地形之不同，如山嶽，平原，山谷，河川，湖泊等。二，放射性物質之存在，因氧化或其他作用而生熱。三，火山物質之存在，如岩漿等。⁽¹²⁴⁾四，各種岩石的導熱性之不同。五，導熱性因地層方向而不同，即沿地層方向或與地層垂直。六，流動性地下水之存在。但據已知之實際經驗與觀察所知，火山岩之存在與鑛質之放射性對於地溫梯度影響極微；又各種岩石之導熱性對於地溫梯度，亦無顯著之感應；潮濕岩石之導熱性雖較乾燥者稍小，但前者之地溫梯度較小於後者，相差約在百分之四至百分之十左右。如圖1(b)所示。

整塊岩石所含之碎面遠較成層岩石為小，故其導熱性乃高。圖1所示之各情形，係假定地面之溫度均為一律，山峯與中心垂直線對稱。圖1(a)係指非成層岩與成層岩對於地溫梯度之影響，前者⁽¹²⁵⁾

之地溫梯度較大，因其易於導熱也。圖 1 (c) 係示垂直岩層之地溫梯度較水平者為大，因沿岩層裂面之導熱性較大也。圖 1 (d) 則示雲母片岩之導熱性極弱，故其地溫梯度遠較片麻岩或花崗岩為小也。

設岩石種類，溫度，及地層傾度，均為已知，則山嶽下之岩石溫度（華氏每度之呎數），可由下表中檢得，但火山岩，石炭等易受氧化作用而生熱量之物質，皆未計及。

表 2 山嶽下之各種岩石溫度

岩石種類 ⁽¹²⁶⁾	乾燥者	潮濕者	垂直岩層	水平岩層	乾燥岩層 傾度較小	潮濕岩層 傾度大於 45°
花崗岩 } 石灰岩 } 頁岩 } 粘土 }	60~62	65~67				
沙岩	51					
片麻岩 } 片狀岩 } 細粒岩 }			64~67		54	57
乾燥片麻岩				51~53		
千枚岩				55~57	58	61
雲母片麻岩	44~49	47~53			52	54

16. 地下水對於地溫梯度之影響 隧道工程中所遇之地下水，對於地溫梯度之影響甚大。波斯魯克隧道⁽⁶⁹⁾中所遇之大量地下水，使岩石溫度較預料者降低百分之四十一。其他如新普倫隧道⁽³⁰⁾中亦有同樣事件之發生。但事實上，由隧道頂部衝入之水，果可使周圍之岩石溫度降低，惟由底部湧上之水反使岩石溫度增加。考其原因，實因頂部衝入之水係近地面之水，其溫度遠較地層深處之溫度為低也。地下水對於岩石溫度之影響既大，故為測定岩石溫度或預知地下水之存在與其量之多寡，則對於當地之雨量，江河之流量及

地面之溫度等，須先作一徹底之調查。

地下水對於岩石溫度之影響，當以魏森斯丹⁽⁶⁷⁾，格蘭及斯⁽⁶⁶⁾，及新普倫⁽³⁶⁾等隧道為最佳之實例。圖2 係為12,150呎長魏森斯丹隧道之截面圖。工程之進行，幾全由北端入口處開始，所遇地下水之最大

流量記錄為十六秒呎。較小之泉水，沿隧道之全長，隨處可遇，使岩石溫度降低，而增加地溫梯度。由表2 可檢得潮濕石灰岩之地溫梯度約為67呎。但觀圖2 中，拔出海面3847呎處之地面溫度為華氏43度，其地下1537呎處鑽孔中之岩石溫度為華氏49.6

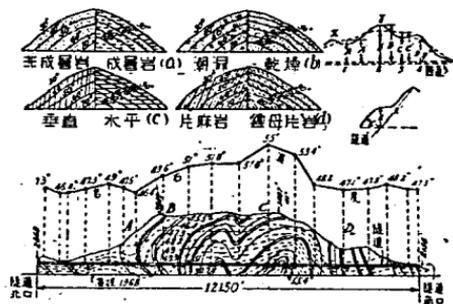


圖1 地溫梯度之差異(上左)

圖2 魏森斯丹隧道之地質截面圖(下)

圖3 隧道上部頁土深度之測定(上右)

度，故知地溫梯度為華氏每度233呎。由此可知，隧道所經之岩層不得視作潮濕石灰岩，但須稱為含水石灰岩，方為合理。隧道中滲入之水量多寡，隨季節而變更，最大流量在雨季四月中相遇，其紀錄約為十六秒呎。圖2 中，山之北坡標有『A』字之處，均為叢林所蔽，實係一天然蓄水池，且位於地層垂直之處，故其減低岩石溫度之效力，更形顯著。標有『D』字之處，地層亦作垂直，故隧道中之溫度亦大為降低。又『A』及『B』兩點，同高度處之溫度，相差頗鉅，實因地層結構之不同與暴露於陽光之表面的多寡所致也。

長28,093呎之格蘭及斯隧道，所經岩層，以石灰岩為主，但含水較少，故地溫梯度與正常值之相差亦小。例如某4494呎處之地面溫度為華氏41度，其地下2790呎深處隧道中之岩石溫度記錄為華氏67度，故地溫梯度為華氏每度103.5呎。4067呎最高山峯下之地溫梯度為華氏每度129呎。

結構較佳之成層岩中，最大之岩石溫度常存在於背斜褶曲之下，因其拱狀之地層構成一優良之阻水物也。此種情形可於魏森斯

丹與格蘭及斯隧道中見之。

前述兩隧道所遇之地下水均爲水由地面滲入而構成之泉水，故水量並非最多。新普倫隧道中所遇之水量更多，故岩石溫度所受之影響更鉅。

里辰隧道⁽⁷¹⁾，穿越沙岩與礫岩，長 28,200 呎，其所遇之情形適與前述者相反。因無地下水之流通，致使地溫梯度降至華氏每度 51 呎。平均岩石溫度爲華氏 66 度。又因煤礦與沼氣之存在，當其氧化而燃燒時，雖有強力之通風設備，而岩石溫度猶昇至華氏 152 度，但火經熄滅後，岩石溫度則降至華氏 66 度。由此可知，地下甚少之熱量即能構成極高之岩石溫度，反之，若除去此甚少之熱量，即可使岩石溫度大爲降低也。此種現象，在新普倫隧道中所已知，爲求可靠之資料，曾將某導坑處⁽¹²⁷⁾之通風工作，暫行停止，十二小時後，在十呎深之孔中測得岩石溫度爲華氏 127 度，及至通風進行，則爲華氏 123 度。通風工作再繼續進行之，則岩石溫度在不數日間即降低華氏 10 度，十四日後降低 18 度，九十日後降低 36 度。

16. 地面溫度 欲詳細預測隧道所經處之岩石溫度，則須先悉隧道頂部地面之溫度。但地面溫度則依陽光暴露面之多寡，濕度之高低與空氣之寒煖而定。由世界各地觀察之結果，推知每年平均空氣溫度與地面溫度之間，似有一定之關係。離地較近之空氣，其溫度與地面溫度之差約在華氏二度或三度；離地 12,000 呎至 14,000 呎者，則相差當增至華氏五度或六度。空氣溫度之測定可用紙鳶，氣球或飛機。各國均設有氣象觀察所專司其事。至於地面溫度受陽光暴露面多寡之影響，則以愈近地面爲愈甚，即南北山坡之地面溫度相差愈甚也，但相差之值不大，約在華氏三度左右，故可取其平均值作準也。

17. 溫度測定之方法 隧道中之岩石溫度，須於未通風時近導坑之表面處測定之。測定儀器所置之鑽孔，須在坑頂與坑壁之交界處，孔內宜乾燥。溫度計插入鑽孔中後，須用泥土塞實，經數小時後記錄之，然後歷數日數星期後陸續記錄之。

記錄地面溫度之方法有二：第一法係鑽深 30 呎至 50 呎之孔數枚插入溫度計，記錄其平均溫度。此法所費較鉅，因在叢山中鑽深孔多枚，尤其往來於積雪之山嶺，決非易事。若在探測隧道位置或地層構造之現存鑽孔中之行，則所費當微也。第二法係將溫度計插入五呎至六呎深沿隧道軸之地面淺孔中；然後每星期，每月逐次記錄其溫度，取其一年後所得之平均值。

高山之嶺，一年中之積雪時期，每歷數月之久，故須用自動溫度記錄器記錄最高與最低之溫度，並計算其平均值。⁽⁵³⁾勞其立氏對於地溫之測定曾作多次之實驗，根據其結果所知：鑽孔愈深，則自孔中所測得之溫度變更愈小；潮濕泥土傳熱較易，故對於溫度變化之影響亦大；又由鄰近泉水中所測得之溫度約較地面溫度低華氏二三度，故可作為最佳之校驗，惟泉水須淺而不含吸收熱量之物質。

18. 隧道上部負土之深度 山嶽之地形，對於地溫梯度，影響雖鉅，惟峯槽之直徑小於三千呎者，則影響尚小。欲測定隧道上部負土之深度，須以平均值為準，例如在隧道軸上某點之負土深度，應為此點左右地帶深度之平均值，此左右地帶之寬度等於某點負土深度之兩倍。圖 3 係示山岳隧道之截面，圖中測站 1 之岩石溫度，應與鄰近山峯 X 及 Y 之平均高度 A' 有關係，而不能以 A 為準。同理，在測站 2 處之深度當以 B' 代 B；測站 3 處，以 C' 代 C；測站 4 處，以 D' 代 D；測站 5 處，當以 E 作為平均深度。

19. 隧道中岩石溫度測定之實例：

A. 新普倫隧道⁽³⁶⁾ 已知此隧道中之岩石溫度，影響極大，故其測定特別精詳；凡隧道軸上之地面溫度，最高及最低值，皆有確實之記錄，費時約一年之久。測定溫度之孔，深度在 3.5 呎至 5 呎之間。⁽¹²⁸⁾尼若默教授乃根據一年中所得之記錄，計算隧道各點之平均地面溫度，製成曲線。再根據所經岩層種類之不同，假定地溫梯度，校正岩層傾度，濕度，及泉水之影響而計算隧道中每點之岩石溫度，復製成曲線，繪入隧道地質截面圖中，然後再在工程進行之際，測得實際之岩石溫度，製成曲線，繪入同圖中，俾得互相比較。

B. 摩發特 ⁽²⁹⁾ 隧道 此隧道係在美國科羅拉多省 ⁽¹³⁰⁾ 穿越康的能得
⁽¹³¹⁾ 提瓦特山之 ⁽¹³²⁾ 但維爾 西北太平洋鐵道上。隧道之東西兩入口處，均
 各拔出海面 9100 呎及 9100 呎；隧道上負之最高山峯之拔海為
 12,034 呎。康的能特提瓦特山 ⁽¹³³⁾ 東西兩側，各有 普拉特河 及 大河 之
 蜿蜒，以宣洩積水，兩地之氣候雖異，惟 9000 呎以上之高坡，影響
 甚微。每年之雨量，在 10,000 呎以下處約為二十吋，以上約為四十
 吋，及至最高之山嶺，雨量幾全化為積雪，每年厚約二十呎。高度在
 10,000 呎以下之山坡，縱屬植物叢生。隧道上部，河泊縱橫，較大者
 有 喀拉得湖，⁽¹³⁴⁾ 位於隧道軸上 1350 呎處。隧道軸之兩側並無高山，故
 沿軸之截面圖所示之負土深度即可視為平均之值矣。

隧道所通過之岩層係屬前寒武利亞紀 ⁽¹³⁵⁾，以花崗岩與雲母片狀
 岩為主。今為易於比較計，可設有兩種假定，一係假定岩層為花崗
 岩，一係假定其為雲母片狀岩。又隧道附近之河泊交錯，叢林密布，
 故高度在 11,000 呎以下之部份，可視為潮濕岩石，11,000 呎以上
 者可視作乾燥岩石。

地面之空氣溫度係取自科羅拉多省美國氣候局之記錄，⁽¹¹⁵⁾ 高度
 自 3000 呎至 14,000 呎，設測站四十六處，歷時二年至三十八年不
 等，復將地面溫度加以測定，為防日光，風霜，濕度等之影響起見，
 測定溫度之孔較深，自三十呎至四十呎不等。最後以溫度作橫坐
 標，高度作縱坐標，製成地面溫度與空氣溫度之曲線；兩曲線極近
 乎兩平行直線，高度愈低則相差愈少。

隧道中之岩石溫度乃由下述公式計算之。

$$T = t + D/G$$

式中 T 為地面下 D 呎處之溫度， t 為平均地面溫度， G 為地溫梯
 度。由此所得之岩石溫度製成曲線，其與地形截面圖之輪廓甚為相
 似。

第 3 節 地質測探之方法

20. 鑽探 ⁽¹³⁶⁾ 鑽探工程之為用甚大，如礦冶，油田，自流井，地質

調查等工作均利賴之。鑽探方法依原理之不同可分為重力鑽探法與旋轉鑽探法二種。重力鑽探法之原理，係將鑽探器上舉，再循其重力或地心引力之作用，自由落下，藉其落下之動能，鑿成孔穴；此法我國久已用之，惟規模極小，僅以人力為之；近世科學昌明，鑽探器之上舉，多藉電力，或蒸汽之力；最著名者有美國鑽探器，係用蒸汽為原動力。旋轉鑽探法係用有齒或金剛石之圓鐵管，藉機械之力旋轉而鑽入岩石；此種鑽探法之機械可分三種，即大衛斯杯形旋鑽⁽¹³⁹⁾，察普曼旋鑽⁽¹⁴⁰⁾，及金剛石旋鑽是也。⁽¹⁴¹⁾

一、美國鑽探機 美國鑽探機之構造可分兩大部分，一為木工機構⁽¹⁴²⁾，一為鑽探機構⁽¹⁴³⁾。木工機構包括機座⁽¹⁴⁴⁾，起重機⁽¹⁴⁵⁾，與附屬部分等三者。機座及起重機為木材或構造鋼所製。附屬部分則包括捲揚輪⁽¹⁴⁶⁾，牛輪⁽¹⁴⁷⁾，沙輪⁽¹⁴⁸⁾，搖擺梁等。復用粗繩將其一部分纏繞於牛輪上，另一部分則直上起重機之頂部，通過一滑輪後，遂下墜至起重機底之中心鑽探處。當鑽探工作進行時，此繩為一伸縮螺旋所繫，繩端遂納入一繩插座中。伸縮螺旋之上部，鉤住一搖擺梁之一端；搖擺梁因他端有連接桿與曲柄之裝置，故可使伸縮螺旋及其所連之鑽探器，往復上下，運動自如。設欲升起鑽孔中之鑽探器，則有一繩帶連通牛輪與捲揚輪旁所連之曳輪⁽¹⁴⁹⁾，藉一滾帶之傳遞動力，轉動捲揚輪⁽¹⁵⁰⁾，牛輪等使繩及伸縮螺旋上舉。鑽孔中之土石碎片等往往有阻塞孔徑之虞，則可用一抽機抽盡之。抽機係繫於一繩之端，懸於空際，上升時係藉動力，沙輪等之作用，下降時則循其重力之所趨。

鑽探機構包括產生動力之蒸汽機或油引擎及鑽探器，鑽探器包括繩插座⁽¹⁵²⁾，錘桿⁽¹⁵³⁾，連桿⁽¹⁵⁴⁾，鑽桿⁽¹⁵⁵⁾，及鑽頭。若鑽孔之頂部為鬆軟泥土，則泥土或滲入之水將充實孔底，妨礙工作之進行，故須加套管以隔絕之，鑽探器之總長約六十餘呎，故孔深未達此長時，須用較大之鑽頭作一較大之孔，以備納一導管，導管之內再實以套管。若欲探悉地層之性質，則可隨時用抽機抽出石屑，以備參考。鑽探器上舉下降之高度為二呎，重約 1200 磅，終速度約每秒六呎，故鑽穿岩石 $\frac{1}{4}$ 吋時，根據力學原理，可計算其平均擊力約為 $6^2 \times 1200 \times 4 \times 12 /$

$(2 \times 32.16 \times 2000) = 16.1$ 噸。

二，大衛斯杯形旋鑽 此種旋鑽係用一組鐵管，管端裝一圓筒形之鋸齒鑽頭，鋸齒多枚厚約⁽¹⁵⁵⁾ $\frac{3}{16}$ 吋，長為十吋或十二吋，位於鑽頭之周圍上。鐵管中有取樣管，下端附鑽頭，使岩石鑽成圈孔後，其中間所剩之小圓柱納入此管中，以備提取。取樣管與上部之取樣杯⁽¹⁵⁶⁾用減縮塞⁽¹⁵⁷⁾相連。另一能旋轉之水管，亦與後者相連。當工作進行時，水管與取樣管及鑽頭旋轉不息，同時有水流自水管壓入，以達鑽頭，再流出鑽頭之鋸齒隙，經管之外壁而上溢，而水中所帶之石屑，則在水流至適當處，沈入取樣杯之底。

三，察普曼旋鑽 此種旋鑽之構造與大衛斯杯形旋鑽相似，惟所旋鑽之鐵管與鑽孔之大小相同，且將岩石化成碎片，用水沖出。若遇堅硬之岩石，則另須裝入割石器⁽¹⁵⁸⁾，並在孔底置磨擦料⁽¹⁵⁹⁾少許，以增鑽制之效。

四，金剛石旋鑽 此種旋鑽之原理係利用金剛石之堅硬性，可磨蝕一切岩石也；故將金剛石多枚分裝於一圓筒形鑽頭之周圍，即可使岩石鑽成一完整之小圓柱也。金剛石旋鑽之裝置，大概為一導管，連一管靴⁽¹⁶⁰⁾下達石屑，以保護鑽孔之上部。另用套管以防止石屑之阻塞及水之外溢。又一鑽桿⁽¹⁶¹⁾為傳遞動力達於鑽頭之用，與取樣管相連，後者連一提樣殼，管端即附鑽頭。工作時，受有壓力之水自鑽桿中輸入，達於孔底，再和以石屑經管外之空隙部分上升。提取鑽成之小圓柱石樣時，將鑽桿上提，提樣環⁽¹⁶²⁾乃將小圓柱之底部割斷，納於提樣殼中取出之。金剛石旋鑽之優點在於工作迅速，費用較省，取樣完整，孔長可深，且結果可靠。惟孔長過鉅，與水平成傾角時，則因所經岩層阻力之差異，與鑽桿之柔順性⁽¹⁶³⁾，而鑽孔往往成向上彎曲之曲線形。

觀察金剛石旋鑽所鑽成之岩石小圓柱，不僅能確定地層之構造，且能表示其與地層相交所成之角度，由此即可決定地層之傾度。

測定鑽孔長度之普通方法有二，第一法即為測定鑽桿之長度

第二法係用長線一根，F端繫以重物，墮入孔底，而測定線之長度即可。

鑽孔傾度與方向之測定，方法甚多；最簡單者係用長約十吋，⁽¹⁶⁴⁾外部直徑約一吋半（此須根據鑽孔之⁽¹⁶⁵⁾寸定），內部直徑較 $1\frac{1}{2}$ 吋稍大之磷青銅製之小瓶一枚，瓶底封閉，瓶端開口，配以螺旋塞而緊閉之。瓶內更實以玻璃管一枚，其外徑適足以使之與瓶之內壁相緊貼。瓶之中部又用一橡皮塞塞住，使瓶分成上下兩部，下部則注以⁽¹⁶⁶⁾氟氫酸約半；上部則注以液體膠汁，上浮一木塞，木塞上再附指南針一枚。⁽¹⁶⁷⁾待瓶內所需各物均放入後，即用螺旋塞塞緊，塞頂附於一繩端，隨即墮入孔底，如是歷時稍久，使氟氫酸腐蝕玻璃管壁，膠汁凝固，然後取出。由玻璃管壁上氟氫酸所蝕之痕跡以決定其傾角，由凝固之指南針之位置，以測定其方向。另一方法係用一小懸錘以代氟氫酸，懸錘與管軸所成之交角，可用感光紙攝影以記錄之。

五，淺穴鑽探 若需較淺之鑽孔，以備測定地面之溫度或其他相似之用途者，則可用細長之樹桿一枝，其較粗之端埋入泥中，復以石塊，使桿身與地面成三十度角，樹桿中部用木叉架住，以作支點，而樹幹之尖端則繫以鑽錘，即利用樹桿尖端之彈性作用，用人工將鑽錘上下搗捶地面，鑿成孔穴時，鑽錘即能自動上舉。

21. 地質測探之其他方法 地質測探之方法，除上述最普通之鑽探法外，更有其他方法多種，茲將比較重要者分述於後：

一，扭轉天平法⁽¹⁶⁸⁾ 扭轉天平簡稱扭秤，一名重變儀，⁽¹⁶⁹⁾最普通者有德國製之哈夫式。⁽¹⁷⁰⁾其構造複雜，原理深奧，主要部分係為一扭轉之槓桿，其扭轉角度與所謂水平旋轉趨勢者成比例，⁽¹⁷²⁾後者更與重力變更有關，乃為一向量，可以適當比例尺表示於地圖之上。假如地下有較重之岩層形成背斜或礦床礦脈等類，則水平旋轉趨勢對於此項背斜或礦脈，必呈平行之現象，或竟與之一致。反之，平地下，若有較重岩石之向斜，或較輕岩層之背斜，如含油或含水背斜，則水平旋轉趨勢，與此項較輕岩質展布之向，必相垂直。故此種扭秤之效用，可查勘平地下質量之分配，由質量分配之情形，而間接

推及於岩層之構造，或礦脈之展布也。

二，地震測探法⁽¹⁷⁴⁾ 此法係利用岩層對於地震傳導性之不同而用地震儀測定地層之結構與性質。

三，無線電測探法 此法係用小型無線電收發機發生一電磁場，在此電磁場中若有帶金屬之岩層存在，則收受機之耳機中即可聞營營之聲。

四，鐳之放射性測探法⁽¹⁷⁵⁾ 據專家之研究，知各種泥土岩石中均有鐳之存在，惟含量之多寡不同耳。因鐳能蛻變為鉛，故測定其存在量即可斷定岩層之年齡。

五，試洞 有以試探地質為目的者，在隧道之一側或隧道之截面，先行開鑿一小型道孔，謂之試洞。⁽¹⁷⁶⁾

第三章 測 量

第 1 節 概 論

22. 概說 隧道測量亦為隧道工程進行之初步，其原則與礦冶測量頗有相似之處。隧道之地位與入口決定以後，則當着手測量其中心線，以測定其長度及引導開鑿工作之進行。最初須引一導線於隧道軸上部之地面，連接隧道兩端入口之中心線，在此導線上須設精確之測站多處，並擇定設置坑井之最佳位置。然後在隧道之兩端入口處及坑井入口處同時開始挖掘，並將導線隨同引入，故此種測量工作，必須十分嚴密，否則各處挖掘工程之進行將無從會合也。地面之導線可為一任意直線，而用支距法決定隧道中心線之位置，或可連接隧道兩入口處而以中心線為導線之閉合線。隧道中之測量可分兩部，即經緯儀測量與水準測量是也。⁽¹⁷⁷⁾前者係為引入導線之用，而後者則用以測定坡線也。

測量地形亦為開鑿隧道之要務，藉以測定隧道所經地帶之地形，指示隧道上負土之高低，顯明地質之構造，及決定坑井之位置。

若隧道經過江河之底部，則須舉行三角測量。此法為美國賓夕法尼亞鐵路之哈得松河隧道⁽¹⁷⁹⁾，瑞士新普倫隧道⁽¹⁸⁰⁾及聖哥薩特隧道⁽¹⁷⁸⁾⁽¹⁸¹⁾所採用。

23. 測量儀器 地面測量之儀器與普通所用者相同，惟地下測量之儀器尤須精確，度盤之直徑須自七吋至九吋，並能讀至 10 秒以下，隧道中光線暗弱，故儀器上須備有照明設備，且須附有補助望遠鏡⁽¹⁸¹⁾以備測量垂直平面中之角度或在坑井中作九十度角之垂直測量。測站之標記須用木樁插入隧道頂部所鑽小孔中，或用漆塗於撐架頂上，惟均須用電炬或燈照明之。測量隧道坡度之水準儀當可用正確之水準儀；並須備有反射鏡以照明望遠鏡中之十字絲，水準測棒與通用者同，惟稍短小耳。坑井之測量又須用附有重錘之鋼琴線，用法詳於後節。

24. 測量分類 隧道測量為說明便利計，可分下述數類：

- 一，地面測量⁽¹⁸²⁾
 - a. 地形測量⁽¹⁸³⁾——地面部分；
 - b. 地質測量⁽¹⁸⁴⁾；
 - c. 中心線測量⁽¹⁸⁵⁾——用導線測量⁽¹⁸⁶⁾或三角測量⁽¹⁷⁸⁾。
- 二，坑井測量⁽¹⁸⁷⁾
- 三，地下測量⁽¹⁸⁸⁾

第 2 節 地面測量

25. 地形測量 地形測量係測量隧道所經區域附近地面之形狀高低也，測量地面上各點之距離方向高度等，藉以繪出地面上各物如江河湖泊山丘等位置形勢相關之高度及形狀。測量之方法當與普通測量學中所述者相同，故不另贅；惟其目的則在乎確定隧道之位置也。若政府對於此項測量，業已舉行，並製就詳細之地形圖，則須取之以備參攷。

26. 地質測量 地質測量實為地質測探，可以參攷前章之所述。

27. 中心線測量 測量直線隧道之中心線較曲線隧道為易。測量須於天氣晴朗之時舉行之，使儀器與觀察受氣候之影響減少也。隧道之地面中心線先用普通經緯儀設立木椿使標明之，然後用精密經緯儀經數次之測量與校核，決定各木椿之確實位置，然後用石⁽¹⁸⁹⁾碑替代之，以充永久之標記。哈士哥爾氏對於各木椿位置之方法，大意如次：將經緯儀安置於一木椿上，木椿上釘小釘一枚以定其準確之位置，再中心線之前後取遠距離之兩點，前後視之，使望遠鏡之視軸位於含中心線之垂直平面中，然後觀察其他各木椿，察其是否在同一視線。曲線隧道之中心線在地下者更較在地面者難以測量，普通先將曲線之起迄點妥為測定，然後用切線支距法測定曲線之各點。

地面之中心線確定以後，則須引入地下，以導開掘之方向，如圖 4 所示， A, B 為隧道入口處， a, b 為隧道口外中心線上之兩點， $aAfbBb$ 即為地面中心線之導線。最初將儀器置於 Aa 延長線上任意點 V ，於是使望遠鏡視軸觀察地面中心線 AfB 上之任意一測站，對準方向，然後轉移視線，直對隧道入口 A ，引導開掘之方向。若開掘過深，則隧道中須設立測站，用燈照明之，然後將儀器移入。

隧道入口處 A, B 兩點之距離與水平距離亦須有精密之測定。水平測量必須重複舉行多次，以期減少錯誤。若山坡陡峭，則可用木架兩隻，架上釘有細針各一枚，兩架相距約一鋼尺之長，則兩架間之水平距離即為兩架間之斜坡距離平方與兩細針間垂直距離平方之差之平方根。

山嶽下長隧道中心線之測量，較為困難；普通常需天文學家以替代測量工程師之工作。穿越阿爾卑斯叢山之諸隧道之中心點大都為天文學家所測定，均用大型之儀器。聖哥薩特隧道中所用之經緯儀，目鏡之直徑為八吋；置於特製之圻工基礎之平座上。此隧道長 9.25 哩，上負高山，其中心線由兩天文學家設立不同之三角測量網測量之，三角網包括大小三角形甚多，三角形之頂點係依

瑞士阿爾卑斯山俱樂部所繪製之等高線地形圖。⁽¹⁹⁰⁾每一角度測讀十次，每讀四次即校準一次望遠鏡之視軸，再轉移 5 度或 10 度之角以免刻度之差誤；⁽¹⁹¹⁾所得之結果平均差誤約在弧長一秒左右。隧道兩端入口處由測量所生之差誤各計得為弧長 0.8 秒與 0.7 秒，及至隧道中心之差誤約為二吋，但開掘後導坑相遇時實際之差誤為十一吋，亦可見其難矣。

美國莫斯孔納特康隧道長五千呎，負山高四百呎，導坑相遇於隧道中心。相差 0.04 呎，水平誤差為 0.015 呎，距離之差則為 0.52 呎。⁽¹⁹²⁾呼薩克隧道長 25,000 呎，導坑相遇之點離坑井 1563 呎，離隧道東面入口處 11,274 呎，得誤差 $\frac{5}{16}$ 吋，水平誤差僅百分之一二吋，距離相差極微；及至誤差較小後，工作進行，導坑後相遇於離坑井 2056 呎，離隧道西面入口處 10,138 呎之處，結果又相差 $\frac{9}{16}$ 吋水平相差 0.134 呎。⁽¹⁹³⁾

第 3 節 坑井測量

28. 坑井測量 ⁽¹²⁾坑井設立之主要目的有三，一，加速工程之進行，二，便利石屑之運出，三，為通風之用，根據此種目的即可斷定其位置在何處為最佳，普通宜平均分佈於山谷平地之處，距隧道軸愈近則開掘費用愈省。坑井之位置若經確定，則坑井之深度及其底部之高度，離隧道口之距離等均須測定。

坑井之深度或其底部之高度，普通可用鋼尺量得；惟因鋼尺之重量與拉尺之力，使鋼尺拉長，故須加以校正。坑井底部之位置及隧道軸之方向則須有極精密之方法與純熟之技術以決定之。茲舉呼薩克隧道所用之方法以為例：其法先於坑井（深 1030 呎）頂部置相距六呎至八呎之平行木梁兩枚，與隧道中心線相垂直，每一木梁與隧道中心線之相交處各懸一錘線，直入坑井之底，此兩錘線之中間即含隧道之中心線。至於木梁與隧道中心線之相交點由舉行數次精密測量所得結果之平均值決定之。又用兩平行細線相距 $\frac{1}{16}$ 吋，張於木梁之間使隧道之中心線恰在此兩細線之間。垂入坑井之

兩平行錘線各繫重十五磅之錘一枚，並在坑井底浸入盛水之水桶中使減少其擺動；錘線之四周築以木框以防止坑井中氣流之影響。即在此種嚴密設備之下，懸錘猶不能免其微小之擺動，而無從靜止，故僅能取其擺動之平均值，轉移於一置於坑井底隧道頂部之十字梁上；再由此十字梁所設之兩點懸兩短懸錘，用經緯儀測定其間之中心線以作隧道之中心線。據塔馬刺克坑井中所得之經驗⁽¹⁹⁴⁾，知坑井中之氣流影響及錘線之影響甚大。坑井深 4250 呎，錘線用第二十四號鋼琴線，繫五十磅之重錘，坑頂兩線間之距離為 16.32 呎及至底部則為 16.43 呎，相差 0.11 呎之鉅。

若坑井之位置在隧道之側，如圖 5 所示，A 及 B 點之間張一直線，用前法懸錘線兩枚，墮入坑井，再在底部沿 BW 測定等於 BO 之距離，置儀器於地下之 O 點，設一視線垂直 BO 線即為隧道軸。

第 4 節 地下測量

29. 地下測量 隧道中之測量必須精密，否則失之毫厘，差以千里矣。普通為求精密計，須用特製之法留氏儀器⁽¹⁹⁵⁾。儀器係為一端有小孔之鐵釘兩枚釘於隧道之頂部相距九吋，兩孔間用一吋高， $\frac{1}{2}$

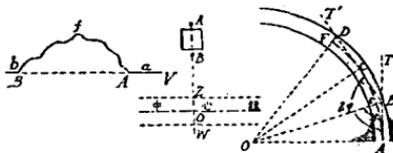


圖 4 中心線測量

圖 5 坑井位於隧道一側時之測量

圖 6 曲線隧道之中心線測定法

吋厚，十吋長之黃銅片相連，黃銅片上刻有度數至十分之一吋，且附有游標，下連一懸錘，此游標可左右移動使對準望遠鏡之視線，則懸錘即在隧道軸上矣。

隧道中之測站，必須設於頂部，否則易為石屑，工具等所湮沒。暫時之測站可設於撐架上，因撐架易被更動或移去，故可在頂部鑽一小孔實以木塞作為標記。測站之光線以用手電筒，或罩有毛玻璃之燈，或閃光燈為最妥。又因隧道中工作時，工人之熙攘，工具之阻塞，及爆炸時所生之烟塵及

碎片等，皆於測量工作有妨，故後者須於開掘工作暫時停止時進行之。

30. 曲線測量 曲線隧道中心線之測定方法甚多，最普通者為切線支距法。如圖 6 所示， AT 為曲線開始點之切線方向。決定三角形 AOB 中 AB 之長，即可固定 B 點之位置，以備將儀器移至此點之上也。設 $OA = r$ ， $AB = d$ 及 $\varphi = ABO$ ，則 $\tan\varphi = r/d$ 。

加倍 φ 之值使 ABC 角 $= 2\varphi$ ，即可決定 BC 線，使 $AB = BC$ ， C 點乃可確定。曲線上各點均可自切線 AB 及 BC 引座標之長以決定之。又延長 CB 使 $CD = CB$ ，則曲線之 CF 部分與 $C'E$ 對稱，故測定 EC 所用之座標值即可用之於 CF 之測定，惟各點之次序相反耳。

曲線之存在於隧道中，可分下列數種情形述之：

一，隧道全線幾在切線上，惟其兩端則為曲線 此種情形，在阿爾卑斯山各隧道中為尤多。此種長隧道中心線之測定，係自一曲線引出，故誤差極難減除，且因隧道甚大，微小之誤差，亦隨之增加。欲免除此種缺點，可先將隧道視為直線隧道開掘之，待隧道貫通後，再在其兩端開闢曲線，而直線部分乃可廢棄或備其他用途。

若隧道甚短，則先開掘兩端曲線部分，然後在中部連以直線，惟直線部分之開掘先用極狹小之導坑，自兩端同時開始，導坑之開掘必須迅速，務使於最短時間內相遇，相遇時苟有誤差，亦不難於導坑擴大時加以校正。

二，隧道之一端為曲線他端為直線 此種情形之下，隧道之開掘須自兩端同時開始；惟直線部份僅先開掘導坑，待隧道貫通後，其相遇時之微小誤差可於直線部分擴大時加以校正。

三，隧道之中部為曲線兩端為直線 此種情形最為困難，普通惟有先鑿導坑，於最短時間內使其貫通，然後再加擴大而校正之。

四，螺旋隧道⁽⁴⁴⁾，隧道之中心線全為曲線 此種情形下，隧道兩端入口處之高度，定有相差，故須注意隧道之坡度。最初亦須開

掘導坑，以最短之時間貫通之，然後再校正誤差。惟導坑中導線及坡度之測量亦須精密，導坑之位置須近隧道之截面中心，使導坑之四壁不與隧道之四壁相距過近，俾易於校正也。

31. 隧道測量之參考 隧道測量為測量學之一支，惟其方法初無成規，須視當時情形而定，已成隧道之測量法甚多，不勝枚舉，茲舉其數種，俾讀者可獲實際之研究。

一，呼薩克隧道：(見表 48—15)

“Manual for Railroad Engineers” by Vose, PP.
69~70.

Colliery Engineer, Vol. XVI, P. 52.

“Railroad Construction” by Webb. PP. 231—233.

二，莫斯孔納特康隧道：(見表 48—14)

“Trans. A.I. Mining Engineers” Feb. 1875. Vol.
III, P. 231. by H.S, Drinker.

三，新普倫隧道：(見表 52—10)

Eng. News, Dec. 21, 1905, Triangulation and
Construction Surveys.

Eng. News, Aug. 13, 20 and 27, 1903.

Schweizerische Bauzeitung, March 14, 1908 by M.
Rosenmund.

四，洛脫慶堡隧道：(見表 53 瑞士 6)

Schweizerische Bauzeitung, Aug. 26, 1911.

五，伏斯堡隧道：(見表 48—19)

“The Vosberg Tunnel” by Leo Von Rosenberg,
1887.

六，喀斯喀德隧道：(見表 48—43)

Eng. News, Jan. 10, 1901, by John F. Stevens

Eng. & Contr., Aug. 1927, by H.B. Alvord

Journal Boston Soc. of Civil Engineers, March,

1927。

Proceedings. A. S. C. E., Feb. 1931, Vol, 57 P.

194。

載有三角測量及基線測量；儀器及三角測量網之說明；三角測量計算實例等。

七，新克洛吞水道：(見表 48—27)

Trans. A.S.C.E., Vol. XXIII, 1890, PP. 17~30

by F.W. Watkins.

八，紐約高速地道：⁽¹⁹⁶⁾

Trans. A. S. C. E., Vol. XXIII, 1890, P. 31, by

Edward Wegmann, Jr.

Eng. Rec. Sept. 19, 1903.

Eng. News, Dec. 4, 1902.

Eng. News, June 11, 1903.

九，納比安隧道：⁽¹⁹⁷⁾

Proc. Ins. of C.E., 1888, Vol. XCII, PP. 259~67

by T.W. Keele.

十，更尼森隧道：(見表 48—77)

Eng. Rec., Aug. 28, 1909, by I.W. McConnell .

十一，哈得孫河隧道：(見表 48—30)

Eng. News, Dec. 13, 1906, by James Forgie

Eng. News, Feb. 28, 1907, by James Forgie

十二，東河隧道：(見表 48—31)

Eng. Rec., July 28, 1906

Eng. News, Oct. 5, 1916, by C.M. Holland

描寫地面中心線導入隧道中之方法，盾構建築進行時之測量。

十三，小湯姆隧道：(見表 48—24)

Eng. News, Apr. 19, 1900 by Eunil Low

十四，斯克藍吞隧道：(見表 48—55)

Trans. A.S.C.E., May 1906, Vol. XVI, P. 221

十五，司特老蓓蕾隧道：(見表 48—95)

Eng. News Record, Dec. 7, 1917, by L. M. Hammond.

因此隧道中之底部爲水所埋沒，故測量頗感困難，書中詳述其特殊之方法。

十六，愛迪生電氣照明公司：⁽¹⁹⁸⁾

Eng. & Contr., Dec. 19, 1917, by H.B. Pratt.

敘述經緯儀倒懸於隧道頂部之測量方法。

十七，安第斯銅礦公司：⁽¹⁹⁹⁾

Eng. & Miners Jour., Feb. 24, 1923, by J. E. Harding.

敘述如何由地面開掘一隧道與地下礦道相連；解決三角測量網不足以測定隧道之方向及隧道中遇水使鋼尺及望遠鏡受潮濕等之困難。

十八，三哩給水⁽²⁰⁰⁾隧道：

Eng. News-Record, Oct. 8, 1925, by R.R. Bradbury.

詳述地面測量，坑井測量，曲線測量等。

十九，羅易爾山隧道：(見表 48—97)

Eng. Rec. May 10, 1913, by J.L. Busfield

Eng. & Contr., Oct. 21, 1914.

詳述全山之精密測量以計算隧道之長度。

二十，林伍德路與聖湖隧道：(Linwood Ave. & Lake St. Tunnels)

Eng. News, June 15, 1916,

詳述安置經緯儀及水準儀之儀器台，測量時並不妨礙石屑之搬運工作，並在隧道頂用各式之標號方法。

二十一，陸地與湖水隧道：⁽²⁰¹⁾

Eng. News-Record, July 26, 1917.

詳述鑽探之三角測量；用電話機傳達信號；地下運用儀器之特別方法等。

第四章 初步計劃

第 1 節 隧道橫截面

32. 橫截面之形式 設計隧道之橫截面，須不使其襯砌因受外界壓力之作用而生破壞。此種壓力之作用方向可分為垂直與水平兩種，至其大小則須視泥土或岩石內部之摩擦力及內聚力而定。根據力學之原理，知橫截面四壁之對外抗力與其曲率成正比，或與曲率半徑成反比。穿越硬石之隧道，因岩石之內聚力極大，故生垂直壓力，而無水平壓力，因此其橫截面之頂部，曲率須大，至其兩側，可作直線形也。流沙，爛泥等無內聚力之泥土中，壓力常與隧道四壁垂直，則橫截面宜作圓形。此種理論參以實際之經驗即得普通最完善之形式。硬石隧道之橫截面，頂部常作拱形，而兩側垂直。在比較柔軟之泥土中，其隧道之橫截面，多作橢圓形，使其主軸垂直。至於最軟之泥土，如流沙爛泥中，則其橫截面多作圓形。上述數種形式，並非為嚴格之規律，仍須視情形之不同而變更之。近代城市地下隧道之橫截面多作矩形，高度較小，垂直壓力可以減少；其平坦之頂部則用鋼製鉸梁築成襯砌工。

由上所述，欲設計一標準之橫截面以適合各種情形者，實非易易，但普通能適合於大多數情形者，厥為一多心形⁽²⁰²⁾，其中圓心之多寡及其位置與半徑之長短則須由工程師觀察最適合於實際情形者而定奪之。就普通之情形而言，此種橫截面形式可分左右兩半各與中心線成對稱。圖 7 所示者即為此種多心形之大概形式，其中 DH 為垂直軸將橫截面分成左右兩半。橫截面與水平軸 GD 則不對稱，

其上部之拱形常為一半圓形或半卵形，而下部則為近乎直線之兩壁與弧形之仰拱。隧道之兩壁亦可為垂直之直線或傾斜之直線，其底部亦可為直線或多心形之一部，則須依各種情形之不同而決定之。

若隧道之橫截面全為弧形所組成，則須注意圖 7 中 GA 及 Ea' 弧之中心，須在 GE 線上；頂弧 bDb' 之中心須在 HD 軸上；各弧之中心數須為奇數；由 G 至 D 及由 E 至 D 之各連續弧形之半徑長度，須相繼遞減，而各弧所張之角度總和須等於 180 度。

33. 橫截面之大小 隧道橫截面之大小須視其應用目的之不同而異；但實際上常以下述三點決定之：

- (203) 一，最小淨空之大小。
- 二，襯砌之厚度。
- 三，襯砌變形後淨空之減縮。

鐵路隧道可容納單軌，雙軌，三軌或四軌。單軌隧道中，最小淨空之大須使最大標準機車或貨車離隧道之四壁有二呎半以上之距離，頂部則須有三呎以上之距離。雙軌隧道中，則平行兩列車間之距離至少為兩呎。其他三軌或四軌之隧道中，惟依次增加橫截面之寬度可也，圖 7 中，設 AB 線代表軌道之平面，則單雙軌道之普通橫截面大小可如下表之所示。

表 3 隧道橫截面之大小

	DF 之高度 (呎)	GE 之寬度 (呎)	CF 之高度 (呎)	CH 之高度 (呎)
單 軌	17.6 至 18	16.5 至 18	6 至 7.4	$\frac{1}{2}$ 至 $\frac{3}{8}AB$
雙 軌	26.6 至 28	26.6 至 28	6.3 至 6.9	$\frac{1}{2}$ 至 $\frac{3}{8}AB$

(204) 圖 8 所示係為美國鐵路工程學會所規定標準隧道截面之淨空圖。軌頂至頂部離軌道中心向外四呎處 A 點之距離為二十二呎。雙軌隧道之兩側自拱形起點至 A 點之弧半徑為八呎，而 A 點以上之弧半徑則為二十一呎。若隧道位於曲線上，則軌道中心必有移

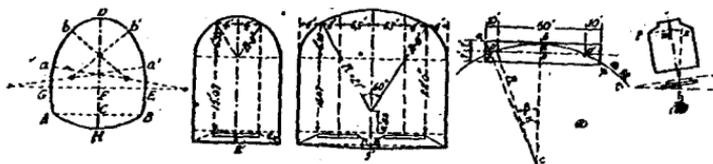


圖7 多心形之
隧道截面

圖8 標準隧道橫
截面圖

圖9 增加淨空之
計算

動，使截面擴大，中心之弧半徑亦隨之增加，增加之量須以八十呎長，十四呎高，中心相隔六十呎之兩列車作準，路軌高度假定為六呎，曲率及超高度之影響均須計入。曲率之影響須依圖 9a 所示而計算之。軌道之中心點為 O 及 O' ，車輛之中點向內推移之距離

$$de = R \text{ vers } B$$

又 $Oe = 30$ 呎， $\sin B = 30/R$ 。今設曲線率 $D = 6^\circ$ 或 $R = 955.37$ 呎；

則 $B = \sin^{-1}[\frac{30}{R}] = 1^\circ 47' 58''$ 。故 $de = 955.37 \text{ vers } 1^\circ 47' 58'' =$

0.4711 呎 = 5.65 吋。又 a 點自中心線 f 點向外移出之距離約 $= ac - (R + 7')$ 。 $ac = (R + 7') \div \cos \alpha$ 。但 $\alpha = \tan^{-1}[40 \div (R + 7')] = 2^\circ 22' 41''$ ，故 $ac = 963.20$ ， a 點向外移動之距離 $= 963.20 - (R + 7') = 0.83$ 呎 = 10.0 吋。由此算得之距離 5.65 吋及 10.0 吋均須依圖 8 所示之標準加以校正。

超高度之影響，可計算如次：設軌道之側度為 1:10，路軌中心間之距離為 $56\frac{1}{2}$ 吋時，外軌較內軌之超高度為 5.65 吋。圖 9(b) 中車頂角 p 或中心點 m 在軌頂上約 12 呎，則車輛內傾之距離約為 1.2 呎或 14.4 吋。故上述之隧道在六度曲線上時，橫截面寬度須增加 $0.47 + 0.83 + 1.20 = 2.50$ 呎；其中 $0.47 + 1.20 = 1.67$ 呎須自中心線向內增加，0.83 呎須自中心線向外增加。圖 10 為我國國營鐵路之標準，單線及雙線隧道最小淨空圖。若在曲線上，每種隧道之內側須加寬 $\frac{40.5}{R} + \frac{Sh}{1.5}$ ，外側須加寬 $\frac{40.5}{R}$ ，其中 R 為曲線半徑(米)

S 為超高度以 0.125 米計， h 為車門上角高出軌頂數以 2.8 米計。

隧道位於山間兩坡度之頂點，則其坡度除用作排水之目的外，幾成水平。若較長之隧道位於一較長之山間下坡度上，則隧道中之坡度必須略加減小；否則，隧道中空氣之阻力，潮濕軌道之附着力，將增加行車之困難，即減緩行車之速率，易使隧道中煤氣充塞，致機司乘客等均感莫大之不適也。至於坡度之詳細設計，則可參閱鐵路編。

第3節 坑井

35. 坑井 ⁽¹²⁾ 坑井者係供隧道與外界聯絡所設之垂直或傾斜甬道也。其位置可直接設於隧道中心線上或中心線之一側。而其橫截面之形式則有方形，矩形，橢圓形及圓形等。當隧道建築時，坑井之設置與隧道之入口，具有同樣之用途，即為便利開掘時石屑之運出，工具及材料之輸入，並須為工人，及通風，水電，壓縮空氣等導管之進出通道也。故坑井之大小須視此種運輸之性質與方法而定。若用捲揚機或馬拖起重機以升降小型吊桶而作運輸之用，則坑井可小。若用蒸汽升降機或電力升降機以升降大型之運台以作運輸，則坑井之運量須大，並須依情形之需要可分為幾部分，一部分為通風，及工人工具等上下之用，一部分則為升提石屑，輸入材料之用。

坑井之建築有為永久性或暫時性者。暫時性之坑井，當隧道完成後即行堵塞，永久性之坑井則留待日後通風之用。前者多作矩形，後者則為圓形；惟兩者均用木材作架支撐之。據最近研究所得，隧道中之通風除設坑井外，亦可用風扇，壓縮空氣及列車通過時之推力以行之；但永久坑井之建築費用較大，因須用堅固之圻工作襯砌，而地面或地下之積水極易流入，須在坑井底部另作精良之排水設備。故永久坑井之設置，除特別情形外，不常採用。

坑井之位置直接設於隧道之上者，則有利於材料之輸送；惟法國工程師多設坑井於隧道之側，以免妨礙隧道中之工作也。設於隧道之側之坑井，多成傾斜之坡度，使運輸工作大為簡化。在阿爾卑斯山中之隧道，行近懸崖之側者，多築斜坑或坑道與地面相通。

第 4 節 開坑

36. 開坑 隧道開始掘鑿之工作謂之開坑，其方法不一，可由下述數點決定之：

- 一，竣工之時間；二，隧道之長度；三，隧道之截面；
四，隧道上之地形；五，隧道內地質之狀態。

長隧道之工作時期較長，故宜設法減短；減短工作時間之方法，可在隧道各處之適當地點，依地形之不同，設立坑井多個，以增加工作之開始點，加速工程之進行。如圖 11 所示，即為完成此種目的之方法。



圖 11. 開坑之方法

圖 12 水平鑿岩機之使用

第五章 泥土及岩石之開鑿

第 1 節 概說

37. 概說 建設隧道於地下，常以開鑿工作為其重要部分，蓋開鑿方法與進行之適宜與否，影響於建設之經濟與成敗，至為重大，且隧道之中，地位狹隘，光線暗淡，開鑿之動作與石屑之搬運必須同時進行；機械之安置與工人之作息亦須各得其所，故隧道中工作之困難，實倍蓰於地面也。開鑿之法常視土石之性質而變更，軟土之開鑿，方法最易，所用之工具以尖斧及鐵錘為主，尖斧俗稱鶴嘴，鐵錘有平口，尖口，長柄，短柄等之區別。軟石之開鑿，可用丁斧，鐵挺，石鑽，鐵錘，錘杓，斧頭等件為之；若用機械則有蒸汽錘或壓縮空氣錘。至於堅硬之岩石，則非爆炸法開鑿不可，所謂爆炸法者，即人工或機械，在岩石中鑽孔多枚，實以炸藥，用導線燃炸

藥，使爆炸岩石，而成碎片也。

第 2 節 軟土之開鑿

38. 人工開鑿 軟土開鑿之工人，約以二十人左右為一隊，每隊置正副頭目各一人，掌理一切；其中重要工人之工資則須較高。因開鑿之動作與泥土之搬運必須同時進行，故每隊宜分兩組分掌其事，且隧道中地位有限，工人人數過多，有礙工作之進行。故每組可再酌量分成幾小組，輪流工作，使工人有休息之餘暇，俾得恢復工作之疲勞。進行開鑿工作之工人，每人各發鐵鏟一柄，如遇堅結之泥土，則需用長柄之尖口鏟；將疏鬆泥沙置入泥車而運出者，則用短柄之平口鏟。尖斧常用於凝結之礫石層以及鏟力所不及之軟石。堅實泥土常以丁斧打成碎塊後，用鏟勾拋擲於泥車中以便搬運。如遇流沙，則亦可用鏟勾。工具件數之多寡，當視挖掘土料之容量為比例。在礫石屑中，每一工人需用尖斧，鐵鏟各一；尋常沙泥祇用一鏟已足。地中夾有巨大石塊，或其他障礙物時，則每隊工人須給與鐵挺及大斧各二三桿，鐵鏈數條，螺旋舉重機若干座⁽²¹⁵⁾，以資應用。

實施工作之始，工頭用尖斧或石灰粉劃成開鑿界線，此乃根據工程師測定之中心線及預定之橫截面為標準。工程師或監工應於劃線時到場視察指導。據美國施工計核專家吉來脫氏⁽²¹⁶⁾之研究，每一工人用一斧一鏟之開鑿效率，示於表 4。惟在較深之隧道中，濕度與溫度俱高，工作效率當須減低。

表 4 一人能開掘之泥土容量

材 料	每小時之立方碼	材 料	每小時之立方碼
硬 泥	0.33	沙	1.25
普 通 泥	0.8 至 1.2	沙 泥	0.8 至 1.2
堅 泥	0.85	堅 黏 土	1.3
黏 土	1.00	凍 沙 泥	0.75

39. 機械開鑿 隧道中開鑿泥土之機械可用蒸汽鏟，或壓縮空氣鏟，但因隧道中地位極小，體積較大之機械，常不便運用自如，且我國工資甚低，動力又不發達，故非至必要時，可酌情緩用也。英國中央倫敦地下鐵路開掘泥土所用之機械為一連續戽斗挖泥機；藉以減省時間與人工。美國所用者，係將普通之蒸汽鏟稍加改良而已。此種蒸汽鏟最適於隧道截面之全部開掘，且隧道所經之泥土甚堅，不必用木材撐架以致妨礙蒸汽鏟之運用。有一種湯姆孫挖泥機，較適於鬆軟泥土之開掘，因其所佔地位較小，運用簡便，故隧道中雖有撐架，亦不致妨礙工作之進行也。

第 3 節 鑽 孔

40. 概說 岩石中鑽孔之器具，係為一鋼棒，一端作適當之尖形名為鑽頭，抵住石面，他端承受擊力，同時旋轉鋼棒，加速其鑽孔之效率。鑽孔之方法可分兩種，用人力者謂之手工鑽孔法，用機械者謂之機力鑽孔法。

41. 手工鑽孔法 手工鑽孔法以一手持鑽，在孔中旋轉，每次約 45 度，他手以四磅之鐵鎚用力擊之。此項工作可以一人或二三人行之，若數人輪擊，則須一人持鑽，用八磅至十二磅之鐵鎚。較深之孔，用手工鑽孔法頗感困難，因需時甚久也。表 5 所示，為用手工鑽孔法時之鑽孔直徑，深度及間隔等之約值也。表 6 所示則為鑽孔所需之時間。更有一種手鑽以鋼桿為之，其長度依孔之深度而定，鑽頭稍闊而尖，桿之直徑較鑽頭闊面約小八分之一吋；係藉螺

表 5 手工鑽孔法

導坑中之施工面	一 面	二 面 以 上	
施工面截面積(平方米)	4~6	17~20	26~40
鑽孔直徑(厘米)	1.5~3.0	1.5~3.0	1.5~3.0
鑽孔深度(厘米)	30~60	50~80	80~120
鑽孔間隔(厘米)	20~25	25~35	35~45

表 6 手工鑽孔法所需時間表

岩石之種類	鑽孔之方法	鑽孔一米所需之時間(分)
軟質岩	一人鑽孔	30
軟質沙岩	一人鑽孔	120
普通沙岩	一人鑽孔	177
硬質沙岩	一人鑽孔	180~230
花崗岩	一人鑽孔	750
含石英之片麻岩	二人鑽孔	160
堅泥	二人鑽孔	150

旋及槓桿之配合，用手執一搖柄而搖旋之。

42. 機力鑽孔法 上述之手工鑽孔法，需時甚久，故長大之隧道與堅硬岩石之隧道中，多用機械鑽孔法。鑽孔之機械稱為鑿岩機⁽²²⁵⁾。鑿岩機不僅用於上述之情形，其他如普通導坑之開掘，及加速完工時期等，均可用之。現今應用鑿岩機開掘之隧道已甚普遍，故於下節另述之。

第 4 節 鑿岩機

43. 鑿岩機之分類 鑿岩機之分類方法甚多，普通有下列三種：一，依機能及構造之不同而分類；二，依原動力之不同而分類；三，依使用之不同而分類。

44. 依機能及構造不同之分類 鑿岩機依其機能及構造之不同可分旋轉式鑿岩機，往復式鑿岩機及錘打式鑿岩機⁽²²⁶⁾三種。

一，旋轉式鑿岩機 此種鑿岩機係將鑽頭抵住石面，另用機械設備使之旋轉；在十九世紀中葉之隧道工程中多用之，而今已摺棄。地質測探中所用之金剛石鑽，即屬此類。

二，往復式鑿岩機 往復式鑿岩機應用頗早，自西曆 1850 年至 1870 年間開鑿之塞尼山隧道⁽²²⁷⁾中試用以後，至 1910 年前後所築之長大隧道，均利用之；其構造係為一機筒，其中配以活塞，活塞桿⁽²²⁸⁾ ⁽²²⁹⁾

之外端裝以鑽頭，利用蒸汽或壓縮空氣開動，使活塞在機筒中前後移動，並使活塞後退時鑽頭略為旋動。新式之往復鑿岩機有美國印澤梭爾藍特公司⁽²³⁰⁾之出品，其重量在 200 磅以上，活塞之往復運動每分鐘約 400 至 600 次，鑽孔速度每分鐘約一吋。

三，鏈打式鑿岩機 此種鑿岩機最為新式，其重量遠較往復式鑿岩機為輕，最輕便者約重 20 磅，能鑽 $\frac{7}{8}$ 吋孔穴至深 4 呎，較重者能鑽大而較深之孔，蒸汽及壓縮空氣均可用為原動力。應用時緊推手柄，使空氣或蒸汽由活門導入機筒，活塞作鏈擊運動而連續打擊鑽頭之上端，同時以鑽機漸漸轉動之。此種鑿岩機常附以注水裝置，用水壓入鑽桿之中心，水自鑽頭流出，增加鑽孔之效率。

鏈打式鑿岩機之出品，在美國印澤梭爾藍特公司有 N-75, L-74, S-70 等型，其中以 N-75 最為新式。鏈打式鑿岩機之優點甚多，如機件輕便，一人可司運用，無須裝設三足架，在狹小坑道中尤為適宜，鑽孔方向並可隨意，鑽頭裝卸或更換亦甚迅速便利等是也。故其應用，日趨廣大；惟運用時手柄之顫動頗大，工人須經相當之訓練，始能勝任。

45. 依原動力不同之分類 原動力之種類甚多，用之以開動鑿岩機則各有其優劣之點；今所通用者多以壓縮空氣及蒸汽為主，其次則直接用電力；前兩者所用之方法與機械之構造大致相同，而與後者之機械構造則迥異。茲依原動力之不同將鑿岩機分為蒸汽鑿岩機，壓縮空氣鑿岩機，電力鑿岩機，水力鑿岩機及內燃機力鑿岩機等五種。

一，蒸汽鑿岩機⁽²³¹⁾ 以蒸汽為原動力與以壓縮空氣為原動力相同，多應用於往復式之鑿岩機。惟蒸汽之輸送，坑外蒸汽機之設置，及隧道內蒸汽之發散等均較壓縮空氣為困難，故後者之應用較廣。

二，壓縮空氣鑿岩機⁽²³²⁾ 用壓縮空氣作原動力，最近甚為通行，可謂大多數之鑿岩機均屬於此，以前壓縮空氣之壓力僅能維持於每平方吋 50 磅至 60 磅，現在則可增至每平方吋 80 磅至 100 磅

矣。

三，電力鑿岩機⁽²³³⁾ 直接應用電力之鑿岩機可分螺線管式，
電動機式及脈動機式等三種。⁽²³⁴⁾

(a) 螺線管式 此式係利用電學中螺線管之原理產生磁場之變更，使鑽桿旋轉之。此式有美國聯合電氣公司⁽²³⁵⁾之出品，用 110 伏特至 220 伏特之交流電，需馬力 $4\frac{1}{2}H.P. \sim \frac{1}{2}H.P.$ ，全重約 234 磅；構造簡單，堅固耐用，鑽力強大等均為其優點；但螺線管極易發熱，故每隔二小時須更換一次，此乃其缺點也。

(b) 電動機式 此式係用電力開動一小型電動機，多裝於鎚打式鑿岩機上，使鑽桿往復運動與旋轉。此式在美國西門子電氣公司⁽²³⁶⁾有 2H.P. 電動機式鑿岩機之出品，日本有 M.I. 式，中山式等之發明。

(c) 脈動機式 此式係用電動機開動一空氣壓縮機，使壓縮空氣通入鑿岩機之兩機筒中，使活塞發生往復之運動。此種鑿岩機之本身，構造簡單，因除旋轉裝置外並無其他裝置也。又活塞面積較大，壓縮空氣之壓力可低；且鑿岩機本身與電動機僅以壓縮空氣輸送管相連，故其本身所受電動機震動之影響極微，但因空氣壓縮機必須同時攜入隧道內，是為其最大缺點。此種鑿岩機之馬力約為 5H.P. 至 8H.P.。

電力鑿岩機至今尚在改進之過程中，故其使用範圍及效率，均有遜於壓縮空氣鑿岩機之處。電力鑿岩機之最大特徵，在於機械能率之特高，原動力之費用較省。但其構造細微，易受塵埃與水氣之作用而生障礙也。

四，水力鑿岩機 此種鑿岩機係利用水輪機轉動一螺鑽⁽²³⁷⁾，或利用水之波動力轉動脈動式空氣鑿岩機⁽²³⁸⁾，惟均在實驗之中，故尚無實際之應用也。水之行於傳遞管中較空氣為不易洩漏。此其優點。

五，內燃機力鑿岩機 此種鑿岩機亦在試驗期中，因直接用汽油機為動力，常須有大規模之設備，且其排出之氣常含毒素，有礙衛生。

46. 依使用不同之分類 依使用之不同，鑿岩機可分為水平鑿岩機，向下鑿岩機及向上鑿岩機⁽²³⁹⁾三種。

一，水平鑿岩機 水平鑿岩機乃為大型之鑿岩機擱置於一機座上，專鑿水平方向之鑽孔。前述 *N-75* 式及 *L-74* 式等錘打鑿岩機均屬之。

二，向下鑿岩機 向下鑿岩機，一名約克錘⁽²⁴¹⁾，乃為中型向下鑿孔所用之鑿岩機。此種鑿岩機亦有能利用水平鑿岩機架於一座基上者，名為大型向下鑿岩機⁽²⁴²⁾。美國印澤梭爾藍特公司之出品有 *S-49*、*DCRW-23* 等式。其他亦有較小之鑿岩機，名為小型鑿岩機⁽²⁴³⁾，美國印澤梭爾藍特公司之出品有 *BAR-33* 式；及日本之足尾式 11 號等。此種小型向下鑿岩機中之較小者如足尾式 11 號，又稱手提錘⁽²⁴⁴⁾，因可利用於較輕便之工作中也。

三，向上鑿岩機 向上鑿岩機專為向上鑽孔之用，美國印澤梭爾藍特公司之出品有 *BC-21*、*CC-11* 等式。

47. 鑿岩機之構造與機能 現今最通行之鑿岩機，多為用壓縮空氣作原動力之錘打式鑿岩機；茲略述於後：

一，鑿岩機之構造 鑿岩機之構造及各部分之尺寸大小均依各公司之出品而異，故其詳細情形可向各公司索閱此項機械說明書便知。⁽²⁴⁵⁾

二，鑿岩機之機能 鑿岩機之機能有空氣消耗量，打擊數，打擊力等數端，分述於後：⁽²⁴⁶⁾

(a) 空氣消耗量 就大體而言，鑿岩機之空氣消耗量須視其機筒之內徑而定。如表 7 所示即為其大概情形。

又數座鑿岩機於同地同時工作時，則空氣消耗量與機數並不成正比。如表 8 所示。

今設某鑿岩機之機筒直徑為 3 吋，壓縮空氣之計示壓力為每方吋 80 磅，則 6 座同時工作時所需之全部空氣消耗量可計算如下：

由表 7 檢得鑿岩機每座之空氣消耗為 115 立方呎/每分鐘，又自表 8 檢得空氣消耗量之倍數為 4.8 故全部空氣消耗量 = 115 ×

表 7 高於海平面處鑿岩時之空氣消耗量
(立方呎/每分鐘；一大氣壓力之下)

壓縮空氣 之指示壓力 (247)	鑿 岩 機 之 機 筒 直 徑(吋)											
	2	2 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	3	3 $\frac{1}{8}$	3 $\frac{3}{16}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{5}{8}$	4 $\frac{1}{4}$	5
60	58	63	70	82	90	97	100	105	114	118	135	155
70	62	72	80	92	104	112	115	118	130	138	152	174
80	70	80	88	103	115	125	130	135	142	153	173	205
90	78	87	95	115	128	137	141	148	165	173	194	222
100	85	96	108	126	140	151	155	161	176	184	210	250

表 8 鑿岩機之空氣消耗量之倍數

鑿岩機 之座數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
空氣消耗 量之倍數	1	1.8	2.7	3.4	4.1	4.8	5.5	6.1	6.7	7.3	10.3	12.8

4.8 = 552 立方呎/每分鐘。

由前所計得之空氣消耗量僅為約數而已。鑿岩機往往因新舊之不同，而增減其空氣消耗量。用舊之鑿岩機，其活塞與機筒間之空隙往往因過量之摩擦而逐漸增大，致空氣消耗量亦增加，達至某種狀態時，鑿岩機即不能轉動，此為其壽命之終點也。同一種類之新機械其空氣消耗量亦有多寡，故宜先行測定之。現今所用之儀器有佐治肯德⁽²⁴³⁾空氣計及測氣計⁽²⁴⁹⁾。

(b) 打擊數 打擊數者單位時間(一分鐘)內打擊鑽錐之次數，係視活門之構造而異，活門之動作靈敏輕快，則打擊數可增加，故新舊機械之打擊數不同。其他如活塞之動程⁽²⁵⁰⁾，空氣隙之位置與大小，壓縮空氣之壓力等均可影響於打擊數。現今所用水平鑿岩機之打擊數約為1300至1600，向下鑿岩機之打擊數約為1900至2100，向上鑿岩機之打擊數約為1100至2100。

(c) 打擊力及效率⁽²⁵¹⁾ 打擊力者實為打擊活塞使之向前推動之力也。但為比較各鑿岩機打擊力之大小計，常以一次之打擊力與單位時間之打擊數之相乘積為準也。

今就每打擊一次之作用以研究之，設

W = 活塞之重量(仟克)，

V = 打擊鑽錐時活塞之速度(米/秒)；

N = 活塞之打擊數(每一分鐘)；

L = 活塞之動程(米)；

則根據機械學原理，得

$$V = (2L \times N) / 60$$

又假定每次打擊時之動量等於打擊力 E (仟克·米)，則

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2g} W V^2 = \frac{1}{2g} W (2L \times N)^2 / 3600 \\ &= 2W L^2 N^2 / 3600g = \frac{W}{1800g} L^2 N^2 \end{aligned}$$

設打擊之效率為 f ，實際之打擊力為 E_n (仟克·米)，則

$$E_n = f \frac{W}{1800g} L^2 N^2$$

其中 f 之值約為 75% 至 60%，故每分鐘之總打擊力 E_n (仟克·米)

$$E_n = \frac{f w}{1800g} L^2 N^3$$

其中 L 及 N 兩值常成反比，即 L 增大， N 即減小，故使機械之 $L \times N$ 值最大，則打擊力最大。

普通實際上每次之打擊力與每分鐘之打擊數，可由佩因得鑿岩機試驗機⁽²⁵²⁾ 測定之。今設某鑿岩機每次打擊力之測定值為 S (仟克·米)，每分鐘打擊數之測定值為 n ，則此機械每分鐘之打擊力 E_I (仟克·米) 為

$$E_I = S n$$

若以馬力為單位，則

$$E_I = S n / 4500 \text{ H.P.}$$

此即稱為鑿岩機之指示馬力。⁽²⁵³⁾

每一單位空氣消耗量所需之馬力可計算如下：

設 $Q =$ 空氣消耗量(立方米/每分鐘)，

$G =$ 計示壓力(仟克/平方厘米)；

則所需之馬力 E_A (H.P.) 為

$$E_A = \frac{10,000 G}{4500(G+1)}$$

又設 $\epsilon = E_I/E_A$ ，此謂之試驗機之效率。⁽²⁵⁴⁾ 又空氣壓縮機所需之馬力 E_C 為

$$E_C = K:Q$$

其中 K 為 G 壓力下壓縮一立方米所需之馬力，又設

$$\epsilon' = \frac{E_I}{E_C}, \text{ 此謂之熱效率。}^{(255)}$$

表 9 係示普通二級壓縮機之 G 與 K 間之關係。⁽²⁵⁶⁾

表 9 G 與 K 之關係

K (馬力)	4.574	5.124	5.640	6.092
G (仟克/平方厘米)	4	5	6	7

(d) 鑽錐之旋轉數及鑽孔速度等 鑽錐之旋轉數對於鑿岩機之鑽孔速度，影響甚大。而鑽錐之旋轉數又與空氣消耗量，打擊數，機筒動程等成正比例，今設：

$\alpha =$ 螺紋桿突出部扭轉之角度；

$L =$ 活塞之設計總動程；

$l =$ 活塞之實際動程；

$$e = \frac{l}{L} \times 100;$$

$C =$ 各配合部分之合計空隙損失百分率；

$n =$ 每分鐘之打擊數；

$R =$ 每分鐘鑽頭之旋轉數。

則
$$R = \frac{\alpha n}{360} l(1-C) = \frac{\alpha n L}{36000} e(1-C)$$

(257)
根據西門氏之實際實驗知鑽錐之旋轉數與使用空氣之絕對壓力之平方根成正比云。

至於鑽孔速度則與岩石之性質，鑿岩機之打擊力，打擊數，旋轉次數等均有密切之關係，除用實際方法可加以測計外，尚無理論之公式可以計算之。

三、鑿岩機之使用與工作能力

(a) 水平鑿岩機之使用與工作能力

甲，裝置之方法 水平鑿岩機之裝置方法可分四種：第一種為直柱裝置，如圖 12 所示，此種直柱，⁽²⁵⁸⁾中部空心，直徑自 3½ 吋至 6 吋不等，長約自 4 呎至 9 呎，上下兩端各備起重螺旋一具，用木塊作為襯墊，抵住隧道之頂部與底部，而鑿岩機則用螺旋夾子⁽²⁵⁹⁾夾於直柱之臂上，即可運動自如。直柱因兩端螺旋裝置之不同，有單螺旋直柱⁽²⁶⁰⁾與雙螺旋直柱⁽²⁶¹⁾兩種。第二種為橫桿裝置，此種橫桿與直柱之構造相同，惟安置之位置須水平耳。其優點為易於清除地面之石屑，數座鑿岩機可同時安置於其上⁽²⁶²⁾也。第三種為三足架裝置，即鑿岩機安置於一三足架上。第四種裝置方法，係將鑿岩機裝置於一特製之鑽孔車上⁽²⁶³⁾，可以行動迅速，惟佔地位較大耳。

乙，注水裝置 如圖 12 所示，利用壓縮空氣將水箱中之水壓入鑿岩機之鑽桿中。水箱之容量普通約為 70 升(18 加侖)，若鑿岩機之座數增多，則水箱亦須增加；但水箱數量增加後，給水與搬運等工作均感困難，故可用一水箱車供給水量。⁽²⁶⁴⁾

丙，工作能力 水平鑿岩機多為大型之鑿岩機，鑽孔深度可達四米以上，普通每座鑿岩機約用八小時須更換一次，由實際之經驗可得下列之公式：

$$L = 27\sqrt[3]{D}$$

其中 L = 每次每座鑿岩機之鑽孔深度(呎)

D = 鑽孔速度(吋/分鐘)

即鑽孔速度為 8 吋之鑿岩機，每次可鑽 $27 \times 2 = 54$ 呎深之孔穴。表 10 即示水平鑿岩機鑽孔狀態之一斑，以資參考。

表 10 水 平 鑿 岩 機 之 鑽 孔 狀 態

隧道名稱 (265)	竣工年	岩質	導坑之大小	孔數	平均孔深	每次交換使用 之鑿岩機次數	鑿岩機種類
1 聖保爾	1909	片麻岩	7'×21'	—	6'~8'	8	—
2 黑基黑基	1925	花崗岩	14'·3"×13'·4"	42	12'	7	No.248, No.148
3 第一湯槍曾	1927	角閃岩	9'×12'	27	6'	2~4	DW-64
4 摩發特	1928	片麻岩	8'×9'	26	8'~9'	4	印淨威爾藍特 Sullivan, Denver
5 潘水	1928	角閃岩	9'×9'	29	6'	4~6	N-75
6 雲東	1928	沙岩	8'×20'	37	10'	—	Denver
7 新喀斯喀德	1929	花崗岩	10'×10'	28	8'~6'	4	N-75
8 下久野	1930	花崗岩	3米×3米	14~20	1.5米	2	DX-61
9 欽明路	1934	片狀岩 花崗岩	4米×2.7米	18~32	2.0米	2~3	N-75

(b) 向下鑿岩機之使用法 向下鑿岩機多用三足架支持或手提之以鑽孔，若遇軟石而須用大型之鑿岩機者，則當架於一機座⁽²⁶⁶⁾上；其安置與注水等工作均與水平鑿岩機相同。注入之水和以壓縮空氣可清除孔底之石屑，惟石屑和水溢出地面，有礙衛生，故須用真空抽機抽去之。

(c) 向上鑿岩機之使用法 使用向上鑿岩機多用手握住機柄而為之；普通均無注水裝置及空氣噴出之設備，因孔底向上，無清除之必要。最近亦有用注水裝置者，以防石屑之吹散，惟溢出之污水須有適當之通路以宣洩之。

(d) 鑿岩機使用上之注意事項 隧道中地位狹隘，光線暗淡，故影響於機械之效率甚大。普通須使機械之各部保持良好之狀態，且每次更換後，須移至坑外工場中詳加檢點，試驗以及注油。若有注水裝置，則須勿使水滴因壓縮空氣之作用而侵入機械之各部，以致沖去潤滑油，而促使各部分之損壞。又鑿岩機切不可任意玩弄，或當鑽頭未抵住石面時即行開動機械使活塞打擊不着力之鑽桿，而易受破壞，及減低機械之效率也。

第 5 節 鑽錐

48. 概說 製成鑿岩機鑽錐之材料，謂之錐鋼⁽²⁶⁷⁾，此種材料之物理性質，化學組成，及形狀等均有影響於其造形與加熱處理等之工作⁽²⁶⁸⁾。錐鋼多為高級碳質鋼，其製造工程既繁且難，製品價格又甚昂貴。茲將其特性，適於鑽孔之形狀，造形及加熱處理等之經濟方法，略述於後。

49. 鑿岩機用鑽錐材料之特性 鑿岩機所用之錐鋼須能製成適當之鑽錐，一端為鑽桿承受活塞之強大打擊力，他端更須製成鑽頭，能鑽挖堅硬之岩石。職是之故，鑽桿之截面須能抵禦反覆之撞碰應力而不破裂，鑽頭須經加熱處理以增加其硬度。若有注水裝置，則須使鑽桿之中心製成空心管以備輸水之用。

一、截面 鑽桿承受活塞之打擊，與柱之受反覆中心載重之

作用相似，若鑽桿之截面過細，即有斷折之虞。又活塞之作用更使鑽桿中發生連續之反覆應力，易使錐鋼因疲乏而致破壞。⁽²⁷⁰⁾由經驗所知，圓形之截面極有利於打擊力之傳播，故為最佳之形式；但實際上更有六角形，八角形，十字形等數種。凡截面寬度在 $\frac{3}{4}$ 吋以下者均用於小型向下鑿岩機中， $\frac{7}{8}$ 吋者用於中型，或大型之向下鑿岩機中。1吋者多用於向上鑿岩機中， $1\frac{1}{2}$ 吋者用於水平鑿岩機中， $1\frac{3}{8}$ 吋者則用於小型水平鑿岩機或大型向下鑿岩機中，鑽桿中心之小孔以備注水裝置之用者須為圓形，其直徑約為 $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{3}{8}$ 吋

二、組成

(a)化學成分 錐鋼之主要成分為高碳鋼，並含適量之磷，硫，矽，錳，鎳及鉻等金屬，製成特殊之合金鋼。多量之碳及錳可增加材料之抗張強度與硬度；且錳易與硫氧化合而成浮渣，使熔液潔淨，且能減低鋼之紅折性，但過量之錳及磷均能使鋼變脆，在常溫下易起冷折。最優良之錐鋼，其化學組成應含碳 0.8—0.9%，錳 0.15—0.3%，矽 0—0.3%，磷及硫 0.01—0.03%。普通之錐鋼含碳 0.7—0.9%，磷及硫 0.03% 以下者亦可使用。

(b)組織 錐鋼之組織，皆由小形晶體結合而成，其化學成分則愈勻愈佳；但鑽桿中心小孔之四周，常因製造之不得法，其組織乃生變化，故須特別注意之。

(c)形狀 錐鋼之全部，須形狀一律，表面平滑，質地均勻，無瑕疵之存在。又其中通水之小孔亦須光滑而成圓形。

三、出品與檢驗 錐鋼之出品，各大工業國家均有，世界之著名者有英國安得魯公司⁽²⁷¹⁾出品之“Sturdy”及“B. C. Special”；亞塔爾巴爾福公司⁽²⁷²⁾出品之“An Eagle on a Globe”及“Capital”；美國克魯伯爾鋼鐵公司⁽²⁷³⁾之“Black Diamond”，印澤梭爾藍特公司⁽²⁷⁴⁾之錐鋼；德國格林格鋼廠⁽²⁷⁵⁾之“Rackling RHB9”，矽鋼公司⁽²⁷⁶⁾之“Baildon B. H. 10”，奧國波勒公司⁽²⁷⁷⁾之“2 Swan 651 及 851 Extra Steel”，斯庫勒布拉克門鋼廠⁽²⁷⁸⁾之“Phoenix No. 7 及 No. 8”，及“Serpent vanadium”；瑞典福司伯格鋼廠⁽²⁷⁸⁾之“Speedy bore

No. 10 FJAB”等。採用此種及其他市場上出售之錐鋼時，必須按照規範書詳加檢驗，即測定其化學成分，組織，形狀，並加以其他特殊之機械試驗，如顯微鏡試驗，硬度試驗，碰撞試驗，彎曲試驗⁽²⁷⁹⁾等等。

50. 鑽錐各部之名稱及形狀 鑽錐之一端製成特殊之形狀，以備在岩石中鑽孔者，謂之錐頭⁽²¹²⁾；他端插入鑿岩機之套中者謂之錐桿⁽²⁸⁰⁾。如圖 13 所示之鑽錐，其鑽頭係作十字形，鑽桿之形式除為圓形，六角形等外更有光滑鑽桿，帶環鑽桿及附齒鑽桿⁽²⁸¹⁾等三種。



圖 13 鑽錐

鑽頭之形狀甚多，普通多用十字形及角錐形，但其選擇須視岩石之硬度，韌度，鑿岩機之打擊力等而定之。鑽頭上之打擊強度若超出岩石之破碎強度，後者即行破壞，故鑽頭之面積⁽²⁸²⁾宜小。實際上，岩石之破碎係由於割碎，搗碎及磨碎等三種作用⁽²⁸³⁾；其中割碎作用之效率最大，惟鑽頭必須銳利；及至鑽頭稍行磨損，此種作用即不復存在，而繼之以搗碎作用，迨鑽頭之截面積逐漸磨大，打擊強度小於岩石之破碎強度時，僅有磨碎作用之存在而已，此時之鑽孔速度乃急速降低矣。鑽孔速度之降低原因實為鑽頭之四邊漸與孔壁摩擦之故⁽²⁸⁴⁾。由此可知，鑽頭之最佳形狀，當使割碎作用與搗碎作用之作用時間增加，又使鑽頭之四邊製成楔形以增加鑽頭磨碎作用之效力。

鑽頭之角度普通均作 90 度，但據試驗之結果，知：若遇最硬之岩石如燧石，硬沙岩等⁽²⁸⁵⁾，則用 70 至 80 度之間之角可得最大之鑽孔速度；普通之岩石如花崗岩，閃綠岩等⁽²⁸⁶⁾，則用 90 至 100 度之角最佳；軟質岩石中之鑽孔速度對於鑽頭之角度影響甚小⁽²⁸⁷⁾。

51. 鑽頭規及規差 普通鑽孔所需之能約與孔徑之平方成比例，且鑽孔內將實以炸藥藥筒，其與孔間必須能密合而毫無空隙，纔生最大之爆炸效果，由此觀之，鑽孔之直徑須愈小愈佳；但事實上，鑽孔過小，即不易裝填藥筒，又因岩石與錐鋼之性質不一，鑽孔技術之優劣，其結果往往使孔徑不得不大於理論上之所需者。故

表 11 製備鑽錐所需鋼錐之長度核算表

鑽錐之直徑(吋)	4				21
	$3\frac{7}{8}$				20
	$3\frac{5}{8}$				19
	$3\frac{3}{8}$				13
	$3\frac{1}{2}$				$10\frac{3}{4}$
	$3\frac{1}{8}$				$8\frac{3}{4}$
	$3\frac{1}{4}$			10	$7\frac{1}{2}$
	$3\frac{1}{8}$			9	$6\frac{1}{2}$
	3	17	9	$8\frac{1}{4}$	$5\frac{3}{4}$
	$2\frac{7}{8}$	16	$8\frac{1}{4}$	$7\frac{1}{2}$	5
	$2\frac{5}{8}$	$14\frac{1}{4}$	$7\frac{1}{4}$	$5\frac{1}{2}$	4
	$2\frac{3}{8}$	$13\frac{1}{4}$	6	$4\frac{3}{8}$	$3\frac{1}{4}$
	$2\frac{1}{2}$	$10\frac{1}{4}$	$4\frac{3}{4}$	$3\frac{3}{8}$	$2\frac{1}{4}$
	$2\frac{3}{8}$	$8\frac{1}{4}$	$4\frac{1}{4}$	$3\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$
	$2\frac{1}{4}$	$6\frac{1}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$
	$2\frac{1}{8}$	$5\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{8}$	2	$1\frac{1}{4}$
	2	$4\frac{3}{8}$	2	$1\frac{3}{4}$	1
	$1\frac{7}{8}$	$3\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
	$1\frac{5}{8}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{5}{8}$
	$1\frac{3}{8}$	2	$1\frac{1}{8}$	1	$\frac{1}{2}$
$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{4}$		
$1\frac{1}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{8}$			
$1\frac{1}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{8}$			
$1\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$				
所需鑽桿所加之長度(吋)	向上鑿岩機之鑽桿	6	6	6	6
	附齒鑽桿		8	$7\frac{5}{8}$	$7\frac{1}{2}$
	$4\frac{1}{2}$ "帶環鑽桿	8	$7\frac{3}{4}$	$7\frac{5}{8}$	
	$3\frac{1}{2}$ "帶環鑽桿	7	$6\frac{3}{4}$		
鑽錐之直徑(吋)		$\frac{7}{8}$	1	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$

所用之鑽頭亦須較大，此鑽頭實際上之最適當直徑謂之鑽頭規。⁽²⁸⁸⁾又據前述，鑽孔愈深則鑽頭之角度與四周均逐漸磨損，而普通之鑽孔最長不過二米，故欲鑽數十米長之孔穴，須將鑽頭更換數次，每次更換又須減縮鑽頭規之磨損量約 $\frac{1}{8}$ 吋，此謂之規差。⁽²⁸⁹⁾其目的在使最後之鑽頭規較藥筒直徑大 $\frac{3}{16}$ 至 $\frac{5}{8}$ 吋。

52. 製備鑽錐所需之錐鋼長度 若有大量錐鋼之貯藏，則可隨時自製鑽錐，但製此項鑽錐之鑽頭與鑽桿所需錐鋼之長度如何，則可檢閱表 11 以計算之。

設水平鑽岩機所用之附齒鑽桿之直徑為 $1\frac{1}{4}$ 吋，每鑿 2 呎深度，更換鑽桿一次，如孔深為 8 呎，則由表 11 中檢得 $1\frac{1}{4}$ 吋直徑之鑽錐，其最小之鑽頭規為 $1\frac{5}{8}$ 吋，故每次更換之鑽桿，其鍛煉時所需之長度為

鑽桿長 2 呎，鑽頭規 2 吋，需長 = $2'-0'' + 7\frac{1}{2}'' + 1'' = 2'-8\frac{1}{2}''$

鑽桿長 4 呎，鑽頭規 $1\frac{7}{8}$ 吋，需長 = $4'-0'' + 7\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' = 4'-8\frac{1}{4}''$

鑽桿長 6 呎，鑽頭規 $1\frac{3}{4}$ 吋，需長 = $6'-0'' + 7\frac{1}{2}'' + \frac{5}{8}'' = 6'-8\frac{1}{8}''$

鑽桿長 8 呎，鑽頭規 $1\frac{5}{8}$ 吋，需長 = $8'-0'' + 7\frac{1}{2}'' + \frac{1}{2}'' = 8'-8''$

53. 鑽頭及鑽桿之製造與整形 錐鑽之長度既經選定，即可鍛煉製造；而使用後又須整形。此種工作之原理與方法，事屬專門，茲略述其大要於后：

(a) 煅煉⁽²⁹⁰⁾ 煅煉者，係將錐鋼漸行加熱處理，⁽²⁹¹⁾再用鍊錐機加以處理之謂也。⁽²⁹²⁾加熱處理者，將錐鋼插入普通之油爐中，維持攝氏⁽²⁹³⁾1000 度之溫度；由高溫計測定之。⁽²⁹⁴⁾待錐鋼經適當之時間以達其臨界溫度時，⁽²⁹⁵⁾其內部之組織乃生變化，然後用煉錐機以造成其粗形，⁽²⁹⁶⁾軋成適當之尺寸，並在中心鑿一水孔。⁽²⁹⁷⁾⁽²⁹⁸⁾

(b) 加硬⁽²⁹⁹⁾ 將製就之鑽錐加熱至臨界溫度或臨界溫度以上而施以淬火，⁽³⁰⁰⁾因其能增高硬度，是謂加硬，錐鋼一經加硬，其含碳量增高，⁽³⁰¹⁾即碳化鐵與鐵結成均勻之凝固體故也，而彈性限度，抗張強度及韌性等，均隨之而增高。

54. 取換鑽頭 錐鋼材料，價格昂貴，且鑽頭極易磨損，常須更

換，故可使鑽頭與鑽桿製成兩部，用螺旋結合之，此種取換鑽頭用舊後，可隨時取換之，故有是名。

第 6 節 炸藥

55. 概說 ⁽³⁰²⁾ 炸藥者係以人工方法發生爆炸所需之爆炸材料也，炸藥一經爆炸即生激烈之化學反應，同時產生大量之熱與氣體。此種不安定產生物之存在有擴大體積之趨勢，乃可視作炸藥之特徵，亦即爆炸過程中最危險最有效之一剎那也。

56. 炸藥

一，種類 普通之炸藥有爆炸劑與彈藥劑之分，前者之化學反應甚為激烈，後者則較和緩耳。開石用之炸藥，係為爆炸劑，又可分為急燃與突炸兩種。⁽³⁰⁴⁾ 急燃為微粒傳佈之爆發。⁽³⁰⁵⁾ 火藥與營造火藥等皆為急燃性之爆炸劑，可置鑽孔中捶實，通以導火線而爆發之，惟孔內如有濕氣或水分，則即失其效用，且其效力亦非最大，故僅適用於較硬之泥土，以及軟沙石，凝結礫石等不堅硬之組織。此種急燃性炸藥最為普通，故不贅述。突炸性炸藥之爆發為一種突然之分裂震動，其作用乃藉導線或電流燃着另一種炸藥使先引誘震動，而爆發之。其炸力頗大，專為開鑿堅硬岩石之用也。

二，炸藥之必備條件 工程上所用之炸藥必須備有下列數條件：

甲，爆炸能量須大； 乙，使用簡易； 丙，使用安全。

因爆炸性氣體之爆炸能量甚小，又液體硝化甘油⁽³⁰⁶⁾使用不便，故均不合於上述之條件，不能作為工程上之炸藥。理想中之炸藥除應適合甲乙兩條件外，尚須擇其安全者，所謂安全者，第一，在運搬或裝填時須不受外界之微小刺激如振動，摩擦，加熱等作用而生過敏之反應。第二，爆炸之產生物必須不能燃燒，不含毒質。第三，爆炸後產生之熱量須少。第四，爆炸之反應必須迅速完成。為適合第一種安全條件計，炸藥須具有一定之靈敏度⁽³⁰⁷⁾；為適合其他安全條件計，炸藥須具有一定之安定度。⁽³⁰⁸⁾

三,起爆 引起炸藥之爆炸,須先供給少量之能量,使炸藥之一部先起爆炸,然後迅速傳達於炸藥之全部。此種能量之供給謂之起爆⁽³⁰⁹⁾。起爆之方法常以某種熱量供給炸藥,但炸藥受熱而爆炸,須達一定溫度時始能發生反應也,此溫度謂之起爆溫度。故起爆之熱量亦須一定,若超出起爆溫度愈高,則反應愈速且烈。黑色火藥與雷汞 $[Hg(ONC)_2]$ ⁽³¹⁰⁾等,稍行加熱或受打擊即起反應,而工程所用之炸藥其起爆溫度較高,故宜用雷汞作爲起爆劑⁽³¹¹⁾。

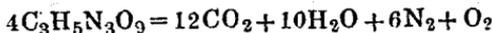
四,爆炸速度 炸藥之一部發生爆炸作用後,即生熱量與壓力,順次使炸藥全部爆炸,此種作用之傳播速度謂之爆炸速度⁽³¹²⁾。或簡稱爆速。爆速小於每秒 1000 米者,即不生爆炸反應,祇生燃燒現象,故謂燃燒速度。表 12 所示即爲普通工作上所用炸藥之爆速。⁽³¹³⁾

表 12 工程所用炸藥之爆速

炸藥名	組 成	爆 速 (米/秒)	比 重
硝化甘油 ⁽³⁰⁶⁾	$C_3H_5(ONO_2)_3$	7450	1.60
苦味酸 ⁽³¹⁴⁾	$C_6H_2 \cdot OH \cdot (NO_2)_3$	7100	1.81
三硝基甲烴 ⁽³¹⁵⁾ (T.N.T.)	$C_6H_2 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_3$	6700	1.60
台特里爾 ⁽³¹⁶⁾	$C_6H_2(NO_2)_3 \cdot N < \begin{matrix} CH_3 \\ NO_2 \end{matrix}$	7200	1.70
雷 汞 ⁽³¹¹⁾	$Hg(ONC)_2$	4500	4.42
爆 炸 膠 ⁽³¹⁷⁾	92% 硝化甘油, 8% 膠質棉	7800	1.63
甲 種 甘油炸藥 ⁽³¹⁸⁾	62.5% 硝化甘油, 2.5% 膠質棉 27.0% 硝酸鉀, 8.0% 木屑	6500	1.53
丙 種 甘油炸藥 ⁽³¹⁹⁾	40.0% 硝化甘油 6.0% 木屑 10.0% T.N.T. 44.0% 硝酸鉀	5900	1.65

五,爆炸之化學變化 爆藥中多以碳,氮,氫及氧爲主要元素,故爆炸後所生之產物應爲水蒸汽,碳酸氣,一氧化碳氣,氧氣,

氮氣等。今舉硝化甘油爲例，其爆炸化學反應式如下：



硝化甘油之分子量爲⁽³²⁰⁾ 227，碳 44，水 18，氮 28，氧 32，則

$$4 \times 227 = 908 \text{ 克之硝化甘油可生：}$$

$$12 \times 44 = 528 \text{ 克之碳酸氣；}$$

$$10 \times 18 = 180 \text{ 克之水蒸汽；}$$

$$6 \times 28 = 168 \text{ 克之氮；與}$$

$$1 \times 32 = 32 \text{ 克之氧。}$$

而四者之百分率各爲

碳酸氣 58.2%；水蒸汽 19.8%；氮 18.5%；氧 3.5%。

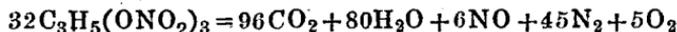
根據亞佛加德羅定律，在攝氏 20 度，壓力爲水銀柱 760 厘米，⁽³²¹⁾ 氣體一分子之體積約佔 24 升，則 908 克硝化甘油所生之氣體爲

$$(12 + 10 + 6 + 1) \times 24 = 696 \text{ 升}$$

但攝氏 20 度，壓力 760 厘米時之水蒸汽係屬液體，故其實際體積爲 $19 \times 24 = 456$ 升，各氣體之百分率爲：

碳酸氣 63.1%；氮氣 31.6%；氧氣 5.3%。

但實際上之化學反應中，必有 NO 氣之存在，其化學反應式應爲



茲比較理論反應與實際反應所生氣體體積之比如下：

	理論反應	實際反應
CO ₂	41.4%	41.4%
H ₂ O	34.5%	34.5%
NO	0.0%	2.6%
N ₂	20.7%	19.4%
O ₂	3.4%	2.1%
	100.0%	100.0%

依上述之方法，計算各種炸藥之理論反應如表 13 所示。

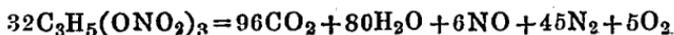
六，爆炸能量 炸爆之爆炸能量，普通均以其爆炸時產生之熱量表示之，一分子量(227 克)⁽³²²⁾之硝化甘油，其所含之熱量可計算

表 13 各種炸藥之理論反應

炸藥種類	黑色火藥	爆炸膠	甲種甘油炸藥	
1000克炸藥之 發生物數量	氣體(升)	278	760	651
	固體(克)	599	0	168
發生氣體之體 積(升)	CO ₂	135	334	247
	H ₂ O (水蒸汽狀態)	0	271	236
	N ₂	35	154	140
	O ₂	0	1	28
	其 他	58	0	0
發生氣體之體 積比(%)	CO ₂	48.6	44.0	38.0
	H ₂ O (水蒸汽狀態)	0	35.6	36.2
	N ₂	30.6	20.3	21.5
	O ₂	0	0.1	4.3
	其 他	20.8	0.0	0.0

如下:

設硝化甘油之爆炸化學反應式為



其中 硝化甘油之化合熱為 94.2 仟卡/克分子
 碳酸氣之化合熱為 94.3 仟卡/克分子
 水蒸汽之化合熱為 57.84 仟卡/克分子
 NO 之化合熱為 21.6 仟卡/克分子

則總量為 CO₂: 96 × 94.3 = 9053 仟卡
 H₂O: 80 × 57.84 = 4627 仟卡
 NO: 6 × (-21.6) = -130 仟卡

 13550 仟卡

硝化甘油： $32 \times 94.2 = 3014$ 仟卡

∴ 爆炸所生熱量

10536 仟卡

或千克之硝化甘油爆炸所生熱量 = $10536 / 32 \times 0.227 = 1450$ 仟卡。

表 14 所示即依前法計算所得之爆炸熱量。

表 14 爆 炸 熱 量 表

炸藥名稱	爆炸熱量(仟卡/仟克)	比重	爆炸熱量(仟卡/升)
爆 炸 膠	1555	1.63	2540
甲種甘油炸藥	1329	1.53	2040

七、⁽³²⁴⁾爆炸溫度 由前算得之熱量與爆炸後所生氣體之⁽³²⁵⁾比熱，即可用下式計算爆炸所生之溫度。

$$Q = GC(t_2 - t_1)$$

式中 Q = 爆炸能量(仟卡)， G = 爆炸所生之氣體量(仟克)，

C = 比熱， t_1 = 爆炸前之溫度， t_2 = 爆炸後之溫度。

若爆炸後產生之氣體種類甚多，則前式應作

$$Q = \sum G_n C_n (t_2 - t_1)$$

或
$$t_2 - t_1 = \frac{Q}{G_1 C_1 + G_2 C_2 + G_3 C_3 + \dots + G_n C_n}$$

但比熱有定容比熱 C_v 與定壓比熱 C_p 兩種，⁽³²⁶⁾爆炸所用之比熱應為 C_v 。表 15 即示由計算所得之爆炸溫度。

表 15 爆 炸 溫 度

炸 藥 名 稱	爆 炸 溫 度(C°)
爆 炸 膠	4210
甲 種 甘 油 炸 藥	3600

八、爆炸之氣體壓力 普通爆炸氣體之壓力，可由下式計算之。

$$P = \frac{f \cdot \frac{G}{V}}{1 - (\alpha + \mu) \cdot \frac{G}{V}}$$

式中 P = 爆炸氣體壓力(仟克/平方厘米)

G = 炸藥之重量(仟克); V = 炸藥之體積(升);

f = 一千克炸藥爆炸後生一升氣體時之升壓力(簡稱比壓);

α = 一千克炸藥所生氣體之分子實際容積(升);

μ = 一千克炸藥所生固體物之容積(升)。

又設 $\frac{G}{V} = \Delta$ 稱為炸藥之裝填比重⁽³²⁸⁾, 約等於實際比重(ρ) 之三分

之二。則

$$P = \frac{f\Delta}{1 - (\alpha + \mu)\Delta}$$

表 16 即示爆炸膠與甲種甘油炸藥之爆炸氣體壓力。

表 16 爆炸氣體壓力

炸 藥 名 稱	爆 炸 膠	甲種甘油炸藥
α (升/克)	0.708	0.606
μ (升/克)	0.000	0.067
$\alpha + \mu$ (升/克)	0.708	0.673
ρ (仟克/升)	1.63	1.49
P (仟克/平方厘米)	56800	29000

57. 爆炸威力⁽³²⁹⁾ 爆炸威力者, 使爆炸之四周各物破裂之力也。

據經驗所知, 炸藥之爆炸空間等於其體積時, 則炸藥之效力最大。又炸藥之用量適當, 則生沉着之爆炸, 如此岩石雖碎裂成片, 但不致向四周飛散; 若炸藥之用量過多, 則除生激烈之炸聲外, 復有餘力使碎石飛散; 用量不足則岩石不碎, 炸藥自鑽孔中射出猶如子彈之出鎗管然。故炸藥之比重, 用量之多寡等均與爆炸威力有關。但實際上影響於爆炸威力之因素極多, 如爆炸所生之壓力, 爆炸速度, 炸藥之種類, 岩石之結構, 鑽孔中之濕度, 裝填之鬆密, 鑽孔之位置等。

爆炸威力之確值，極難計算；如下式所示者，僅根據爆炸氣體壓力，炸藥比重，爆炸速度以確定其值，普通稱為某種炸藥之爆炸威力也。

$$L = qfD$$

式中 L = 爆炸威力； q = 炸藥之比重(仟克/升)；

f = 比壓； D = 爆炸速度。

實際測定炸藥之爆炸威力，有鉛壩試驗法，其方法簡易，結果亦頗可靠，此種試驗謂之特老吉爾⁽³³⁰⁾氏試驗法，為特老吉爾氏所創，曾於1903年德國柏林國際化學會議第五次開會時提出討論，公認為較佳之方法。此法係用直徑為200厘米，高200厘米之圓柱形純鉛一塊，中央鑽直徑25厘米，深125厘米之孔一枚，取被試之炸藥十克，用梯形錫箔紙包之，插入孔中。梯形錫箔紙之上下兩底各長120厘米與150厘米，其高為70厘米，一邊與上下兩底垂直。又用八號雷管，以電發火使生爆炸。炸藥上部有空隙之處，則用乾燥石英砂填充之。爆炸後鑽孔擴大，注水入孔，測定其體積，其擴大之體積即謂之炸藥之基準爆炸威力。⁽⁸⁸¹⁾表17所示即為各種炸藥之鉛壩試驗之結果。

表 17 鉛 壩 試 驗

炸 藥 名 稱	擴 大 體 積(立方厘米)
硝 化 甘 油	540
爆 炸 膠 ⁽³¹⁷⁾	530
膠 質·甘 油 炸 藥	420
台 特 里 爾 ⁽³¹⁶⁾	375
吉 利 格 那 脫 ⁽³³⁴⁾	350
苦 味 酸 ⁽³¹⁴⁾	315
T. N. T. ⁽³¹⁵⁾	290
電 汞 ⁽³¹⁰⁾	150

由此試驗方法測定之體積，實與炸藥之爆炸威力成正確之比例。有人主張以使爆炸後之擴大體積為300立方厘米所需之炸藥量作為

爆炸威力之指數，亦可稱為爆力係數，主張最力者為努柏納爾氏。⁽³³²⁾

58. 工程上用炸藥之種類 工程上用炸藥之種類甚多，但隧道工程中所用者多為甘油炸藥，甘油炸藥者係以硝化甘油作主體之組合炸藥也。茲將其大概組成示於下表。

表 18 甘油炸藥成分組成表

組成(%) 甘油炸藥之種類	硝化 甘油	棉火藥	木屑	硝石	碳酸鈣	水分
爆 炸 膠	91.5	8	0	0	0.2	0.3
膠質甘油炸藥	74.5	5.5	4.0	15.5	0.2	0.3
吉利格那脫 ⁽³³¹⁾	60.5	4.5	7.0	27.0	0.2	0.3

甘油炸藥之出品甚多，各國不同，且因其牌號之不同而異其組成。

59. 起爆及起爆劑 ⁽³⁰³⁾起爆者為使炸藥發生爆炸之謂也，如前所述起爆之要素為熱與衝擊，此種熱與衝擊之作用普通由雷管或起爆索產生之。而雷管或起爆索之起爆則須用導火線。⁽³³⁵⁾

一、雷管 雷管者為一端閉塞實以起爆劑之金屬圓管。所用之起爆劑可為一種，如雷汞；或二種組成之混合劑，如雷汞與氯酸鉀。此種均稱為單純雷管，如圖 14a 所示。若由二種或多種炸藥分層裝填者，則稱複合雷管，如圖 14b 所示。圖中 a 處為基部起爆劑

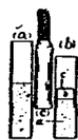


圖 14

或第二次起爆劑，b 處為上部起爆劑或第一次起爆劑。上部起爆劑置於另一管內，管頂中央開小孔一枚以引火。現今通用之雷管多為複合雷管；惟因強度之不同可分多種，表 19 所示即為萬國通用之雷汞雷管之種類，其中以 No. 6 及 No. 8 單純雷用途最廣。

管 (a) 往昔所用之雷管多用雷汞 $[\text{Hg}(\text{ONC})_2]$ 為起爆劑；
及複合
雷管 (b) 但因易於吸收空氣中之水分而減退爆炸威力，故用氮化鉛 $[\text{Pb}(\text{N}_3)_2]$ 以代之。現今因欲增加雷管之爆炸威力，故用 T.N.T. $[\text{C}_6\text{H}_5(\text{NO}_2)_3 \cdot \text{CH}_3]$ 或台特里爾 ⁽⁸¹⁶⁾ $[\text{C}_7\text{H}_5\text{N}(\text{NO}_2)_4]$ ，或兩者之混合

表19 雷汞雷管分類表

雷管種類 (No.)	起爆劑 (克)	起爆劑填 充之高度 (毫米)	管 體		管體長 (毫米)
			內徑(毫米)	外徑(毫米)	
1	0.30	5.5	5.5	6.0	16
2	0.40	7.5	5.5	6.0	22
3	0.54	9.2	5.5	6.0	26
4	0.65	10.5	5.5	6.0	28
5	0.80	13.5	6.0	6.5	30
6	1.00	15.5	6.0	6.5	35
7	1.50	22.0	6.0	6.5	40
8	2.00	25.0	6.2	7.0	45
9	2.50	29.0	6.2	7.0	50
10	3.00	40.0	6.7	7.2	50

劑作為基部起爆劑，而上部起爆劑仍用雷汞或氯化鉛；後者因易於起爆，可以引起前者之爆炸也。測定雷管之威力，可用鉛板試驗，其法用 40 毫米見方，4 毫米厚之鉛板一塊置於直徑一吋之通氣體之金屬管上。雷管即置鉛板上部中央處，施行爆炸，觀其穿透鉛板之狀態如何。

二，起爆索 ⁽³³⁵⁾起爆索者內部充以炸藥之細管也，因所用炸藥之爆速頗大，致起爆索之全長同時發生爆炸。起爆索中之炸藥，以前多用苦味酸，最近則用 T.N.T. 或台特里爾，⁽³¹⁶⁾現今市場中所出售者，內徑為 4.5 毫米，外徑為 6 毫米，所充炸藥之比重約為 1.45~1.5，⁽³³⁸⁾爆速每秒達 5000 米；但價昂且因最新式之電雷管已甚進步，故有摺棄之趨勢。

三，導火線 導火線乃用以起爆雷管也，一端着火後逐漸燃燒以達他端所連之雷管，因其燃燒遲緩，故有緩燃導火線之稱。導火線之構造為木棉絲或黃麻所編之中空細管，內充以黑色火藥，亦有浸入適當之防水劑製成塗膠導火線，以免受潮。防水劑多為膠，

或膠與白堊之混合物，或其他類似之物品。導火線之重要性有二，一為燃燒速度，一為本身易於着火並能維持相當之火力使雷管起爆。燃燒速度者，燃燒傳播之速度也，燃燒每經一米普通需時約110秒至130秒。此種燃燒速度須有一定，其變更不得大於 ± 10 秒；若置水中歷二星期，取出在攝氏24度之溫度曝乾歷24小時後，其速度亦須不生變化。試驗導火線之火力普通用一長200毫米內徑2毫米玻璃管一枚，將導火線兩枚自兩端插入至相距50毫米時為止。然後使導火線之一端着火，細察他端能否受其火力之影響。

導火線與雷管連接時，將導火線插入雷管一端，隨即用一雷管⁽³³⁹⁾鉗夾住成圖14c之形態；謂之導炸帽。

60. 電雷管起爆法 電雷管，效力宏大，故其應用亦廣。

一、電雷管 普通之雷管及導火線均須燃點，且導火所需之時間頗不經濟。電雷管者係以電能發生熱量而促成起爆作用也。普通之電雷管可大別為電阻式電雷管與間隙式電雷管兩種。⁽³⁴⁰⁾電阻架渡式電雷管者係於金屬管中實以可燃性之物質，並插以電阻線；⁽³⁴¹⁾若通以電流，則電阻線即發熱而引火於可燃性之物質矣。架渡式電雷管中之可燃性物質，多以磷質為主；但因所用電阻線之不同，可分A、B及C三種。A種之電阻線較短，僅1毫米至2毫米，其電阻乃甚小，發火時所需電壓亦低，惟所需電流則大；此種電雷管所需之電能恒較他種為小。B種之電阻線較長，約150毫米，其電阻甚大，所需電壓須高，電流則小；此種電雷管雖漏電甚少，惟發火較為困難耳。C種之電阻線極短，電阻小，電壓低，所需之電流較前二者均大，而發火又有相當之困難。間隙式電雷管，係在導線兩端之間實以導電之可燃性物質。若因電流發生灼熱使後者發火者，則謂之間隙灼熱式電雷管；⁽³⁴²⁾若所用可燃性物質為電阻甚大之碳質着火物，必須生火花而發火者，則謂之間隙火花式電雷管。間隙灼熱式電雷管所需之電壓不大，極易發火，故其安全性稍差。間隙火花式電雷管⁽³⁴³⁾，所需電壓極大，故較安全。表20即示各式電雷管之特性。

表 20 電雷管之特性

雷管之種類	雷管每枚之電阻 (歐姆, 導線電阻不計)	安全電流 或電壓	串連時發火所需 之電流或電壓
架電 渡雷 式管	A	1~3	0.18安培
	B	50~150	15伏特
	C	0.4~0.2	0.22伏特
間電 隙雷 式管	灼熱式	20~1000	1~2伏特
	火花式	1,000,000以上	2000伏特

二,發火電力 前述 A 種架渡式電雷管應用最廣,茲將其發火電力說明如後:

凡電流通過電阻線時,後者之電阻與電量往往隨其溫度之變化而昇降。今設某電阻線中通以電流 I 安培,歷 t 時間後升高之溫度為 T ;若電阻線之電阻為 R 歐姆時,則依焦耳⁽³⁴⁴⁾定律,得電阻線所生之熱量 Q 仟卡為

$$Q = 0.86 I^2 R t$$

又設電阻線長 l , 截面積為 q , 電阻係數為 w , 則

$$R = \frac{lw}{q}$$

$$Q = 0.86 w \cdot \frac{l}{q} I^2 t$$

更設電阻線之比重為 r , 比熱為 c , 則

$$Q = l q r c T$$

$$\text{或} \quad 0.86 w \frac{l}{q} I^2 t = l q r c T$$

$$I^2 t = \frac{T c r q^2}{0.86 w} = k$$

若式中之 T 代表雷管內可燃性物質之着火點,⁽³⁴⁵⁾ 則 k 謂之電雷管之發火衝量。而發火所需之時間則為⁽³⁴⁶⁾

$$t = \frac{k}{I^2}$$

表 21 即示 A 種架波式電雷管之發火衝量及發火所需之時間表。

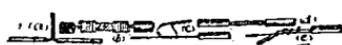
表 21 A 種架波式電雷管之發火衝量及發火時間

雷管種類		發火衝量		發火時間(千分之一秒)				
				電流=0.5安培		電流=0.8安培		
	電阻 (歐姆)	可燃性 物質	最大	最小	最大	最小	最大	最小
I	1.0~1.2	固體	0.84	1.01	3.36	4.04	1.31	1.58
	2.0~2.2		0.76	0.84	3.04	3.36	1.19	1.31
II	1.0~1.2	固體	1.14	1.25	4.56	5.00	1.78	1.95
	2.0~2.2		1.00	1.13	4.00	4.52	1.56	1.77
III	1.0~1.2	懸填之 粉末	13.0	16.3	52.0	65.2	20.3	25.5
	2.0~2.2		12.4	14.9	49.6	59.6	19.4	23.3

三,遲發雷管 雷管中之可燃性物質一經着火,即刻引起起爆劑之起爆者謂之瞬發雷管⁽³¹⁷⁾,若須經一定時間後始行起爆者則謂之遲發雷管⁽³⁴⁸⁾,遲發雷管之構造與瞬發雷管相同,惟在可燃性物質與起爆劑之間連一緩燃導火線而已。

61. 電雷管之發火法

一,結線 電線之連結須以連續而不易鬆脫為目的,如圖15



所示,當以(a), (b), (c) 三種為較

圖 15 電線之連結 佳。

雷管之連接可分串連法,並連法,及串並連法三種,各如圖 16 (a)(b)(c)所示。圖中 E 示電源之位置, I 為電流, W 為母線之電阻。 $w_1, w_2 \dots w_n$ 示各雷管之位置與其電阻;則圖 16(a) 所示串連法之總電阻 R 為

$$R = W + w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n$$

又因

$$w_1 = w_2 = w_3 = \dots = w_n = w$$

∴

$$R = W + nw$$

又依歐姆定理得

(349)

$$E = IR = (W + nw)I$$

其中 E = 雷管發火所需之電壓, I = 發火所需之電流。

又圖 16(b) 所示之並連法中, AB 兩點間之電阻為

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \dots + \frac{1}{w_n} = \frac{n}{w}$$

∴

$$R = W + r = W + \frac{w}{n}$$

且

$$I = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n = ni,$$

i_1, i_2, \dots 等為各雷管中之電流, 均等於 i 。故

$$E = IR = ni \left(W + \frac{w}{n} \right)$$

並連法中, 若各雷管之電阻有所差異, 則影響甚大。今設 w_1 及 w_2 之間相差之最大值為 Δ , e 為 AB 間之電位差, 則

$$w_1 = (1 - \Delta)w; \quad w_2 = (1 + \Delta)w,$$

$$i_1 = \frac{e}{w_1} = \frac{e}{w} \left(\frac{1}{1 - \Delta} \right) = i(1 - \Delta)^{-1};$$

$$i_2 = \frac{e}{w_2} = \frac{e}{w} \left(\frac{1}{1 + \Delta} \right) = i(1 + \Delta)^{-1}$$

若 Δ 甚小時, 則

$$i_1 = i(1 + \Delta); \quad i_2 = i(1 - \Delta)$$

$$I = ni_1 = ni(1 + \Delta) \quad (i_1 \text{ 較 } i_2 \text{ 為大故取之)}$$

$$E = IR = ni(1 + \Delta) \left(W + \frac{w}{n} \right)$$

$$= i(1 + \Delta)(nW + w)$$

又圖 16(c) 甲所示之串並連法中: 設 p 為並連之雷管數, q 為串連之雷管數。

$$r_1 = w_{11} + w_{12} + \dots w_{1q} = qw_1$$

$$r_2 = w_{21} + w_{22} + \dots w_{2q} = qw_2$$

$$r_p = w_{p1} + w_{p2} + \dots w_{pq} = qw_p$$

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots \frac{1}{r_p} = \frac{1}{qw_1} + \frac{1}{qw_2} + \dots \frac{1}{qw_p} = \frac{p}{qw}$$

或
$$r = \frac{qw}{p}$$

$$R = W + r = W + \frac{qw}{p}$$

$$I = pi(1 + \Delta)$$

$$E = IR = pi(1 + \Delta) \left(W + \frac{qw}{p} \right) = i(1 + \Delta)(pW + qw)$$

又如圖 16(c)乙所示之串並連法，則得

$$E = i(1 + \Delta)(qW + pw)$$

架渡式電雷管之結法，可依情形之不同，任擇前述數者之一；火花式電雷管不宜採用串連法，因其電阻極高也。如取並連法，亦須高壓發火器以發火，故火花式電雷管之應用不甚廣也。

二、電源 電雷管之電源可分下述四種：

- (a) 取自就近之送電線。
- (b) 用特別而可搬運之發電機。
- (c) 用磁電器。⁽³⁵⁰⁾
- (d) 用電池。

普通當以磁電器及電池之應用最為普通。

三、導通試驗 電雷管裝填連接後，全部電流須行導通試驗，檢查其電路有無閉塞之處。所用之儀器須能發生微弱之安全電流⁽³⁵¹⁾以試驗之。是項試驗不適於火花式電雷管，因其電阻過高也。

第 7 節 爆炸

62. 概說 開鑿岩石之方法，須先鑽孔，實以炸藥，然後發火爆炸，使岩石炸成碎片，此種工作謂之爆炸，實為有次序而危險之舉也，故不可不詳加研究之。至於工程上之爆炸，須以少量之炸藥，爆破大量之石屑，方得稱為效率高超。

63. 炸藥及雷管之搬運與貯藏 炸藥着火或受擊後，即生爆炸，易招無妄之災，故為防患於未然計，炸藥之搬運與貯藏各國均有嚴密之規定，工作人員尤須熟稔之。

64. 炸藥之裝填 工程上所用之炸藥，多製成圓筒形之紙包藥筒，以便搬運貯藏及使用。此種藥筒與雷管，導火線等必須充分緊縛，然後納入鑽孔中，此種工作總稱裝填。

一，裝配 裝配云者以導炸帽，裝入炸藥筒之謂也。先將藥筒上端或一側之裹紙揭開，以手指或木棒擦發炸藥成為細孔，取導炸帽及連接之導火線插入孔內安置之，帽之上端略見露出，仍以裹紙依舊摺好，並用細線紮緊如圖 17 所示。

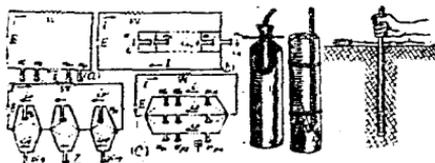


圖 16 雷管連結法(左)

圖 17 藥筒之裝配(中)

圖 18 藥筒之填實(右)

二，清淨鑽孔 鑽孔中未實藥筒之前，須設法清淨之。其法可用一端敲碎之木棒，或用布條一塊縛於木棒之端，作為通利鑽孔之用。凡有積水或石屑等，則皆須除去之。

三，填實 填實者係將藥筒納入孔中，以木桿輕輕壓實，最後置入裝有導炸帽之藥筒，或雷管，再封泥土於其上。若用普通火藥，則火藥須傾入孔中，裝接導火線，上部再實以泥土而壓結之。

四，封口 上述之最後一步工作，即用泥土封填孔口，稍加壓結，謂之封口。由專家實驗之結果，有下述之事實。

(a) 可以增加爆炸之效力。

(b)爆速愈小，封口之效力愈大。

(c)對於尋常之炸藥，孔徑 1 吋，封口之深度須在 17 吋以上；孔徑 2 吋，則深度須在 18 吋以上，孔徑 3 吋以上者，則深度至少須在 20 吋以上。

(d)封口材料用潮濕粘土實較濕沙為佳，濕沙則較乾燥粘土為佳。

(e)爆炸性較烈之炸藥，封口後不宜用捶重壓。

65. 炸藥之解凍 以硝化甘油為主要成分之炸藥，在低溫時極易凍結，(普通約在攝氏 8 度即開始凍結) 致使用時必須加熱熔融之，此項工作謂之解凍。⁽³⁵⁷⁾因炸藥受熱，即生爆炸，故其解凍工作，易生危險。解凍時須用特製之解凍壺，用蒸汽或溫水加熱，以維持一定之安全溫度。解凍工作又須行之於特別設計之解凍室。⁽³⁵⁸⁾美國礦山局即有此種木製解凍室之標準設計。

66. 炸藥管理須知 隧道工程，炸藥一項為常用之品，而於攜帶，儲藏，解凍，裝藥，爆炸等手續，處處不容疏忽！茲將各項應戒之點，彙為管理須知，分述於後：

一，關於攜帶之顧忌：

勿忘炸藥之性質，須謹慎攜帶，較得安全。

在攜帶炸藥時，勿吸煙，勿近無遮護之燈光。

在炸藥庫內外，勿任鎗子打擊炸藥。

除非有相當經驗，勿試製何種炸藥。

勿攜帶雷管，或電雷管在衣內。

勿用物插入爆針眼。

取雷管出箱，勿用鐵絲，鐵釘，或尖銳之物，挑插雷管眼，以圖省事取出。

勿試拔電雷管之線。

二，關於儲藏之顧忌：

勿將炸藥存放潮濕之所，儲藏所須乾燥，關鎖要嚴，閒人勿許近傍。庫內溫度不宜低過攝氏八度（即華氏表四十六度四），又不

宜高過攝氏三十度（即華氏表八十六度）。

勿將炸藥箱頭向上，否則增加硝化甘油漏出危險！如見其包藥之紙，外面發現有汗水滴（即冷熱氣相撞而成之水珠），則知其為硝化甘油之分解，須將此項分解之藥，逐箱搬出庫外揭開之，然後再移往距庫較遠之荒僻處所，將包紙解開，薄層鋪於地面，用火焚化之。

勿存儲或攜帶炸藥，近於住宅。

勿在儲庫內開炸藥箱。

勿用起釘錘或鋤開炸藥箱。

勿將雷管與炸藥，在一處儲藏及一起扛運。

勿將藥線存在熱處，因熱可致硬性，開捆時易被斷裂。

勿將電雷管，爆炸機，或雷管等件，存放潮濕之處。

勿在溶解室，或藥庫內，裝插雷管，或電雷管。

三，關於解凍之顧忌：

勿用已冰凍或冰過之炸藥，炸藥多數在華氏四十五至五十度便冰凍。

勿在熱火爐，熱石，熱沙，熱磚，熱五金等物上，或鍋爐內解凍炸藥。近蒸汽鍋或火之處，均不宜將炸藥解凍。

勿攜帶炸藥行近鐵匠廠，或燒釘爐。

勿將炸藥放在架上，凡在蒸汽管，熱水管，或其他熱五金物之上面，均不宜放。

勿將冰凍炸藥切割或拗斷，勿用手搓，冀其解凍。

勿在解凍室內，安置有蒸汽力之鐵管。

勿將熱水解凍器，放在火上，切忌將炸藥逕放入熱水，或使與蒸汽相接。

四，關於裝藥之顧忌：

勿將解凍過之炸藥，放在低溫度處暴露，然後施用。若再被冰凍，須再解凍，然後施用。

勿用牙咬爆針，希圖夾緊藥線。

勿用藥線紮炸藥。

勿重入炸藥於已放過炸藥之眼內，因眼內熱氣尙存，重新插藥，易致炸爆。

勿用力逼炸藥插入炮眼(即鑽孔)。

勿用鋼鐵等棍，舂擊已裝藥之砲眼，只可用木棍。

勿在寒凍天氣時，亂搗炸藥，而不小心。

勿將藥線割短，冀省時間，速其爆炸。

勿用舊斷引線爲電力爆炸，以致費時，用新線亦不甚貴，結果還是節省。

五、關於施炸之顧忌：

勿在人未離開相當距離時放炸，即未用之炸藥，亦須放置相當距離。

勿燥急近前查明藥眼未爆炸之緣故，因有慢引藥線遲遲而炸。

勿將未炸之藥眼，用鑽或鑿而冀取出之，只可在距離至少兩尺處，再鑿眼施炸。

67. 爆炸之理論 由理論上觀之，岩石之爆炸，係自炸藥中心點發出，其力量之分佈有如投石入水所引起之水波然。⁽³⁵⁹⁾炸藥中心點或爆炸點約等於炸藥之重心，據德人朗特齊氏之研究，如圖 19 所示，⁽³⁶⁰⁾I 圈內謂之爆炸圈，⁽³⁶¹⁾II 圈內謂之破碎圈，⁽³⁶²⁾III 圈內謂之振動圈，⁽³⁶³⁾IV 處則爲不生效力之範圍。III 圈之一部與大氣接觸之部分，謂之自由面，其他如岩石之裂面，亦可認作自由面，由圖中所示



圖19 爆炸之效力⁽³⁶⁴⁾

之裂紋，即示 A 點處所受爆炸之效力最烈，因其外部並無強大之阻力也。自爆發點至自由面之垂直距離謂之最小抵抗線。⁽³⁶³⁾爆炸後，岩石炸成一圓錐形之穴，謂之爆炸錐。⁽³⁶⁵⁾若爆炸錐之底面半徑等於最小抵抗線之長度時，即稱標準爆炸錐，而其體積爲

$$V = \frac{\pi}{3} w^3 = 1.05 w^3$$

其中 w 為最小抵抗線之長。所用炸藥之藥量與 V 成正比例。若用適量之炸藥，爆炸後生標準爆炸錐，則其藥量謂之標準裝填量。今設 $w=1$ 時之標準裝填量為 L ，則一般之裝填量 l 為

$$l = w^3 L \quad V = 1.05 \text{ 立方米}$$

故知 L 即為使標準爆炸錐之體積等於一立方米時所需之炸藥量也。但事實上， L 值係依岩石與炸藥之種類而定。中部之鑽孔多用強力或多量之炸藥，四邊之鑽孔則用多量之炸藥，普通可在就近之岩石上實驗之，將 L 值求出。今將各著名隧道所經岩石之 L 值，列如表 22 以示其大概。

表 22 各著名隧道所用之炸藥量

隧道名稱 ⁽³⁶⁷⁾	L		岩 石
	磅/立方碼	仟克/立方米	
1 坎大格輪特	4.2	2.5	石灰岩 ⁽³⁶⁸⁾
2 洛脫慶堡 ⁽⁷²⁾	5.0	3.0	石灰岩
洛脫慶堡	8.2	4.9	結晶片岩 ⁽³⁶⁹⁾
洛脫慶堡	7.3	4.4	石英玢岩 ⁽³⁷⁰⁾
洛脫慶堡	7.1	4.2	花崗石 ⁽³⁷¹⁾
3 庫貝爾	3.5	2.1	頁岩 ⁽³⁷²⁾
4 新普倫 ⁽³⁶⁾	7.8	4.6	片麻岩 ⁽³⁷³⁾
新普倫	6.8	4.1	角閃片麻岩 ⁽³⁷⁴⁾
5 倫特慶	5.2	3.1	石灰岩
6 格蘭及斯 ⁽⁶⁾	2.0	1.2	泥灰岩 ⁽³⁷⁵⁾
格蘭及斯	5.3	3.2	石灰岩(白色) ⁽³⁷⁶⁾
格蘭及斯	5.2	3.1	石灰岩(棕色) ⁽³⁷⁷⁾
7 加立特新	6.5	3.9	頁岩
8 克洛吞水道(舊)	4.0	2.4	片麻岩
9 蘇得羅	3.3	2.0	粗面岩 ⁽³⁷⁸⁾
10 莫斯孔納特康	4.4	2.6	片麻岩
11 忒魁魁克	4.5	2.7	沙岩 ⁽³⁷⁹⁾
12 兜溪山	2.4	1.4	頁岩

13 綸道特	4.5	2.7	石灰岩
14 布法羅	3.0	1.8	石灰岩
15 瓦爾啓爾	4.3	2.6	頁岩
16 拉刺米波特	4—4.9	2.4—2.9	花崗岩
17 罕特斯布魯克	7.5	4.5	片麻岩
18 聖寶爾	7.0	4.2	石英岩
19 波斯魯克 ⁽⁶⁹⁾	4.9—5.9	2.9—3.5	砂岩
20 亞爾堡	3.4	2.0	片麻岩
21 塞尼山 ⁽²⁹⁾	3.5	2.1	片麻岩
22 聖哥薩特 ⁽⁵⁸⁾	7.4	4.4	蛇紋岩 ⁽³⁸³⁾
23 清水 ⁽²⁶⁵⁾	4.4	2.6	角閃岩 ⁽³⁸¹⁾
24 下久野 ⁽²⁸⁵⁾	2.7	1.6	花崗岩
25 石北	2.0	1.2	——
26 宮	2.4	1.45	石英玢岩
27 欽明路	2.0	1.20	花崗岩

68. 鑽孔之深度與直徑 ⁽³⁸²⁾ 據陶氏之研究, 得一實驗公式如下, ⁽³⁸³⁾
表示鑽孔之深度 D 與其直徑 d 之關係:

$$D = 12d$$

今設鑽孔之直徑為已知, 炸藥之裝填比重為 Δ , 則每孔所需之
炸藥量體積 V 為

$$V = \frac{l}{\Delta} \quad (384)$$

又

$$V = D \cdot \frac{\pi}{4} d^2$$

及

$$l = w^2 L \quad (385)$$

故

$$D \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{w^2 L}{\Delta}$$

$$D = \frac{4w^2 L}{\pi d^2 \Delta}$$

實際上鑽孔之深度 = D + 封口泥土之深度 D'
若爆炸點為炸藥之中心, 則

$$w = \frac{1}{2}D + D'$$

$$D = \frac{4(\frac{1}{2}D + D')^2 L}{\pi d^2 \Delta}$$

或 $D^2 + (4D' + \pi d^2 \Delta)D + 4(D')^2 L = 0$ ⁽³⁸⁵⁾
 D 即爲此二次方程式之正根也。 ⁽³⁸⁶⁾

69. 鑽孔與爆炸之關係 岩石之自由面增多，則爆炸之效力愈大。如圖 19 之左側所示一例，有二自由面，則其效力約增大二倍。⁽³⁸⁷⁾ 我國粵漢鐵路規定，凡遇三自由面者，所用炸藥之量可減少三分之一；四自由面者，減少二分之一，五自由面者減少五分之三。



圖 20 心拔鑽孔圖

圖 21 爆炸次序

圖中 No. 1, 2, 3, 4……心拔 No. 5……心拔助孔
 No. 6, 7, 8, 9……助孔 No. 10, 11, 12, 13, 14 冠孔
 No. 15, 16, 17, 18 邊孔 No. 19, 20, 21, 22, 23 底孔

圖 20(a) 示爆炸之大概次序爲 I, II, III, IV。I 爲自由面上之爆炸錐，位於中心，謂之心拔。⁽³⁸⁸⁾ 心拔之種類有二，一爲角錐形心拔，⁽³⁸⁹⁾ 一爲楔形心拔，⁽³⁹⁰⁾ 前者又分四角錐心拔見圖 20(b)，⁽³⁹¹⁾ 三角錐心拔見圖 20(c)，⁽³⁹³⁾ 雙重心拔見圖 20(d) 等。若坑道開鑿面岩石之一側，生有裂面，則此裂面可視爲一自由面，鑽孔之爆炸可自此側開始。

心拔之鑽孔多作傾向中心之斜角，孔深約自 6 至 15 呎。其餘鑽孔鑽於四周，與隧道軸成平行方向，最外四側之鑽孔，可向外傾，如圖 21 所示。此項佈置，能增進爆炸之效能。6 呎至 8 呎高之隧道，即用一次手續開掘一段。較大之隧道，可分上下二部工作，如圖 12 所示。上部爲導坑，亦用上法首先開鑿，餘下部分之平臺上，鑽孔方向可與隧道軸成垂直。

70. 爆炸次序 爆炸進行之原理，應使具有最小抵抗線最短之鑽孔，先行爆炸，依次進行。圖 21 所示各孔之爆炸次序應爲：一，心拔，⁽³⁹⁴⁾ 二，心拔助孔，三，邊孔，四，底孔，五，冠孔。底孔亦有較冠孔後

行爆炸者，但事實上，若使冠孔先爆炸，則底孔前部將積有更多之石屑，而底孔中乃不得不用更多量之炸藥矣（普通約增加百分之二十至三十）。

17. 世界著名隧道之鑽孔實例 世界著名隧道之鑽孔實例列

表 23 世界著名隧道鑽孔實例

隧 道 名 稱 ⁽³⁹⁶⁾	鑽孔之分配與排列，見圖22	心拔孔數	其他孔數	平均孔深	岩 石 ⁽³⁹⁷⁾
1 拉魁白拉	A	W11	34	10呎	角閃岩
2 摩發特(導坑) ⁽¹²⁷⁾	B	W6	20	8~9呎	片麻岩
3 摩發特(導坑擴大) ⁽³⁹⁸⁾	~	0	27	4.5~11呎	片麻岩
4 喀斯喀特(試洞) ⁽¹⁷⁶⁾	C	P4	25	10~12呎	花崗岩
5 喀斯喀特(導坑)	D	W11	16	8.5~9.5呎	花崗岩
6 雲東導坑	~	W6	31	10呎	砂岩
7 雲東(導坑擴大)	~	0	54	12~9呎	——
8 羅易爾	K	W6	22	8.5呎	大理石
9 新港	E	W8	17	13呎	沙岩
10 黑基黑基	F	P12	27	12呎	花崗岩
11 皮墨諾	~	P4	14	7呎	花崗岩
12 喀爾台伍德	G	P4	24	8呎	硬砂岩
13 奧奈達	H	W6	11	7~8呎	礫岩
14 協克	I	P4	14	——	——
15 聖路易	J	W4	11	——	——
16 塞尼山	L	19	52	3呎	片麻岩
17 聖哥薩特	M	W8	16	8~9呎	片麻岩
18 斯克藍喬	N	W6	12	8呎	砂岩
19 賓夕法尼亞	O	W8	32	9呎	——
20 清水	P	P8	21	1.5米	硬石英角閃岩
21 第三馮檜會	Q	P6	22	1.8米	硬花崗岩
22 第一飛鳥	R	W10	10	1.2米	硬砂岩
23 下久野	S	P5	13	1.6米	花崗岩
24 宮	T	P4	19	2.2米	石英玢岩

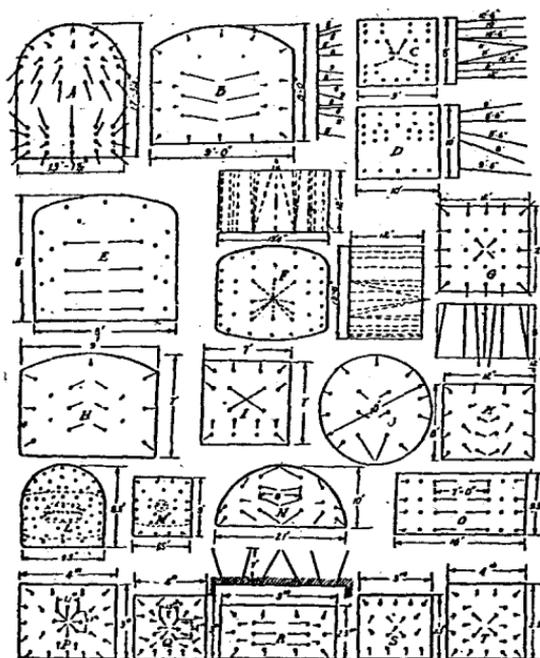


圖22 世界著名隧道鑽孔實例

如表 23。表中 W 示楔形心拔， P 示錐形心拔。

今設 A 為導坑之面積， n 為鑽孔數，則單位面積上之平均鑽孔數即為 A/n ，可由圖 22 及表 23 中計算之，普通每平方呎約為 3 至 6。

又設 d 為每次爆炸後岩石面推進之深度， l 為鑽孔之深度，則 l/d 謂之鑽孔效率⁽³⁹⁵⁾，普通約為 80~90%。若

v 為每次爆炸所挖岩石之體積，則 l/v 之值，亦可由表 23 中計算之，普通約在 6.5 呎/立方碼左右。

第六章 泥土石屑之搬運

第 1 節 概說

72. 概說 隧道中開鑿之泥土及石屑(以後簡稱泥土)，必須設法搬運而出，因其關於工程進行之速度，經濟之支配，具有莫大之影響也。茲就下列三方面以說明之：

- (399)
一、泥土之裝載 二、泥土之運出 三、泥土之處置

開鑿後之泥石，常較未開鑿時增加其體積，增加之數量，則須視泥土岩石之性質，含水量之多寡，挖掘之方法等而變更，其對於運輸車輛及隧道之大小均有密切之關係。普通泥土挖掘後之體積增加百分率約為 20% 至 50%，軟石約為 60% 至 80%，硬石約為 100% 至 150%。

第 2 節 泥石之裝載

73. 概說 泥石之裝載，係將隧道中挖出之泥土或炸下之碎片，設法裝入運輸之車輛以便運出也。裝載之方法有利用重力者，有利用機械力者，亦有利用水力者。利用人力者謂之人工裝載，⁽⁴⁰⁰⁾利用機械力者謂之機械裝載。⁽⁴⁰¹⁾

74. 人工裝載所用之工具 人工裝載所用之工具有鐵板，手鏟，鐵鎔，鐵挺，鐵錘，獨輪車等。⁽⁴⁰²⁾鐵板之大小，普通約為 90 厘米 × 180 厘米，至 150 厘米 × 300 厘米，其厚度約為 2 厘米。挖掘後之泥石可用鐵鎔扒至鐵板上，然後用手鏟在鐵板上鏟取之，如將手鏟直接插入石屑堆內鏟取，有時頗感不易也。鐵挺為直徑 32 厘米之鋼棒，長約 2 米，一端成尖形，用以撥動爆炸後鬆動而未脫落之石塊。若石塊較大，可用鐵錘擊碎，以便裝載。又裝載之車輛離泥土或石屑堆之距離稍遠者，可用獨輪車往來其間，以資輸送。

75. 人工裝載之方法 人工裝載法最適於短小之隧道。爆炸後約歷半小時，待爆炸之餘燼及熱量消失後，即用鐵挺將鬆動之浮石撥落，堆積之泥土或石屑，用鐵鎔扒於鐵板上，再用鐵鏟裝入泥土石屑之運輸車中，運出坑外。所有工作人員可分兩組，每組約二人至三人，一組專司裝載，另組專司運輸。用人工裝載法之導坑面積，普通約為 2.5 米 × 2.5 米，裝載一立方米之石屑，需時約 20 分鐘。最後宜將地面坑隅等處遺留之石塊碎片，用工人約二三名清除之。

擴大導坑時，多用人工裝載法，依前法行之。有時或可利用重力，築漏斗或斜面將泥石直接送入運輸車內。

76. 機械裝載法所用之機械 機械裝載法所用之機械約可分

爲下述三種：一、鏟式裝載機⁽⁴⁰³⁾；二、運斗式裝載機或刮土機⁽⁴⁰⁴⁾；
三、鏟及運斗式裝載機⁽⁴⁰⁵⁾。

77 鏟式裝載機 鏟式裝載機係爲機械化之手鏟⁽⁴⁰⁶⁾。工作之進行可分四步，第一步將鏟斗插入石屑堆內，第二步將鏟斗上舉，第三步將鏟斗移轉至運輸車上，第四步將鏟斗中之石屑傾入車內。鏟式裝載機有小型大型之分，小型者用於截面較小之隧道中，大型者則多用於全面開掘或擴坑中。所用之原動力有用壓縮空氣，電流，蒸汽，內燃機等，其中以用壓縮空氣及電流者爲最普通。

一、小型鏟式裝載機

(a) 阿穆斯曲朗鏟⁽⁴⁰⁶⁾ 此鏟之動力爲壓縮空氣，全長 1830 毫米，寬 1220 毫米，高 1220 毫米，行於鐵軌上，輪軸間距離 610 毫米，軌距 762 毫米，鏟斗闊 813 毫米，容量 0.125 立方米，臂長 813 毫米。所需空間之高(鐵軌頂以上) 2058 毫米，鏟斗之突出長度爲 635 毫米，裝載石屑堆之寬度爲 3150 毫米。機械之總重約 1950 千克，最大空氣消耗量每分鐘爲 0.7 立方米。工作能力每小時裝載 3.5 立方米。

(b) 和耳鏟⁽⁴⁰⁷⁾ 此鏟與阿穆斯曲朗鏟之不同在於鏟斗運動路徑之各異。

此鏟工作所需之空間：高 2000 毫米，寬 2240 毫米，此鏟能向四周旋轉，工作區域成一圓形，其半徑爲 2360 毫米，鏟斗突出之長約 1066 毫米。

(c) 諾特堡格蒲脫勒鏟⁽⁴⁰⁸⁾ 此鏟工作所需之空間：高 1980 毫米至 2400 毫米(6 呎 5½ 吋至 8 呎)，運輸車高爲 960 毫米至 1524 毫米(3 呎 6 吋至 5 呎)，裝載時工作區域之半徑爲 2057 毫米(6 呎 9 吋)，鏟石時工作區域之半徑爲 2743 毫米(9 呎)，鏟斗插入石屑堆時之工作區域半徑爲 2078 毫米(6 呎 10½ 吋)，鏟斗旋轉時最小之高度(軌頂上)爲 1980 毫米(6 呎 5½ 吋)，鏟斗離軌頂 200 毫米(8 吋)時之旋轉半徑爲 1295 毫米(4 呎 3 吋)，全機最小長度爲 1320 毫米(4 呎 4 吋)，運輸車離軌頂之許可高度爲 1524 毫米(5 呎)，全

機旋轉之最小半徑為 826 毫米 (2 呎 $8\frac{1}{2}$ 吋)，運輸車頂至隧道頂之距離為 914 毫米 (3 呎)，全機寬度為 1185 毫米 (3 呎 $10\frac{1}{2}$ 吋)。軌距為 609 毫米 (20 吋)。工能能力每小時為 10 立方米。空氣消耗量每分鐘為 6 立方米。

二、大型鏟式裝載機 大型鏟式裝載機之構造頗為複雜，普通有下列數種：

(a) 馬立翁地下鏟 ⁽⁴⁰⁹⁾ No. 25, No. 21, No. 41;

(b) 部士路斯伊里地 ⁽⁴¹⁰⁾ 鏟;

(c) 雪秀鏟 ⁽⁴¹¹⁾; (d) 奧斯哥德鏟 ⁽⁴¹²⁾。

美國新喀斯喀德隧道中所用者，即為壓縮空氣之大型鏟。

78. 運斗裝載機 運斗裝載機係用運斗或戽斗繫於循環帶鏈上將泥石運至後方運輸車中。此種機械多用於盾構隧道之中，如美國波士頓之多却斯得 ⁽⁴¹³⁾ 隧道中即用 110 呎之帶鏈運斗。摩發特隧道中之留伊斯梁 ⁽⁴¹⁶⁾ 中亦用運斗將上部導坑中之石屑運至下部運輸車內。圖 23 所示者為另一種形式。1 為刮土斗 ⁽⁴¹⁶⁾，2 為繩索 ⁽⁴¹⁷⁾，3 捲揚機 ⁽⁴¹⁷⁾，4 裝載台 ⁽⁴¹⁷⁾，5 運輸車。

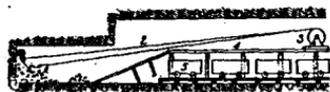


圖23 運斗裝載機

刮土斗之種類甚多。其重量不宜過輕，普通須在 100 斤克以上。刮土斗插入石屑堆中之切邊，其方向須能與斗身自重及牽引力之合力符合。對於較輕之石屑，其切邊之水平傾角宜為 15 度至 20 度，如遇較粗硬之石屑，則宜作 30 度之角。

79. 鏟及運斗式裝載機 此式裝載機係配合前述二者而成也，在導坑中應用最廣，其最普通者有後述兩種：

一、康惠鏟 ⁽⁴¹⁸⁾ 康惠鏟之普通形式有 No. 20, No. 30, No. 50, No. 50A 及 No. 60 等數種，其原動力為電流，其主要之機能如表 24 所示。

二、邁爾士惠勒鏟 ⁽⁴¹⁹⁾ 此種裝載機係用壓縮空氣或電流為原動力。其工作區域廣約 610 厘米，高 240 厘米，長 760 厘米。運輸車

表 24 康惠鏟之主要機能

機械型式	20	30	50	50A	60
電動機電力 (H.P.)	20	30	50	50	60
重量(噸)	7	10	12	12	14
運斗之體積 (立方呎)	4½	6	9	8½	13½
裝載之容量 (立方呎/分)	25	30	45	45	70
帶鏈之闊度 (吋)	22	22	22	22	28
帶鏈之速度 (呎/分)	225	225	225	225	225
運斗移動速度 (呎/分)	150	150	150	150	150
運斗移動次數 (每分鐘)	5	5	5	5	5
空間最高度	6'-16.6"	7'-8"~9'	8'-11"~11'-6"	8'-11"~11'-6"	8'-6"~12'
掃除區域之 寬度(呎)	6~12	6~14	6~18	6~18	6~18

容量約為 1 立方米。工作人員須司機一人，助手一人，挑撥石屑者一人，管理石屑傾入運輸車者一人，看守運輸路線者二人，運輸車守三人，共計 9 人。

80. 機械裝載之注意點 使用機械裝載時須注意下述各點：

一、機械之構造大都複雜，使用亦頗不易，故運用者必須技術純熟也；二、注意機械之養護及修理，苟有損壞或磨損之部分，即當更新或修理之；三、機械所行之路軌，重量至少須在 15 仟克以上；四、石屑之顆粒宜小；五、工作場所之排水設備必須完善，以防機械中之潤滑油被水侵入而流出也；六、空車與滿車之往來運輸必須迅速便利；七、歷相當工作時間後，須將機械移出坑外檢查修理，並將預備機械替入；八、工作完畢後，各機械須詳加檢驗，加油或修理。

上述各點若能注意及之，則其效率當勝於人工裝載也。而工程進行之速度亦大為增加；故費用似大，而其結果實屬經濟。

第3節 泥石運輸車

81. 概說 泥石運輸車之種類甚多，其構造與形式須視後述各點而定：一、運輸軌道之軌距⁽⁴²⁰⁾；二、是否用機車運輸；三、人工裝載或機械裝載；四、開鑿方式。

至於構成車體之材料則有：

一、木材；二、鋼鐵。

車輛之運行可用：一、人力推行；二、牛馬拖曳；

三、機車牽引；四、鋼索軌道之吊運。

用人力推行之運輸車謂之手推車。⁽⁴²¹⁾

車輪軸承之種類有：一、普通軸承⁽⁴²²⁾；二、球軸承⁽⁴²³⁾。

車中泥石之傾倒法有三：一、車身傾倒；二、車底有漏斗或車底開孔

表 25 著名隧道所用泥石運輸車之大小。

隧 道 名 稱 ⁽⁴²⁴⁾	泥 石 運 輸 車 之 大 小				軌距(米)
	長(米)	闊(米)	高(米)	泥石容量 (立方米)	
1 科 慶	3.60	1.60	1.15	2.6	1.435
2 亞 耳 堡	2.45	1.10	1.145	1.45	0.7
3 新 普 倫 北 口	2.56	1.00	1.02	1.40	0.80
4 阿 爾 部 刺	2.10	0.90	1.09	1.00	0.75
5 厄 爾 謨	6.30	1.65	1.67	9.75	0.90
6 好 斯 丹	2.50	0.90	1.24	1.50	0.75
7 聖 哥 薩 特	1.95	1.73	1.41	1.00	1.00
8 安 特	2.80	1.00	1.70	2.00	0.90
9 新 普 倫 南 口	3.00	0.95	1.04	1.60	0.80
10 洛 脫 慶 堡	3.00	1.20	1.20	2.00	0.75
11 阿 爾 頓 漢 盾	1.90	1.35	1.40	1.50	0.60
12 石 北	2.25	1.18	1.02	1.12	0.762
13 清 水 (東京 口)	2.70	1.10	1.22	1.24	0.762
14 丹 那	2.70	1.10	1.22	1.24	0.762
15 欽 明 路	2.02	0.915	1.23	1.24	0.609

以漏去泥石；三，車身兩側或兩端可以除卸，以便傾倒泥石。

82. 泥石運輸車之構造與大小

一，構造 泥石運輸車之構造，較為簡單而普通，故不另述，依其材料與形式之不同有下述三種：(a)木製箱形式 此式最為普通，多用於人工裝載之短小隧道中；(b)鐵製V形式 此式形成V字，便於傾倒，惟容量較小；(c)鐵製箱形式 此式容量較大，用於大規模之裝載。

二，大小 泥石運輸車之大小，須視運輸路線之曲率，路軌之重量，牽引機車之能力，隧道之大小(截面，長度等)，而定。觀表25所列，即可知其一斑。

第4節 運輸軌道

83. 概說 隧道中泥石之運出，須以便利，迅速，及安全為主；欲達此種目的，則空車與滿車之交替，軌道之配線等必須詳加考慮。

84. 軌道

一，軌距 軌距⁽⁴²⁾之大小須依開鑿之方法而定。全面開鑿或平台式開鑿時所用之軌距，普通約為3呎6吋(1.0668米)；導坑式開鑿中，軌距為2呎6吋(0.762米)或2呎(0.609米)。又特別情形時可用1呎6吋(0.4572米)之軌距。

二，鋼軌 鋼軌之大小須以最大荷重而定，普通所用者參觀表26。

表 26 運輸軌道之鐵軌

軌 距 (米)	鐵軌大小(仟克/米)	荷 重 情 形
0.30~0.45	6	手推車
0.45~0.60	6~8	手推車
0.50~0.60	8~15	3噸左右之機車
0.60~0.75	12~15	4~6噸之機車

三、配線 配線之原則，須以迅速便利為第一，故軌道以雙軌為宜；但短小隧道中，導坑甚狹，乃不得不採用單軌。



圖24 手推車之單軌配線

圖25 機車牽引時之單軌配線

用人力運輸時，若運輸路程甚短，則可將滿車推出，隨即將預備之空車推入，否則宜於裝載附近處另設空車停留場觀圖24

所示，每當滿車推出之際，即將空車入替。若運輸路程甚長，則依人力推車之緩速，可另設空車停留場多處。此法在新普倫⁽²⁶⁷⁾及洛脫慶堡⁽²⁶⁷⁾隧道中均採用之。

用機車牽引往來於單軌上時，則可用圖25所示之配線法，圖中之數字係指各車裝載之次序。

四、鋼軌之展延 導坑於每次爆炸後，約推進二三米，而普通所用之鋼軌長約十米左右，故導坑之推進未達十米時須用特製之鐵枕木短鋼軌接替之。另一方法可在鋼軌間套入一滑動鋼軌，任意展延之。

85. 鋼索軌道 鋼索軌道之運輸係將泥石運輸車繫諸鋼索往來行於鋼軌上之方法也。普通有斜坡式與循環式兩種，前者利用重力，在軌道之坡度上，將空車上升，滿車下降；後者則用重力或捲揚機將鋼索捲揚之，藉以拖引車輛。在優良情形時，運輸速度可達每小時10仟米，最劣時約每小時3仟米。

第5節 運輸機車

86. 機車之擇定 機車之大小，須依許可空間之大小而定，其重量則依所牽引之列車重量而計算之。今設：

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| W = 所求之機車重量(噸)； | L = 列車重量(噸)； |
| R = 摩擦阻力(仟克/噸)； | G = 坡度阻力(仟克/噸)！ |
| C = 曲線阻力(仟克/噸)； | A = 加速阻力(仟克/噸)； |
| P = 鋼軌與車輪間之摩擦係數(%)。 | |

則
$$W = \frac{L(R+G+C+A)}{10P-(G+C+A)}$$

F 坡度時，則用下式
$$W = \frac{L(G-R)}{10P-G}$$

由上列兩式所計算之值，擇其較大者而決定之。

式中 R 之值係依泥土運輸車之形式，重量，軸承之種類及軌道之狀況而定；普通之值如後所示：

3 噸以下用普通軸承之泥土車	14 仟克/噸
5~10 噸用普通軸承之泥土車	9 仟克/噸
3 噸以下用球軸承之泥土車	9 仟克/噸
3 噸以上用球軸承之泥土車	9 仟克/噸

G 值採用坡度之千分率：

C 值在 1 度曲線時為	0.5 仟克/噸；
A 值在 1 仟米/小時 ²	30 仟克/噸；

但普通之加速度約為 150 至 300 米/小時²，則 A 值可為 5 至 10 仟克/噸。 P 值約為 8~10%。

機車所需之牽引力 (T 仟克)⁽²¹⁾ 及馬力 ($H.P.$) 各用後二式計算之。

$$T = (W + L)(R + G + C + A)$$

$$H.P. = (W + L)(R + G + C)V/75 \times f$$

式中 V 為行車速度(米/秒)， f 為機械效率。

87. 機車之種類 隧道中用以牽引泥土車輛之機車，種類甚多，普通有蓄電池機車，架空線式電機車，汽油機車，蒸汽機車及壓縮空氣機車等。其中以蓄電池機車為最優，汽油機車及蒸汽機車之排出廢氣，有礙衛生。昔日聖哥薩特⁽³⁶⁷⁾等隧道中嘗用之，而今已不復採用矣。壓縮空氣機車係將高壓之壓縮空氣降低其壓力藉以轉動空氣引擎，故極不經濟也。茲將著名隧道中所用運輸機車之種類列如後表。

表 27 著名隧道中所用之運輸機車

(47) 隧道名稱	機車種類	備 考
1 新 普 倫	蒸汽機車	蒸汽壓力約 220 磅,每方呎,使用時降至 100 磅每方呎
2 聖哥薩特	蒸汽機車	
3 道 安	蒸汽機車及汽油機車	
4 波斯魯克	蒸汽機車及汽油機車	
5 新 普 倫	壓縮空氣機車	壓縮空氣容量為 70 立方呎,壓力 1030 磅每方呎,使用時降至 150 磅每方呎
6 亞森帕斯	汽油機車,電機車	
7 洛脫慶堡	壓縮空氣機車	(23) 用四級電動印澤梭爾藍特壓縮機二具,每分鐘壓縮空氣 460 立方呎達到每方呎 1750 磅之壓力
8 格蘭及斯	壓縮空氣機車	用 I.R. (220) 壓縮機一具,每分鐘壓縮空氣 460 立方呎,達到每方呎 1500 磅之壓力。
9 好 斯 丹	壓縮空氣機車(南口)	
10 好 斯 丹	汽油機車(北口)	
11 羅易爾山	電機車	
12 更 尼 森	電機車	重量 6 噸,牽引力 2400 磅速度每小時 6~8 哩,軌距 24 吋
13 勞 山 尼	架空式電機車	
14 瓦爾格爾	電機車	11 馬力,每行 1000 呎掘石每立方碼費電 0.67 仟瓦小時。
15 司特老倍蕾	電機車	每小時行 4~6 哩,軌距 24 吋,軌重 25 磅,電壓為 250 伏特。

第 6 節 坑井中之運輸

88. 坑井中之運輸 開鑿坑井或其底部之隧道時,泥石均可由坑井運出。運輸之工具可用木桶,運泥台,或特製之運泥車。所用之動力,可為人力,牛馬或捲揚機。應用捲揚機時,坑口須築一堅固高

大之木架或鐵架；捲揚機可由電動機蒸汽機等轉動之，隨即轉動一繩索，將所繫之運泥車沿特製之垂直鋼軌而升降之。上升速度普通約為每秒 1~2 米。捲揚機所需之馬力 $H.P.$ 可由下式計算之。

$$H.P. = \frac{Qv}{75f}$$

中式 Q = 每次升降之重量(仟克, 包括鋼索之重量, 運泥車等)；

v = 鋼索速度(米/秒)；

f = 機械效率(普通約為 0.5~0.75)。

捲揚機須備有完善之軌, 坑中須有安全之設備, 如信號機, 垂直鋼軌等。

第 7 節 泥石之處置

89. 泥石之處置 隧道中開鑿後運出之泥石須有適當之處置, 處置之方法須以經濟, 迅速, 便利為原則。普通有後述數種:

一, 填築路基; 二, 填築土堤;

三, 充作隧道中建築用之材料。如經工程師驗明其石質確屬堅硬者, 亦得權充為隧道中所用之石片及攪和於混凝土。

四, 填充低窪之處 若泥石之堆積場所甚廣, 而場所附近深度甚淺, 則可用大石推平機推平之。若堆積為深狹之山谷, 則可築一木棧橋於其上; 將泥石運輸車或機車牽引其上而傾倒於其下也。

第七章 隧道上之壓力

第 1 節 概說

90. 概說 隧道上之壓力, 即隧道四週泥土及岩石之壓力也, 但因隧道所經之地層, 種類不同, 結構各異, 而泥土岩石所呈之壓力強度及作用方向, 又為難以捉摸之事, 雖近世各國工程學者對於

(431)
 土力學，研究不遺餘力，然其所得成績猶在發軔之中，故現今泥土岩石中之建築物所受之壓力，不得不根據各專家之假定與經驗，以作約略之估計而已。

隧道工程對於隧道四週之壓力生直接影響者，厥為支撐工程與襯砌工程是也。故於後者尙未敘述之前，先將隧道上之壓力，約略討論之。

91. 學說之分歧 地質學家與工程師對於隧道上壓力之研究不一，意見分歧。各家學說中之較著者列述於後：

一，卡爾門氏學說 ⁽⁴³²⁾ 卡爾門氏學說係假定隧道頂部之襯砌受力最大，而壓力之強度視隧道所在地位之深度與泥石之內聚力而定。

二，立透氏學說 ⁽⁴³³⁾ 立透氏學說與卡爾門氏學說適反，彼謂隧道頂部之壓力強度不依深度之大小而定，惟等於半拋物線形之一塊泥土之重量減去半拋物線周圍張力而生破裂時所需之應力也。由此觀之，壓力之強度雖與隧道之深度不生影響，但係依隧道開鑿面之寬度而更易也。

三，海明氏學說 ⁽⁴³⁴⁾ 海明氏學說，理論較繁，討論之範圍甚廣。其原理係假定隧道為一浮於液體中之物體，隧道四周之壓力亦與水壓無異，惟其數值更依泥石之內聚力與摩擦力，山岳地帶之地質等而變更。若根據此學說而計算之，則聖哥薩特隧道上負 5000 呎之高山，襯砌之厚度當為 20 呎矣，如此厚度當可使建築深隧道者望而生畏。海明氏學說研究之結果雖足以令人驚駭，但其錯誤並不甚大也；因數年後聖哥薩特 ⁽³³⁾ 隧道之補助道孔及新普倫 ⁽⁴³⁵⁾ 隧道之附屬道孔均因未加襯砌而致四壁內傾，阻塞道孔矣！由觀察所得，岩石因壓力而生之碎裂，因深度之增大而加多。例如上負 2300 呎之重量，其垂直分層之片麻岩，可以不顯任何碎裂之現象，及至深度達 4000 呎時，則四壁岩石將破碎矣！ ⁽³⁶⁾

92. 淺隧道之壓力 ⁽²³⁶⁾ 建築於沖積地層中之淺隧道，其所受之壓力，係該物質靜止角範圍內之總重量 W ⁽⁴³⁷⁾ 如圖 26 所示。故非獨隧道頂部受垂直之壓力，即隧道兩側，亦受側壓力也。若地質鬆軟，缺乏內聚力，並含水分者，則其所施之壓力更大。若兩側土質潮濕柔軟，則向下擠壓，使隧道底部常因之隆起。故在此種地層中建築淺隧道，當隨挖隨撐，而四週更須有堅強之襯砌。

93. 深隧道之壓力 由尋常經驗所知，泥沙中挖孔一枚，孔底受四週之壓力勢必上拱，而作一拋物線體，此拋物線體頂部之突出高度，似與所負泥石之深度與重量無關，而因開鑿部分之寬度與泥土之內聚力而異。隧道中之情形，亦有類於此者。今設 A, B, C, D (圖 27) 代表一深隧道之截面， w, x, y, z 為其頂部所負之重量；四週係為堅硬之泥石， a 部作水平之岩層， b 部則否。隧道頂部之壓力乃由隧道兩側 $A-C$ 與 $B-D$ ，傳之於底部。若隧道兩壁甚為堅強，則所生之應力當可由 s, t, r, u 表示之，近壁處最大，及至較遠處，則 ru 等於 wy 。隧道開鑿時，隧道上下之泥石，因爆炸之振動而內傾，如虛線所示，此種內傾作用，常以時間之延長而擴大，若無適當之支撐與襯砌，道孔將為閉塞；且此種內傾作用能影響其上下部之泥石結構，圖中所示之拋物線形之虛線內部，即示其影響地帶；拋物線 $A'PB'$ 所包括泥石之重量即可視為隧道上所負之壓力。

圖 28 中， A, B, C, D 為鬆軟泥石中之隧道截面， a 部呈垂直岩層， b 部則不然。今因隧道四週，泥石鬆軟，致其兩側不能傳力，乃至破裂而內傾，此時之影響地帶較前為大，兩側之應力如圖 $t'' - s - r - u$ 所示。實際上，拋物線 $t - p - t' - p'$ 之軸，依四週岩層結

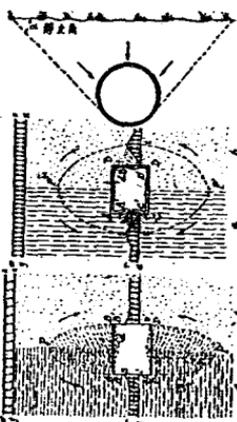


圖 26 沖積地層中之淺隧道(上)

圖 27 深隧道兩壁堅強時所受壓力之分佈(下)

圖 28 深隧道兩壁鬆軟時之壓力分佈(中) 上兩圖須橫看

構之不同而易其位置；惟深隧道上所負之重量終為全部負土之一部分也。

總之，深隧道四週之壓力即為其四週拋物線形影響地帶泥土之壓力。惟拋物線之形狀，須視泥土之性質，岩層之結構而定，茲將普通所遇之情形如圖 29 所示分為三種。圖 29a 係示壓力作用垂直，不生側壓力。隧道之支撐與襯砌乃可依拋物線 $A-B-C$ 之重量而設計之。圖 29b 所示，壓力雖為垂直，惟隧道之兩側則較弱。隧道之拱頂，可依 $A'-C-D-B'$ 之重量而設計之。今設 α 為泥土之靜止角，且假定破裂線 $T-R$ 與拱頂水平線相交之 R 位於 QA' 之中點。則隧道壁 $A'T$ 所受之壓力為三角形 $RA'T$ 及拋物線一部 RCA' 之重量也。圖 29c 所示，係因岩層傾斜或右側泥土鬆軟而使壓力對於隧道中心軸並不對稱者。此時拱頂須依 $A'CB'$ 之重量而設計；而右側支撐與襯砌須依 $B'RU$ 及 $B'CR$ 之重量而設計之。

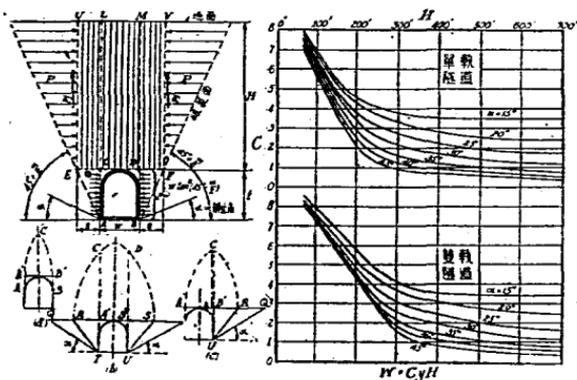


圖 29 深隧道之荷重情形(左下)

圖 30 鬆軟泥土中隧道之壓力分佈(左上)

圖 31 減縮係數 C 之實用值(右)

計算前述拋物線形之高度，公式甚多；惟多依經驗與假設而求得之，今舉孔默雷爾氏公式⁽⁴³⁾而略述之。孔默雷爾氏公式係假定同種泥土中隧道頂部之傾垂因隧道之寬度而易；故拋物線形之高度

度乃為隧道寬度與泥土內聚力之函數。更以橢圓形代替拋物線形，

遂得下列之公式：

$$H = \frac{100d}{C}$$

式中 H 為橢圓形高，亦即為隧道所負拋物線形之高度， d 為隧道頂部察得

之傾垂距離， C 為一係數，因泥土之種類而易，如表 28 所示。

表 28 係數 C 之值

泥 石 種 類	C	泥 石 種 類	C
乾 燥 細 沙	1.0	泥 灰 岩	4至5
沙, 礫 石	1.5	頁 岩	6至7
土, 壩 姆 ⁽⁴⁵⁹⁾	2至4	硬 石	8至15

94. 鬆軟或缺乏內聚力之泥土中之隧道壓力 冰河堆石⁽⁴⁴⁰⁾、礫石粘土等，均甚鬆軟，其內聚力極小，加於隧道之壓力亦較前述具有內聚力，分層或不分層，之岩石易於確定。圖 30 係示鬆軟泥土中之隧道，負土不深。若隧道所負者為流體如水之類，則其頂部 CD 線上所受之垂直壓力 W 當為 $CDLM$ 之重量，或等於 $H\gamma$ 每方呎，而 H 為深度， γ 為每立方呎之泥土或水之重量。亦即 CD 線上之荷重，應與 H 成直接比例。但實際上各種泥土均具有內聚力少許。故荷重 W 之值，除與 H 有關外，復受泥土分子間摩擦力之影響也。

設 α 為泥土之靜止角，其值如表 29 所示，則破裂線與水平線間之交角可假定為 $45^\circ + \alpha/2$ 。隧道開鑿之際，其頂部泥土 CD 常因泥土之種類與開鑿之方法，中降數吋至數呎不等，則 EC 及 DF 兩平面上，即因兩側之水平壓力 P 及泥土內部摩擦係數 f 而生向上之摩擦力 Pf 以抵抗下降之泥土重量 W ，為平衡計， W 應等於 $2Pf$ 。

依據圖 30 所示之各項，畢爾伯默氏⁽⁴⁴¹⁾將隧道之壓力強度或荷重 W 計算如後：由圖得

$$t \cdot P = t \cdot y \cdot H \cdot \tan^2(45^\circ - \frac{\alpha}{2}) - 2 \cdot S \cdot W \tan \alpha \quad (1)$$

$$W = y \cdot H - y \cdot \frac{H^2}{w + 2S} \tan^2(45^\circ - \frac{\alpha}{2}) \tan \alpha \quad (2)$$

$$P = W \tan^2(45^\circ - \frac{\alpha}{2}) \quad (3)$$

表29 泥土之單位重量與靜止角

泥 土 種 類	單位重量,每立方呎磅數	靜止角 α°
沙,乾燥	98~103	30~45
沙,潮濕	113	40
沙,水分飽和	128	25
泥土,乾燥	87	35~40
泥土,潮濕	100	45
泥土,水分飽和	113	27
粘土,乾燥	100	40~50
粘土,潮濕	128	20~25
沙及礫石,乾燥	113~115	35~40
沙及礫石,潮濕	116	25
礫石,多角	113	45
礫石,圓角	113	30

前式所含各值,除於圖中所示外, W, P 及 S 均為所求之值; y 為每立方呎泥土之重量,各值均以隧道長一呎計算之。

(3)式代入(1)式則得

$$W \cdot t \cdot \tan^2\left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) = y \cdot H \cdot t \cdot \tan^2\left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) - 2 \cdot S \cdot W \cdot \tan \alpha \quad (4)$$

設 $g^2 = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)$, 更以(2)式代入(4)式,則得

$$\left(y \cdot H - y \cdot \frac{H^2}{w + 2S} g^2 \tan \alpha\right) g^2 t = y \cdot H \cdot t \cdot g^2 - 2S$$

$$\left(y \cdot H - y \cdot \frac{H^2}{w + 2S} g^2 \tan \alpha\right) \tan \alpha$$

化簡得

$$S^2 - 2 \cdot \frac{H g^2 \tan \alpha - w}{4} S - \frac{H t}{4} g^4 = 0$$

更設 $Z = g^2 \tan \alpha$ 則

$$S = \frac{ZH - w}{4} \pm \sqrt{\left(\frac{ZH - w}{4}\right)^2 + \frac{H \cdot t}{4} g^4}$$

取此式之正根，復代入(2)式以求 W 如下：

$$w + 2S = \frac{ZH + w}{2} + \sqrt{\left(\frac{ZH - w}{2}\right)^2 + H \cdot t \cdot g^4}$$

$$\text{而 } W = \gamma \cdot H \left(1 - \frac{ZH}{\frac{ZH + w}{2} + \sqrt{\left(\frac{ZH - w}{2}\right)^2 + H \cdot t \cdot g^4}} \right)$$

括號中之值以 C 代表之，則

$$W = C \gamma H,$$

C 謂之減縮係數，其值常小於 1，且較實際之值稍低，畢爾伯默氏⁽⁴²⁾將其值稍加提高，繪成曲線如圖 31 所示，以便檢取。拉脫科易爾單⁽⁴³⁾軌鐵路隧道中，工程師格魯賽氏報告隧道位於乾燥泥土中，深 147 呎， α 為 35 度， γ 為 112 磅每立方呎，隧道所受壓力為 7300 磅每平方呎；由圖 31 可檢得 $C = 0.45$ ，則 $W = 0.45 \times 112 \times 147 = 7400$ 磅，此與實際值相差無幾。

第八章 支撐工

第 1 節 概說

95. 概說 自隧道開鑿之始，以迄內部之永久襯砌工完成之間，常需用木材或鋼鐵之結構物，以確保工作進行之安全與防禦四周⁽⁴⁴⁾泥石之壓力。此種結構物即謂之支撐工。支撐工之建築方法與設計，須視隧道之開鑿方法與泥石之性質而決定。惟其主要條件，則以經濟，安全，與不妨礙其他工作如開掘，運輸等之進行為原則。

支撐工之構造，可分兩大部分，一為抗壓支架，一為周壁包裝構造，前者之主要作用為傳達抵抗泥土之壓力，其位置，形狀與強度，均須加以考慮；後者係用以抵抗四壁泥土之剝落，而傳達壓力

於前者。

第 2 節 支撐工之基本構造

96. 抗壓支架之材料 木材爲用作建築抗壓支架最普通之材料。實際上，此種構造物，均係暫時性質，故各種木材稍具所需之強度者，皆可適用。富有彈性之木材，如松，樅等爲最佳，因其能受應力而變形，可預示危機也。麻櫟等堅強之木材，常臨最後剝那而突然崩裂，故不可取。軟質木材，重量甚小，攜取較便，亦可取用。圓形木材，因無須鋸鉋，費用可以較省。鋼鐵材料，費用雖昂，惟優點甚多，故於近代之大隧道中多用之。鋼鐵材料之勝於木材者，在乎堅強，而省地位，且不易損壞可反覆用之也。1862 年李柴君⁽⁴⁴⁷⁾曾用舊鐵軌⁽⁴⁴⁶⁾以建築納生隧道之支撐工，實爲利用廢物之一法。

97. 抗壓支架之要點 抗壓支架中之各部分均須承受直接應力；至其形式與材料之大小等，須視土壓，構造物之大小，及使用時期之長短而異。又隧道中之木材，其強度往往稍微降低，亦不可不注意及之。

抗壓支架中之主要部分有三：一爲垂直於隧道軸，向四壁作放射狀，或作垂直狀且受直接應力者，即所謂柱者是也；一爲垂直於隧道軸，沿隧道四壁面生梁之作用者，即所謂梁者是也；一爲平行於隧道軸者，即所謂桁者是也。

總之，木材之抗壓支架須具有下述之諸要點：

- 一，上述之柱，梁及桁，須受直壓應力；
- 二，支架形狀必須簡單，則一生危機，即易發覺；
- 三，各部分之配列，對於土壓之方向須能適應；
- 四，若支架中之一部分，發生破壞或更易時，對於其他部分之影響須小；

五，壓力須分配於各部分，不可集中；

六，各構肢須能用支柱支撐之，俾不生力矩；

七，各部分之配列，必須堅實，惟須易於更換；

八，留有寬大之空間，以便搬運，開掘等之工作；

九，材料須能盡量減少，無用之材料，宜除去之；

十，構肢之結合，必須簡單，迅速而堅強。

98. 抗壓支架之結合 抗壓支架之結合，種類甚多，如圖 32 所示，(a)為墊直柱之墊板，(b)為數構肢集中所成之用尖頭接合，(c)為尖角端之接合，但(b)(c)兩種接合對於壓力之傳遞，並非最為適當，故宜設法避免之。(d)為直角接合，但上部之桁梁，易受割切而減弱其強度，故可以(f)式代之。(g)式之上部桁架呈四方形之截面，為加強支柱之上端計，常用鐵環緊合。(j)式為一斜構肢插入一直柱之接合，壓力較大時，不宜應用。

99. 四周包裝構造 四周包裝構造之材料，通常用木板及小木樑，然亦有用鐵板及鐵樑者。抗壓支架構造之構肢與隧道方向成直角者，則傳遞土壓之木板，須與隧道同方向，若構肢與隧道軸同方向，則木板之方向，須與隧道方向垂直。前者如圖 50 所示，後者如圖 51 所示。

四周包裝構造可分兩種，即撐板式與列板式⁽⁴⁷⁾是也。若土壓較小或岩石稍堅，開掘後，泥石碎片之剝落甚少，可用撐板式如圖 53 所示。

若地質軟弱，泥土極易崩塌者，則須用列板式，如圖 34 所示，乃於開掘時，隨挖隨將列板插入可也。

第 3 節 導坑或小型隧道中之支撐工

100. 導坑中之木材支撐工 木材支撐工之形式，須視地質之優劣而變更，且隧道全部之地質不一，故每一隧道中，可有數種不



圖 32 抗壓支架構造之結合

圖 33 撐板式包裝構造

圖 34 列板式包裝構造

圖 35 地質極佳處之支撐工

圖 36 框架支撐工

同之支撐方法，或有數處因岩石堅固，根本不須支撐工者。如我國粵漢鐵路之圓螺角隧道，南端稍帶鬆石，因防其下墜，乃先開導坑，並用支柱支撐，但非一律如此，僅何部危險，則在何部支撐耳。北端及中部之石塊，雖具裂紋，然不致有下墜之虞，故無支撐。茲依各種地質情形之不同，將導坑中之木材支撐工分述於後：

一，地質極佳處之支撐工 在地質極佳之情形下，開鑿導坑，並無土壓，即所謂泥石之頗能自持者是也。然實際上，常因爆炸之作用，使岩石發生罅隙裂縫，石片倒懸其中，頗有傾墜之虞，在此種情形之下，為求安全計，亦宜稍加支撐。此種支撐工，均甚簡單，如圖 35 所示。所用木材尺寸如表 30 所示，接合多用圖 32 之(a)及(f)式。

表 30 導坑中支撐工所用木材之尺寸

各 部 名 稱	岩 石		泥 土		
	硬	軟	堅硬	鬆軟	極鬆軟
冠木及直柱(吋)	6	8	10	12	14
闔木(吋)	—	—	8	10	12
擋木(吋)	5	5	6	7	8
支架間隔(吋)	6	4.6	3	2.6	2.6

二，地質稍較軟弱處之支撐工 地質稍較軟弱之隧道中，不僅導坑之頂部與兩側須加支撐，即其底部亦須設法妥為處置，以免受壓而隆起也。如是則導坑之四周，均有支撐之設備，即形成所謂⁽⁴⁸⁾框架支撐工是也，如 36 圖所示。框架支撐工，普通為一矩形木框，冠木與闔木由兩直柱支撐之，此種木框之設置，間隔約 2 呎至 3 呎頂部或四周更用撐板或列板為之包裝。圖 37 所示係為列板式之支撐工，圖中，設列板 a 及 b 均已就緒，且為 ABC 各支柱所撐，於是最初之工作即為將列板 c 插入 C 柱頂部之梁與木塊 m 之間。然後挖掘導坑頂部之泥土，隨即錘擊列板 c ，使推進之，及至如 a, b 之適

當位置時始止；最後則更加以一支柱。如是連續進行，導坑即逐漸進展。圖 37(b) 即示列板之方向與隧道方向垂直時之情形。列板厚約 2 吋，闊約 6 吋至 10 吋，其他木材尺寸如表 30 所示。

三，地質甚為軟弱處之支撐工 地質甚為軟弱處，則須用箱式支撐工。⁽²⁹⁾ 事先築一木框權充先導，隨即在其四周錘入水平方向之列板，此種列板之一端具有尖口以錘入之。其深度約為 2 呎至 3 呎，如是則形成一木箱。然後挖出箱中之泥土，至列板盡端為止，再另築一木框，如法再進行之。設泥土中含有水分或流沙，則木箱中之泥土挖盡後，四周之列板，須用乾草，杉葉，或水泥等塞住；而導坑前端之擋土板亦須多置數枚。

四，地質最劣處之支撐工 若遇流沙或含水飽和之粘土層則須用盾構開鑿之。盾構之構造與應用，將於第十章中詳述之。

101. 導坑中之鋼鐵支撐工 泥石壓力特強時，可用鋼鐵支撐工，其所得之利益，不但為減省空間，且能製成特殊之形式，歷時可久。用作抗壓支架之構肢者，有舊鋼軌，工字鐵，槽形鐵，T 形鐵，及弧形鐵等。弧形鐵為用於導坑之頂部者。用作四周包裝構造者，有角鐵，T 形鐵及美國最近通行之襯板，見圖 41 所示。

加刺文根隧道係用工字鐵與槽形鐵配合而成之支撐工。⁽⁵⁰⁾ 新普倫⁽⁵¹⁾ 隧道用工字鐵與鐵板之矩形支撐之。⁽⁴⁵²⁾ 安特⁽⁴⁵³⁾ 隧道之支撐工，係用舊鋼軌彎曲配成之。丹達峯⁽⁴⁵³⁾ 隧道係用 T 形鐵與角鐵作四周包裝構造。

第 4 節 擴坑後或全面開鑿時之支撐工

102. 擴坑後之木材支撐工 ⁽³⁹⁸⁾ 擴坑後所用之支撐工，構造稍較複雜，因道孔之面積增加，壓力增大故也；依據結構學原理，⁽⁴⁵⁴⁾ 各構肢須能配成大小相連之三角形，最為堅固。至於所用之木材構肢，直徑普通約為 15 厘米至 50 厘米，亦有用每邊為 25 厘米至 45 厘米之方形木材。

擴坑後之支撐工，其主要構造，亦可分為抗壓支架與四周包裝

構造兩部。前者因形式之不同，可分柱式與拱式兩種。四周包裝之構造，則大致與前節中所述者相同。

103. 柱式支撐工 柱式支撐工，復因構造之不同而可分為枝梁式與輻射式兩種。⁽⁴⁵⁵⁾茲分述於後：

一、枝梁式支撐工 枝梁式之構造，最普通者為用圓形木材

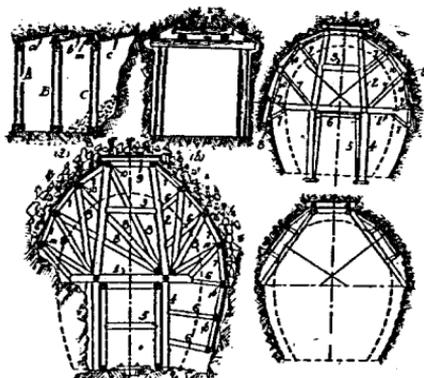


圖37 列板式支撐工(上左)

圖38 枝梁式支撐工(上右)

- | | | |
|-------|--------|---------|
| 1. 大梁 | 2. 大柱 | 3. 大柱內梁 |
| 4. 直柱 | 5. 補助柱 | 6. 補助梁 |
| 7. 枝梁 | 8. 桁 | 9. 頂木 |
| | | 10. 桁繫梁 |

圖39 輻射式支撐工(下左)

- | | | |
|--------|---------|-------|
| 1. 大梁 | 2. 大柱 | 3. 內梁 |
| 4. 直柱 | 5. 補助支架 | 6. 枝梁 |
| 7. 桁繫梁 | 8. 輻射梁 | 9. 頂木 |
| | | 10. 桁 |

圖40 合撐式支撐工(下右)

築成之支撐工，如圖 38 所示，即為其標準形式。中央水平位置之大梁，係由直柱所支，上部即承兩大柱，大柱之間，配一內梁，由是即為組成之主要架構。其他枝梁乃如樹枝般自此主要架構伸出，抵住各桁，承受由各列板所傳授之壓力。桁間之距離，乃由各桁繫梁維持之。若為加強大梁及直柱所組成之架構計，則可另加補助柱與補助梁補助之。

二、輻射式支撐工

輻射式支撐工多用圓形木材組成，堪稱為最堅固之構造。如圖 39 所示，其構造較枝梁

式更為複雜。其特點為輻射梁多枚，各自大梁射出，以補助枝梁之不足。

若已成之支撐工，因四周壓力之不勻，各構肢之強度不敷，或構肢之接合有所鬆脫等情，而變更其形狀時，則須設法補助，以免危險。補助之方法，須因情形而異，普通可用巨木數根先將大梁大柱撐住，然後再設法補助較弱之部分，有時在大梁中央，另設輻射梁一組，向四周射出之。

104. 拱式支撐工 ⁽⁴⁵⁶⁾ 拱式支撐工係利用拱之作用以支撐四周之土壓。除用圓形木材外，矩形，正方形等截面之木材，亦多用之。

一、圓形木材之合撐式支撐工 此種支撐工，如圖 40 所示，構造簡單，對於土壓較小，防止石片墜落之情形，最為合宜，惟其強度則較柱式支撐工為弱耳。但其中部均無枝梁，或放射梁等之障礙，故對於挖掘，運輸，通風等工作，極為便利。此種支撐工在歐洲及日本頗為通行。若為加強其強度計，則可另設柱式支撐工以補助之。

二、矩形或正方形木材之拱式支撐工 此種支撐工，亦稱美國式支撐工，因其最盛行於美國故也。其抗壓之主要部分，係為五枚至七枚之木材，沿隧道四壁與隧道方向成直垂，頭尾相接，構成一拱，具有拱之作用，拱外四周復用撐板包裝之。此種拱式支撐工，可分後述數種：

(a) 純拱式支撐工 ⁽⁴⁵⁷⁾ 此式係為木材構成之單純拱，其內部可用混凝土作襯砌而增加其強度。此種支撐工，宜用於地質較優之處。美國南加利福尼亞州及俄勒岡州之兩輸水隧道中，曾於全面開鑿法中用之，均因地質良好，成績甚佳云。

(b) 壁板拱式支撐工 ⁽⁴⁵⁸⁾ 此種支撐工，係於前述之純拱式支撐工外，自起拱線起，另敷工字梁之壁板，以增加其強度。摩發特隧道中曾用之，頗得良好之成績。

(c) 木塊拱式支撐工 ⁽⁴⁵⁹⁾ 此種支撐工，係為木塊多枚配成之拱形或圓形。美國波士頓市多却斯得地方鐵路中用之；用 9 吋厚，4 呎 8 吋長，9 $\frac{3}{4}$ 吋寬之美國長葉松所製之木塊，共十六枚，配合後，即成一圓形截面，木塊間用鎖木及 $\frac{1}{2}$ 吋鋼釘釘住之，且塗以水泥漿以防漏水。

(d) 加撐壁板拱式支撐工 ⁽⁴⁶⁰⁾ 此式係於隧道傾壓力強大時用之，係將壁板拱式支撐工之內部，另加撐木多枚以補助之。

105. 鋼鐵支撐工 鋼鐵材料，常與木材配合而築支撐工，其單獨應用時頗少。普通鋼鐵支撐工可分三種：

一、構造鋼拱式支撐工 ⁽⁴⁶¹⁾ 此式與木材拱式支撐工之形式相

同；惟用構造鋼，如工字鐵，角鐵等代替木材。摩發特隧道及最近完成之日本關門隧道中之⁽⁴⁶⁵⁾一部，均採用之。

二，襯板支撐工 襯板者係特製之鐵板，如圖 41 所示，將隧道四周包裝之。此種襯板，係用栓釘旋緊，各板之間亦有用工字鐵插入，以增加其強度者；平台開鑿法及針梁開鑿法中，均可應用。而具有盾構之功用。美國商業剪壓製型公司之⁽⁴⁶⁷⁾出品，有 $16'' \times 36''$ ， $16'' \times 37-1\frac{1}{16}''$ 等種，大小有整形， $\frac{3}{4}$ 形， $\frac{1}{2}$ 形，及 $\frac{1}{4}$ 形，厚度自 $7/64$ 吋至 $\frac{3}{8}$ 吋不等，四周卷邊之高，約 2 吋至 $2\frac{1}{2}$ 吋，並有刻花與無花之別。美國林肯隧道旁之⁽⁴⁶⁸⁾新澤隧道中曾用以防止地下泉水之侵入，結果頗佳。

三，鐵製鏈環式支撐工⁽⁴⁶⁹⁾ 此式係與木塊拱式支撐工相似，惟以工字鐵代替木材，沿隧道四壁配成鏈環狀，四周包裝，仍用木材⁽⁴⁷⁰⁾撐板。美國科羅拉多輸水隧道曾用之。

第 5 節 坑井中之支撐工

106. 坑井中之支撐工 坑井中建築支撐工之目的在於防止四壁之內傾，及分配坑井成數部分，以便運輸之利。圖 42 中所示者，

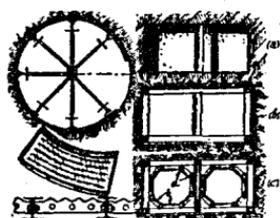


圖41 襯板支撐工(左)

圖42 坑井中之支撐工(右)

即為普通所用之形式。設地質堅硬，泥石不易剝落者，則取(a)式，僅用撐板抵柱或橫撐木數根支撐之；若地質較軟時，則取(b)式，即在坑井四角設立木柱，四周及中央用橫撐木每隔適當距離撐住之，沿壁更設垂直列板包裝之。若地質極劣，泥土鬆散，則取(c)式，即於前式另加直柱及橫檔，構成一補助撐架。四側列板之連接處，更須交疊，以阻泥沙及地下水之侵入。

坑井中支撐工之材料，除用木材外，亦可用鋼鐵材料，至於各部構肢之大小及間隔，列板之厚薄，則須視支撐工自身之重量，運輸設備之重量，及四周泥土之壓力而定也。坑井築於泥土中時，四

側壓力可用後式計算之：

$$P = \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi} wh$$

式中 w = 泥土重量，每立方呎磅數；

h = 在計算壓力處之深度，呎數，

Φ = 泥土之靜止角，

P = 在垂直面上單位壓力，每方呎磅數，壓力方向水平。

普通坑井中支撐工所用木材尺寸，依地質之不同，大致如下表所示。

表 31 坑井中支撐工所用木材之尺寸(吋)

各部名稱	岩 石 泥 土				
	硬	軟	堅硬	鬆軟	極鬆軟
四壁之橫撐木	8	8	10	12	14
中央之橫撐木	8	8	8	10	12
補助撐架中之直柱	8	8	10	12	12
補助撐架中之橫檔	—	6	8	8	8
支撐架之垂直間隔(呎)	6	4.5	4	3	2.6
四壁列板	—	2×4	2×4	2×6	2×6

在坑井底部與隧道之交接處，坑井中之支撐工即行終止，惟另須建築架構，以支持上部所負之全部重量，普通多用一特製之拱架或桁架。⁽⁴⁷¹⁾

第 6 節 支撐工用之木材

107. 木材之種類 支撐工所用之木材，普通有長葉松，短葉松，杉，日本松，達格拉斯松，赤麻櫟，檜，樺，赤柏，粗皮胡桃木，櫟等，選擇時，須取價廉易得而能取大材者，而抗剪，抗壓，抗彎等強度及韌度更須注意及之。有時宜舉行試驗，檢定其各平均值。

108. 木材之破壞 支撐工所用之木材，破壞原因有下述數端，

宜設法以避免之：

一，火燒；二，磨損；三，破碎；四，蟲害；五，腐敗。

其中尤以火燒與腐敗最關重要，隧道中潮濕頗甚，溫度亦高；普通溫度常為華氏 72 度至 90 度，濕度百分之九十以上，為促進腐敗之最適條件。故隧道中之防火設備與通風設備，均須優良。

第九章 開鑿方法

第 1 節 概說

109. 概說 隧道之開鑿方法，種類甚多，惟各有其優劣之點，其選擇更須依下述各項而決定之：

- 一，經濟狀況；
- 二，地質情形；
- 三，隧道全長與截面之大小；
- 四，工具，材料及泥石等之運輸；
- 五，安全問題；
- 六，利用機械之程度；
- 七，預定完工之時期。

截面較小之隧道可直接開掘道孔，一次完成；截面較大者，則須先行開掘導坑一孔或數孔，然後逐漸將其擴大，謂之擴坑。

110. 導坑與擴坑 導坑之名，各專家所擬之定義不一，有謂設於隧道截面頂部之小型道孔謂之導坑，設於底部者謂之底坑；有謂凡平行於隧道中心軸之一切道孔謂之導坑，或謂之底坑。⁽⁴⁷⁸⁾ 本書之所謂導坑，為簡單計，係指隧道截面上最初開掘之數小型道孔而言，其設於頂部者，謂之頂設導坑，其設於底部者，謂之底設導坑，其設於中部者，謂之中央導坑。⁽⁴⁷⁹⁾

導坑之設置，目的有四：

- 一，固定正確之隧道中心軸；
- 二，使工程在數處同時進行，各班工人，不相妨礙，加速完工日期；
- 三，試探地質，苟遇地質之變更，則可預為計劃，權衡未來之開鑿方法；
- 四，匯集流水。

導坑之截面，須視地質，開鑿方法，工期，隧道長度，利用機械

之程度等而決定之，但至少須能容納支撐工，運輸工作等，且須有相當淨空，以便工人工作其間。故其最小高度為 7 呎，最小寬度為 6 呎。岩石堅固，爆破效果優良者，其導坑截面可取 10 呎×8 呎；普通岩石中，長度較大者，因工期關係，當以 8 呎×8 呎為佳，利用機械力者，則可取 12 呎×8 呎。導坑之長度則多依當時情形而定，岩石中之長隧道，導坑之長有達 1000 呎至 2000 呎者，其目的在求速行貫通，校準隧道之中心線。短隧道中之導坑亦短，且泥土之內聚力愈小，則導坑愈短。內聚力極小時，導坑中之支撐工須隨掘隨築，開掘面須使傾斜，傾斜角度約近於泥土之靜止角。

導坑既經開鑿，第二步之開掘工作即為擴坑，擴坑者實係開掘隧道截面上留餘之泥土。擴坑之先後程序，須視開掘方法而異；為精確計，隧道截面上須用木製或金屬製之小釘，繩索及測量儀器等，將截面之輪廓顯示，標以先後之開掘次序；美國紐約市之克洛吞水道⁽⁴³⁰⁾開掘時，曾用一木製之極測角儀器⁽⁴³¹⁾，以定擴坑之輪廓，此器係為此工程中工程師克拉文氏⁽⁴³²⁾所創，實為架於一木架上之大圓形之測角器也。擴坑後之截面往往較隧道實際截面為大，其多餘處，可用石塊填實，襯以圻工。

第 2 節 全面開鑿法

111. 開鑿之程序與方法 ⁽⁴⁸³⁾全面開鑿法，係為一氣呵成之開鑿方法，頗適於小截面之隧道，最近在美國頗為通行，截面之寬度有達 16 呎以上者，美國科羅拉多輸水隧道⁽⁴⁷⁶⁾曾採用之，其截面為寬 16 呎，高 16 呎之馬蹄型。此種截面較大之情形時，常用一可移動之專車⁽⁴⁸⁴⁾，車上備有鑿岩機，壓縮空氣管，水槽等全部工具。隨挖隨進，岩石中每次之爆破量甚大，須用大型之鏟式裝載機，運輸車輛及機車輸送之。

112. 此法在應用上之要點

一，地質 地質宜堅固，因須開掘後始築支撐工也。故以能自持之泥土或岩石為佳。

二,支撐工 支撐工多用純拱式,壁板拱式及襯板式。若用他式支撐工,則有損本法之優點也。

三,泥石之裝運 泥石之裝載,宜用箕式裝載機,因泥石之數量頗多也。惟在小型隧道中,則用普通之人工裝載法,亦無不可。

四,優點 工程簡單,進行迅速,運輸便利,無高低路之崎嶇,故管理極易。

五,劣點 地質宜佳,截面須小,此為其缺點。

第 3 節 平台法或導坑法⁽⁴⁸⁵⁾

113. 開鑿之程序與方法 此盛行於美國,且宜行於岩石中,可謂開鑿岩石隧道之美國法,係將全截面分爲二段或三段開掘,程序如圖 43 所示,上部之先進部分爲一頂設導坑⁽⁴⁸⁶⁾,下部則成平台⁽⁴⁸⁷⁾。導坑中鑽孔時,用水平鑿岩機,架於直柱上,如圖 12 所示。平台上則可用向下鑿岩機架於橫桿上。導坑中之爆炸效力,往往因下部平台之障礙而生影響,故如圖 12 中所示,可先同時爆炸 1A, 1B, 留下 C 於第二次再行爆炸, C 部稱爲獨立樁⁽⁴⁸⁸⁾。美國加里福尼亞州之佛羅薩河發電水路隧道⁽⁴⁸⁹⁾,亦用此法開掘;惟用一級平台,爆炸時 1A 部分長 9 呎, 1B 部分長 18 呎,獨立樁長 9 呎。美國福特佐治隧道⁽⁴⁹⁰⁾亦曾用之。此法若另加適當之支撐工,如壁板拱式支撐工,則可適用於柔軟之泥土中,摩發特⁽⁴⁹¹⁾隧道及科羅拉多隧道即爲其例。

114. 此法在應用上之要點

一,地質 地質須優良,以硬石爲佳,軟弱之地質中,若用適當之支撐工,則此法亦可採用之。

二,支撐工 支撐工之形式,須依壁板拱式爲標準,他種形式有礙開掘工作者,不可採用。

三,泥石之運輸 頂設導坑中之泥石,須迅速運出,至平台上,然後再與平台處掘出之泥石,一併用運輸車輪搬出之。

四,優點 此法之優點,大致與全面開鑿法相同,且對於地質變化之應付,頗能自如,所築之拱式支撐工,於襯砌工中亦可利

用之。若全部工程均為機械化，則工程之進行當極迅速。美國為機械盛行之國家，故採用甚廣。

五，劣點 此法若用人工開掘，則各項工程之進行同在一處工作不免遲慢。

第 4 節 頂部開割法或底坑法 ⁽⁴⁹²⁾

115. 開鑿程序 此法與前節所述平台法相類似，同為開鑿硬石隧道之最優方法，惟開鑿程序，兩者適反，如圖 44 所示即為本法之開鑿程序，導坑之截面，寬約 3 米，高約 2.9 米至 4 米。新普倫 ⁽⁴⁹³⁾ 隧道，塞尼山隧道好斯丹隧道等均曾採用之。

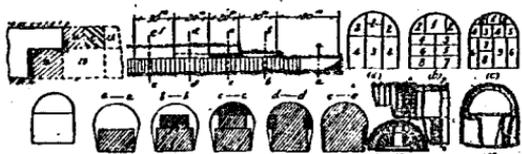


圖 43 平台法之開掘程序(左)

圖 44 頂部開割法(右上)

圖 45 比國法及法國法(右下)

119. 此法在應用上之要點

一，地質 地質以岩石為佳，極不適於鬆軟之泥土，因底坑開掘後，頂部之泥土易於墮落也。

二，鑽孔及裝載 岩石之鑽孔，宜用水平鑿岩機架於直柱上，若用向上鑿岩機，則須防岩石脫縫下墮。岩石之碎片，須築木台堆積，藉斜面作用，漏入運輸車輛中運出。

三，支撐工 較鬆之岩石中，支撐工可用枝梁式，底坑中之支撐工更須堅固，因同時可作裝載木台之用。

四，優點 此法最適用於堅硬岩石，擴坑面積較廣，爆炸效力極大；底坑先行開掘排水甚易。碎石之裝運，不若平台法之在數個水平面上進行之，故工作較便。

五，劣點 開掘面較廣，管理不易。鑿岩機所用之壓縮空氣管長度須大。爆炸時，爆炸之場所與時間必須預先計定，坑道內之空氣，亦須有充分之更換，以免危險，以致使其他工作陷於暫時停

頓狀態也。

第 5 節 比國法及法國法⁽⁴⁹⁴⁾

117. 開鑿之程序與方法 此法最初為 1828 年在比利時布魯塞爾查勒羅運河之查勒羅⁽⁴⁹⁵⁾隧道中所創用，故名為比國法。此法之特殊點，為頂拱之建築在於側壁與仰拱之先。其開鑿之程序如圖 45 所示，頂設導坑最先開掘，而延長相當之距離，距離之長短，須視地質而定。隧道之截面較大時，此導坑可以兩部分挖掘，頂部較先；頂設導坑開挖後，即依次行兩側擴坑工作及底部開掘。並隨挖隨築支撐工，支撐工之形式以輻射式為佳。頂部挖空後，須築一拱膽，以備進行襯砌工。

比國法之變化最多，圖中之式亦有稱為法國法者，因其在法國採用頗多也。

118. 此法在應用上之要點

一，地質 適合於軟土地質。

二，支撐工 用輻射式支撐工，四周用平行隧道軸之擋板。

三，裝載 頂設導坑先行開挖，泥土可用手推車行於斜板上運出。斜板須設於一側，以免妨礙他項工作，待全截面開挖完成後，即速鋪設軌道，用機車運輸。亦有於導坑底部平面上築一木台，以便手推車或小型 V 形車之往來，木台之下，即為行於軌道上之機車拖行之運輸車，而手推車或小型 V 形車中之泥土，即可由木台漏孔中傾下。

四，襯砌工 截面之頂部，一經開鑿即可築成堅固之拱頂，然後再築兩壁與仰拱，惟拱頂須用斜木柱或木撐支持，以免墮落。

五，優點 截面數處之挖掘工作可同時進行，各組工人，極少妨礙，故進行快捷，效率頻增。頂部各處開挖後，即裝支撐工，拱膽⁽⁴⁹⁷⁾，繼以襯砌，故四周泥土，甚少牽動。又受壓最大之頂拱，先行完成，亦為其優異之點。

六，劣點 頂拱倚賴土質承托，恐有壓墜之虞，若不用支柱或

木撐加以抵住，隨時有危險發生之可能。底部仰拱及牆脚未築之前，頂拱與側壁有受橫壓力以致歪扭或逼變之虞；而底部之墊腳工作，即因而增多。

第 6 節 ⁽⁴⁹⁸⁾ 德國法或側壁導坑法

119. 開鑿之程序與方法 ⁽⁴⁹⁹⁾ 此法最初係用以開掘聖廣丁與克桌格斯道夫兩軟土隧道後乃盛行於德國，故名德國法。此法之開掘程序如圖 46 所示。截面之兩側最先開挖，故亦名側壁導坑法。兩側之導坑寬約 7 呎至 8 呎，高約為全截面高之三分之一；泥土極鬆時約為四分之一。兩側導坑開掘至頂拱之足為止，隨即開挖頂設導坑。而中央部分乃於四周之泥土開盡，拱頂側壁完成後始行移去。若泥土中含水較多，則可先開頂設導坑如圖之右面第三式所示，且於底部開一小孔，以便洩水。

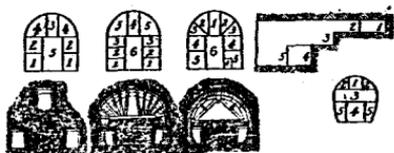


圖 46 德國法，側壁導坑法(左)

圖 47 日本法，頂設導坑法(右)

120. 此法在應用上之要點

- 一，地質 適用於鬆軟地質。
- 二，支撐工 此法所用之支撐工，如圖 46 所示，均可抵住中央部分之泥土，而其費用亦小。
- 三，襯砌工 ⁽⁵⁰⁰⁾ 襯砌工自兩側壁底頂開始築至拱頂，仰拱可於中央泥土移去後再築。
- 四，泥土之搬運 兩側導坑開挖後，即可在近中央之側，設置泥石運輸設備。普通以小型之輕便軌道為最佳，車輛可用人推，或機車牽引。頂設導坑中之泥土搬運，亦屬相同，惟出口處可用斜面。

五，優點 本法先開導坑多個，並不牽動泥土之均勢，而導坑甚小，支撐工較省；且中央部分後挖，各支撐工均有所憑依。全部建築由足點起，逐部上進，故較為完整而穩固，是為其最優之點。

六，劣點 導坑狹小，泥土之搬運較為艱難，且阻礙支撐工襯砌工等之進行。底部及頂部，進行在後，若遇鬆土，側壁容易被逼而離原位。倘欲補救此種缺點，費用必增，故近來用此法者不廣。

第 7 節 日本或頂設導坑法 ⁽⁵⁰¹⁾

121. 開鑿之程序 此法之開鑿程序如圖 47 所示，實為平台法與比國法之變相。此法在日本用以開掘短小之隧道者頗多；若遇地下水，或頂部泥土極鬆處，均難以應付，又因大隧道建築之增加，故此法現已不多採用也。

第 8 節 英國法或縱桁法 ⁽⁵⁰²⁾

122. 開鑿之程序 此法創自英國，因其地質多屬粘土，頁岩，沙岩，故極適合也。此法之程序與支撐工法如圖 48 所示。全截面之

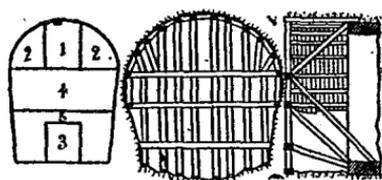


圖 48 英國法

開挖甚速，離襯砌工進行之場所約 12 呎至 20 呎。頂設導坑最先開挖，四周即用縱桁抵住垂直隧道軸之擋板，此種縱桁之設立為此法之特殊點，故在美國亦名曰縱桁法。導坑既經開挖，其底部宜

設一木梁及直柱多枚，然後繼續進行其他部分。有時於截面底挖一小坑，以利排水。

123. 此法在應用之上要點

一，地質 適用於堅硬白堊，粘土，頁岩，沙岩等土質。

二，支撐工 如圖 48 所示。

三，襯砌工 先築仰拱，由下而上，末築頂拱；開掘工作每進 12 呎至 20 呎，即築襯砌工一次，故全部襯砌工，實為由 12 呎至 20 呎之環形圻工所連成。襯砌頂拱之先，須置拱膽，抽去各縱桁，其空隙部分實以圻工。

四，泥土之裝運 仰拱上設運輸軌道以運輸泥土。

五，優點 此法因係全截面挖成，然後由底至頂之襯砌工，一氣造成，故工程堅固，又因坑底平坦，運土出坑，既無崎嶇之不便，又無轉車之煩勞。

六，劣點 各工程進行同在一處，挖掘工作，支撐工及襯砌工，輪流工作，不免遲慢，若添築坑井調劑，則工人不致互相守候。又襯砌工隨挖隨築，圪工甫凝，須築撐架承托，以免扭變。

第 9 節 ⁽⁵⁰³⁾ 美國法或冠木法

124. 開鑿之程序與方法 此法與英國法相似，惟襯砌工與開鑿工作進行之時間，相隔甚遠。開鑿之程序如



圖 49 美國法 入，是為支撐工之主要部分，故此法亦名冠木法。

125. 此法在應用上之要點

一，地質 此法適用於較為堅硬之泥土中，即在岩石中間亦可用之，惟支撐工可稍簡單。

二，支撐工 支撐頂部之支撐工，可暫用輻射式之上部形式，待截面之底部挖去後，即用木塊拱式支撐，以免妨礙其他工作之進行。

三，優劣點 此法之優點當為避免挖掘工與襯砌工之阻礙，而襯砌工一氣完成在後，工程可較堅固。惟此法之支撐工費用較鉅，是為美中不足之事。

第 10 節 ⁽⁵⁰⁴⁾ 奧國法

129. 開鑿之程序與方法 ⁽⁵⁰⁵⁾ 此法最初在 1837 年用於奧國奧部羅隧道；與英國法頗為相似，即全截面全部開挖，圪土亦由兩壁底部向上築至頂拱，惟相異點有二：一為仰拱最後築成，二為先開小孔，挖掘工作繼續進行，不若英國法之與襯砌工，輪流交換工作也。

此法之開鑿程序如圖 50 所示，其變相亦多。最初挖去中部之底設導坑 1，高約截面之半，延長 12 呎至 20 呎，隨即開挖同長之頂設導坑 2，然後挖去中央部分 3，形成一狹長甬道。再行擴坑工作，開掘其他部分。

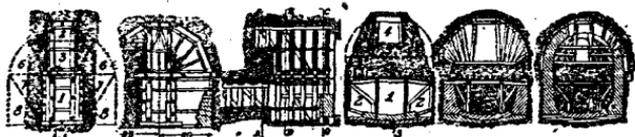


圖 50 奧國法

圖 51 意國法

127. 此法在應用上之要點

一，地質 適合軟土；岩石中亦有用之。

二，支撐工與襯砌工 支撐工如圖所示，GG 面之擴坑，先築木塊拱式支撐，抵住四周之擋土板，然後用板梁式或輻射式築成之。據奧國著名工程師李榮氏⁽⁴³⁵⁾之意見，可將 CC 部分之襯砌工隨即築成，由下而上，其離開掘面僅 10 呎至 20 呎，而使支撐工可承托於襯砌工之上。如此則支撐工之堅強，可以增加，工作可自各處進行，惜所費稍昂耳。

三，優點 此法多挖導坑，隨即裝頂，建築支撐，四圍泥土不致牽動。頂部支撐工易裝，能受四面均勻之重壓。又拱壁由腳結起，完成整個之建築，能禦危險之壓力。

四，劣點 除底部之壓力與側壓可以抵禦外，因仰拱最後完成，故遇有不均勻之重壓，支撐工容易扭變，各襯砌工亦易逼而生變。

第 11 節 ⁽⁵⁰⁶⁾ 意國法

128. 開鑿程序與方法 此法最初用於意國之克里斯丁那隧道

⁽⁵⁰⁷⁾道，故亦名克里斯丁那法，最適於鬆軟之劣質泥土；其開鑿程序如圖 51 所示。最初開挖底設導坑，漸加擴坑，築成仰拱及兩側壁，隨即將部分 2 用土填入，繼則開挖頂設導坑 4，擴坑及 5，6；5 之兩

側稍斜，以期減少泥土之傾瀉，並利用輻射式支撐工之設置。頂部既已開挖，即可用圻工襯砌，並在 7 之兩側挖孔與下部已成之襯砌工相連。襯砌工完成，7 之留下部分及 2 之填土即可移去。襯砌工須隨挖隨築，其與開挖面之距離不宜超過 6 呎至 10 呎。

129. 此法在應用上之要點

一，地質 適合於鬆軟之劣質泥土。

二，支撐工及襯砌工 如圖所示。

三，優劣點 此法之優點在於分兩截挖築，遇最惡之泥土，亦不致失敗。其劣點為費用浩大，而其應用祇限於惡劣泥土中及其他方法不適用之處耳。

第 12 節 山岳隧道之其他開鑿方法

130. 先進坑孔法⁽⁵⁰³⁾ 此法係在原隧道之側，另掘平行之先進坑孔，及至相當深度之適當地點，兩者之間，開一聯絡坑道以貫通之。此先進坑孔之功用，乃為便利運輸，排水及通風起見而設也。此法適合於岩石隧道，因岩石碎片之運出，爆炸後空氣之流通，機械之運用，均可獲其便利。至於隧道之本身，則在截面中央先開一導坑⁽⁵⁰⁴⁾（故此法亦名中央導坑法），在此導坑中用鑿岩機向四壁鑿輻射形之鑽孔多枚，實行爆炸，此種爆炸法謂之環狀爆炸法⁽⁵¹⁰⁾。新普倫隧道，洛吉斯隧道，摩發特隧道，新喀斯喀德⁽⁵¹¹⁾隧道中均曾用之。此法中之先進坑孔，亦有自隧道之一側開入與隧道軸成一角度者，我國隴海鐵路之潼關隧道開掘時，其臨黃河之一側即鑿有此項坑孔，以便將泥石運出注入黃河之側岸上。

131. 底設導坑專進法⁽⁵¹²⁾ 此法用於岩石中，先掘底設導坑，再行環狀爆炸法爆炸之，日本之丹那隧道之一部及真那板山⁽⁵¹³⁾隧道，均曾用之。

132. 針梁式⁽⁵¹⁴⁾ 此式適用於柔軟地質，為平台法之變相，四周之土壓乃用輻射形之針梁自中央部分射出以抗禦之，四壁再用壁板式之支撐工。克利夫蘭⁽⁵¹⁵⁾隧道及摩發特隧道之一部曾用此法。

第 13 節 負土較淺之隧道開鑿方法

133. 概說 此種負土較淺之隧道，多屬城市中之地下鐵道，污水隧道及近郊之虹吸隧道，輸水隧道等。此種隧道如依前述之比國法開掘，亦頗適用，本節所述者為其他更佳而通用之方法。

134. 開壕法⁽⁵¹⁶⁾ 此法係沿隧道中心之地面，用人工或機械開掘一明壕，壕內建築隧道或放入已成之污水或輸水管渠，然後再用泥土填覆，即告完成。但依地面及四圍之地形狀況及泥土之性質而言，復有後述三種方式：

一，自然式⁽⁵¹⁷⁾ 此法最為簡單，開掘明壕，使兩側泥土成自然之靜止角坡度，隧道築成，即行填覆，多用以開掘都市近郊或野外負土較淺之污水隧道及輸水隧道。

二，支撐式⁽⁵¹⁸⁾ 此法與前式同，惟泥土兩側，用板樁式支撐工抵住，使之壁立。城市中之街道，兩側狹小，宜用此法，若用自然式，則不僅壕口遼闊，有礙交通，且有牽動兩側泥土，使附近建築物易生傾斜之虞。美國紐約市之東岸開掘污水隧道時，用 H 形鐵樁與列板支撐四側泥土。⁽⁵¹⁹⁾ H 形鐵樁之採用，取其截面係數較高，而槽內又可用真空唧筒吸取地下水也，



圖 52
排水開壕法

三，排水式⁽⁵²⁰⁾ 此法係用於地下水較多之沙層（流沙）中。其特別之點為加設抽水管，如圖 52 所示，此種抽水管係為尖端鐵管，四壁張有金屬細網以便吸水。地下水位一經抽吸，即行降低，形成拋物線，其形狀如圖 52 所示，可用下式表示之。

$$y^2 = \frac{2Q}{K}x + h^2$$

式中 x, y = 地下水之坐標； h = 透水度（米/日）；
 Q = 抽水量（立方米/日）； K = 抽水鐵管中之水深（米）。

至於所用之抽水唧筒，種類甚多，最普通者有：

- 一，手提直接唧筒⁽⁵²¹⁾；二，橫隔膜唧筒⁽⁵²²⁾；

三，蒸汽吸水管⁽⁵²³⁾；五，離心力唧筒⁽⁵²⁴⁾。

135. 被覆開壕法⁽⁵²⁵⁾ 熱鬧都市中，為免除交通之阻礙起見，乃用此法。且隧道深度之小於30呎者，尤為經濟。即在夜間，於短促之時間內開掘明壕隨即用木板，桁架等築成暫時路面，可以便利交通，同時在壕內亦可隨即進行隧道之建築工作。兩側須用堅固之支撐工以防泥土之傾壓，附近之建築物，亦須用完善之基礎接替法。其他方法與開壕法相同。

136. 中央先進法⁽⁵²⁶⁾ 此法多用以開掘軟泥中之污水隧道。1892年紐約之布魯克林污水隧道⁽⁵²⁷⁾曾用之。此法係沿工作路線之適當地面上，開坑井多處，以便運輸與開挖。在隧道截面中央，設一直徑約6呎之小型組合鐵管，此鐵管由滾壓氣鍋鐵板，四周用鋼釘接合，配以角鐵而成，各板復用栓釘繫住角鐵以連接之。組合鐵管每次前進約30呎，然後挖去四周之泥土，並用輻射狀鐵梁自鐵管外壁射出，抵住四壁擋土鐵板。待環形磚砌襯砌工完成後，始行拆卸。

137. 盾構法 見第十章盾構隧道。

第14節 水底隧道建築法

138. 概說 水底隧道建築所用之原理，亦適用於含水飽和之土壤或流沙中之隧道建築。此種工程上最難之處，在布置隧道底面以前之排水，其壁劃極須謹慎周詳。而以後所述各法之選擇，更須根據下列各點而決定之：一，水面之交通以及其他可以利用之情形；二，水面之廣闊；三，水之深度；四，水流速度；五，水底地形；六，水底地質。

* 139. 圍堰法⁽⁵²⁸⁾ 此法所築阻水之壁謂之圍堰，抽去其中之水，則可於其內部建築隧道，隧道既成，即將圍堰拆除。此法僅可施於堰底地層不能透水之處，若滲水稍多，即難排水。隧道在水面下愈深，則此法愈難使用。

圍堰造法不一，普通有下述數種：

一，土堰法⁽⁵²⁹⁾ 此法最為簡單，僅在不流動之淺水中，用粘土

及礫石築成土堰，已足阻水；如水尚有流動，可將粘土及礫石裝入麻袋，疊袋成堤，亦可防止。

二，板樁法⁽⁵³⁰⁾ 遇水稍深，不宜應用上法，則可用木製或鐵製板樁，打入水中，約一排或二排之數，而外面堆積粘土，以防漏水。若水較深，則須用威克飛爾德式木製板樁或標準式鋼板樁，將其下端打至隧道底面下 2 呎至 4 呎處，方可避免漏水。此種板樁更須有嚴密設計及完善之支撐工作為承托。

三，土心牆法⁽⁵³²⁾ 此法乃用板樁二排，距離相隔少許，其間實以泥土石塊，即成一土心牆，牆愈闊，填土愈實，則擋水力亦愈強。隧道兩側各建一座，並用撐木支之。

四，木箱法⁽⁵³³⁾ 此法乃用木柱木梁作成框架，外面更用企口板掩護而成木箱；亦有用方木料上下交疊，用擴孔桿釘聯接以成者。木料間之縫隙，可於構造時置入水泥漿膠合，或於木箱完成後，另用麻絲填嵌。木箱在岸上造就後，引入水中適當之地位，將石塊權作荷重，堆積於其表面，令其受壓下沉。欲使箱底不透水起見，可於其外打板樁或張以帆布，帆布之上面邊緣可釘於木箱之外側，其下面邊緣，可攤在河底，以石塊鎮壓之。

圍堰法最適於航運較稀，水量甚少之河流中。其缺點甚多：圍堰之工價頗難估計，而工程進行時之阻礙亦不易預料，且易受流水冲刷之損，復時有漏水之虞。若漏水較少，雖可用唧筒抽去，惟徒增工作之費用耳。

140. 沈埋法⁽⁵³⁴⁾ 此法為 1896 年尉門氏所創，係將隧道分段於岸上建築完成，然後依次沈入水底，互相連接。惟隧道沈入時，工程較為困難。須用強力之起重機提取沈入河底之適當淺壕中，河底淺壕，係於事先挖就底部打有木樁多枚，以備承托隧道。美國阿拉美達市之波壽管隧道即用此法。所謂波壽管者為鋼筋混凝土所製，內徑約 32 呎，長 116 呎為一段。

141. 氣壓沈箱法⁽⁵³⁷⁾ 此法最初為溫克爾教授所用，在多瑙河下掘一連通維也納至其他各處之地上鐵路。沈箱係為金屬板及角鐵

用帽釘接合之結構物。沈箱在岸上造就，用船載運至河中適當地點，垂直沈入水中，沈箱中部築有坑井謂之氣井，下通氣室，中有鐵梯，乃工人升降出入之路。氣井中設氣閘，將氣井分爲上下兩段。下段注入壓縮空氣不使漏氣，則沈箱底部之水乃不致侵入，工人乃可在其中，挖掘泥土，使沈箱逐漸沈入土中，至適當地位爲止。沈箱另有送入材料，壓縮空氣之通路，並輸出泥沙之管，至於壓縮空氣之應用原理，則與下章所述之盾構隧道中所用者同。用此法開鑿之著名者有美國紐約之哈倫河⁽⁵⁴⁰⁾隧道。

142. 盾構法⁽⁵⁴¹⁾ 此法爲近代各大水底隧道之通行開鑿法，甚關重要，於另章再行詳述。

第十章 盾構隧道

第 1 節 概說

143. 盾構隧道之史略 盾構隧道之建築，實使近代隧道工程放一異彩，凡世界之著名水底隧道，大都屬於此類。其發明之經過，頗有足述者：法人白魯納爾氏⁽⁵⁴²⁾，生於 1769 年，早年負笈英美，專攻工程之學；嘗觀鑿船蟲之蛀蝕船木，其頭部具有鑽孔器官，鑿木成孔，其身體復能分泌液汁，塗抹孔壁，製成一不透水之堅殼。據此原理，白氏乃利用機械之方法，創製一所謂盾構者，以供開鑿水底隧道之用。白氏之計劃於 1818 年獲得專利，其設計之盾構，無異一機械式之鑿船蟲也，其式爲一鐵製圓筒，前端裝一割土器，藉割土器之旋轉，割挖泥土，圓筒隨即前進；嗣後經多方面之改進，乃裝用水力推進器⁽⁵⁴³⁾，蜂房組織以及圓筒形鐵製襯砌等，謂之白氏盾構⁽⁵⁴⁴⁾。此項盾構雖屬粗簡，然已啓近代新式盾構之端倪矣。白氏盾構最初用以開鑿英國倫敦泰晤士河⁽⁵⁴⁵⁾下之隧道，於 1825 年興工，於 1843 年完成，隧道之開掘以前，英國工程師視爲畏途，但卒以白氏盾構而獲告成，豈非受白氏之賜歟？亦可謂得鑿船蟲之賜也。第二盾構

乃於 1869 年興工，築於倫敦泰晤士河下，歷一年完成，此為工程師巴羅氏⁽⁵⁴⁶⁾藉包工人格萊海特氏⁽⁵⁴⁷⁾之合作之力也。所用之盾構已加改良，謂之巴氏盾構，其特點為：建築一完整之盾構，利用壓縮空氣及橫隔膜，俾可補救流水之侵入；又用水泥漿射入襯砌工後側之空隙中，以增加其強度，此時也，美國俾赤氏乃創俾氏盾構⁽⁵⁴⁹⁾，係用木製圓筒及鐵製割土器，曾用以開掘百老威氣壓地下鐵路隧道，辛辛那提隧道，及克利夫蘭隧道；但因缺少垂直之支撐，及挖掘面之擋土設備，辛辛那提隧道⁽⁵⁵¹⁾位於極劣土質中，受壓成癟，卒告廢棄。自此以後，各式盾構隧道乃接踵而起矣。

144. 種類 據萊哥士氏⁽⁵⁵²⁾所著關於盾構隧道之書中稱，依地質之不同，盾構可分三種。第一種為堅韌穩固泥土中之盾構，第二種為軟土流動泥中之盾構，第三種為最劣而不穩固泥土中之盾構。倫敦塔隧道，滑鐵盧雪的隧道，格拉斯哥區地道，巴黎克利犀虹吸隧道，及康科特隧道，格拉斯哥港隧道等所用之盾構均屬第一類；聖克來河隧道，布拉克衛爾隧道，裘而西隧道，哈得松隧道，東河隧道等所用之盾構均屬第二類；巴黎克利犀隧道之半橢圓形盾構，波士頓地下隧道之半圓形盾構均屬第三類，此類盾構亦名道頂盾構⁽⁵⁵⁵⁾。普勒林尼氏曾創普氏盾構⁽⁵⁵⁶⁾，為一新式設計，係為兩端相疊之兩盾構組成，此兩盾構用附於二橫隔膜上之水力起重器連接之。且設一安全室，遇有危險，工作人員可以逸出，室中壓力可隨意增減；因盾構不能旋轉，故可製成各種形式以適應之。普通盾構因構造之不同，可分下述三種：

一、普通盾構式

二、道頂盾構式⁽⁵⁵⁷⁾ 即隧道之頂部用一盾構與前述第三種相同。

三、壓縮空氣盾構式⁽⁵⁵⁸⁾ 即普通盾構式之充有壓縮空氣以抗外力，防止泥沙流水之侵入者。

145. 盾構隧道之各部名稱 盾構隧道之各部名稱，如圖 53 所示。

第2節 盾構之構造

146. 隔板 隔板之功用有二，一為支撐盾殼，一為保護導坑開挖面。乾燥地層中所用之隔板為圓形鋼板，設於切口之後，中開一門，專供工人之進出及泥土之運輸。門之四周，均加釘鋼條鋼板以增其強度，且挖土工作暫行停頓時，可用木條堵塞，以防盾構前端泥土之侵入。含水地層中

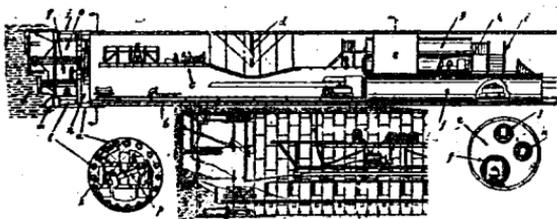


圖 53 盾構隧道說明圖(559)

- | | | |
|---------|--------|--------|
| a. 盾構本身 | b. 襯砌環 | c. 工作台 |
| d. 安全簾 | e. 隔牆 | f. 材料間 |
| g. 太平間 | h. 人行間 | i. 通路 |
| j. 盾殼 | k. 隔板 | l. 推進器 |
| m. 切口 | n. 盾尾 | o. 盾腹 |
| p. 舉重器 | q. 工作室 | |

圖 54 盾構詳圖

所用之隔板，可分為上下兩部構成一防水活門，上部在前，下部在後，兩者相距約3呎，接合處交疊6吋，遇有流水侵入，則下部緊閉，上部可以開啓，為工人逃避之所，其相互之佈置，須視工作室之分配而定。

147. 推進器⁽⁵⁵⁹⁾ 推進器係藉水力之作用，及後部襯砌工之承托，向前推進，其所克服之力即阻止盾構前進之力，約可分為下述三者：一、地層與盾殼之摩擦力；二、盾尾中襯砌工與盾殼之摩擦力；三、盾構前端地層之阻力。

事實上，在岩石層中盾構前端之泥土早經挖去，其阻力自當消失；而一二兩項之摩擦力雖小，然尚可作為推進力之估計。若在流動泥層中，則人工開挖時，須用木棍撐土，機械開掘時，盾構前端須受阻力，故推進器之推力遠較石層中為大也。含水地層中之地下水及泥沙，難用人工挖去，均須藉推進器之推力，推動盾構前進。表32所載，即示近世著名盾構隧道中推進器之推力與水頭之情形。推進

器須支持於後面之襯砌環上，置於盾尾之四周，以靠近襯砌邊緣為原則，各推進器之位置又須平均分配於兩側，形成對稱狀態；在流動泥土之地層中，下部截面之推進器數常較上部為多。盾構每藉推進器之力推進一次後，推進器即行縮入盾腹前之匣狀桁中，俾可騰出工作之空間，但因推進器之進縮構造不同，又可分下述三種：

一、⁽⁵⁶¹⁾唧筒式；二、⁽⁵⁶²⁾單動式；三、⁽⁵⁶³⁾備有補助唧筒之單動式。

唧筒式中之唧筒，可使推進器能自由進退，最為便利，惜遇機械發生障礙時即不易修理。單動式推進器雖易於調整，不生前式之困難，惟其退縮時，須先將內部之水自泄水孔中洩出，並用工人拉回，而使工作稍感不便。故最近所用者，多為第三式。第三式推進器，備有推進器兩具，前進時用主要唧筒，後退時用補助唧筒，所費雖昂，得利甚多。

推進器通常承托於襯砌環之邊緣上，為求平均分配壓力計，乃附之於推進板上，而後者又應着力於襯砌面之邊緣；如是襯砌環雖可避免壓碎，但推進器之唧筒，亦有因此而生彎曲應力者，故於設計時不可不注意及之。又在隧道轉彎時，盾構之軸每與襯砌工之軸構成相當之角度，以致推進時不能將推力平均分配於襯砌工之邊緣上，故為免除此種情形計，則推進板可改為一⁽⁵⁶⁴⁾多納式圓球形者以代之。推進器與後襯砌環間之空隙，宜置一灰漿板，以防襯砌灰漿之流入。

每一推進器上必須通有水管兩枚，一與主要唧筒相連，一與補助唧筒相連，以供調節水壓之用，水管為鋼鐵製成以防生銹，各水管活門之裝置，須以不妨礙工作，不易碰撞及控制簡便為原則。

148. 切口 ⁽⁵⁶⁷⁾ 切口之功用為切割泥土之用，為盾構最前之固定部分，由一三角形之構造鋼彎曲製成，因其所受泥石之阻力最大，故設計時宜力求其堅固，以免被阻礙物所破壞；切口尖端以鑄鐵或鋼製之，其與盾構之接合，必須完善，且須易於更換，切口之長度平均約為四呎。

149. 盾尾 ⁽⁵⁶⁸⁾ 盾尾為盾構之末端盾殼之一部，其四周設有凸出

表 32 推進器之壓力

隧道名稱 ⁽⁵⁵⁶⁾	推進器		水頭 ⁽⁵⁶⁵⁾		截面壓力 每平方 尺磅數
	個數	直徑(吋)	磅/平方吋	總壓力(噸)	
1底河污水道	6	6½	2240	225	7500
2麥而西	10	7	4000	775	18700
3哈瓦那污水道	8	5	5000	397	9000
4累文斯伍德	12	5	5000	595	12400
5基爾運河	10	—	—	600	12000
6克里夫蘭	12	9	3000	1135	19800
7格拉斯哥區	6	6½	1000	100	1700
8中央倫敦	6	7	1600	185	2900
9格林尼治	13	7	3400	850	12800
10加文怒斯	14	8½	3500	1400	16100
11巴特來	14	8	5000	1750	15500
12格拉斯哥港	13	7	1000	250	2100
13奧爾德斯利泊	17	8	5000	2125	16700
14紐約第14街	17	8	5000	2125	15900
15白宮	17	8	5000	2125	15800
16紐約第60街	20	8	5000	2500	18400
17該育蘇路	16	7½	5000	1760	10400
18哈得松	16	8	4000	1600	11400
19羅漫士路	24	5¾	3500	1100	6900
20薩尼亞	24	8	3000	1800	10000
21P.R.R. 哈得松鐵道	24	8½	5000	3300	15200
22P.R.R. 東河鐵路	27	9	5000	3850	17500
23多却斯得	27	8	5000	3000	12900
24康科特市	27	8½	5000	3830	14300
25布拉克華爾	{ 28 6	{ 8 10	6100	5785	19200
26洛忒赫	40	9	6000	6700	18100
27厄爾謨	20	—	—	—	11800

之線紋一周，嵌入地層以防漏洩泥水與空氣，至盾尾之長度則須視襯砌環之長度而定，俾盾尾內能建襯砌環一道，並能容納推進器。較大之隧道，其盾尾之長度，有長約三四倍於襯砌環之闊度，一則可以防止漏洩泥水與空氣，一則可以更換損壞之推進器，使無漏氣等之危險；但盾尾為盾構中之最弱部分，不宜過長，較長之盾尾若經損壞，不易修理，且有礙盾構之轉向。盾尾與其他盾殼部分，皆由鋼板捲成，其設計之應力，須足以抵擋地層之壓力，而接縫處宜用電銲。

150. 盾腹 ⁽⁵⁶⁹⁾ 盾腹之構造為一筒形之襯砌環，安置於盾構中部，固着於盾構上襯砌邊緣之前，即為隔板。襯砌與盾殼間之空隙，須實以硬木，權充推進器之着力點，其對面另一邊緣，須砌成一孔，以利推進器之伸縮，其結構以愈堅固為愈佳。較大之盾構，其設計原則相同，⁽⁵⁷⁰⁾ 僅多胸撐而已。

鞏固盾腹襯砌環所用之構造鋼，其布置為兩組環形鋼板襯砌與盾殼相連，⁽⁵⁶⁰⁾ 環中用數條鋼板以支持匣狀桁，匣狀桁為構成窩藏推進器之用，並作抵擋切口傳來之壓力。

匣狀桁之功用，既為窩藏推進器，故其容量應較推進器之尺寸為大，因須減少摩擦，其長度亦當視推進器之長度而變更。推進器除唧筒外，在正常狀態下，應全部藏入匣狀桁中。推進器中之推力，經匣狀桁後之襯砌邊緣，以至盾殼，其間之連結，應格外加強以防脫落，故在設計時，宜就其最大之推力而定其連結，此外，司盾工人不可以粗暴行動控制盾構，否則連結工仍有被毀之虞。

151. 舉重器 ⁽⁵⁷¹⁾ 舉重器係用以扛舉襯砌環至襯砌地位之用，其位置宜在盾尾之中心；其種類有雙臂式與單臂式之分，前者實具單臂式舉重器兩枚，分置於盾尾左右兩側支柱之上，其優點為增加襯砌環建築之速率，每一舉重器之長度，應較盾構直徑稍大。後者(單臂式)須能旋轉 360 度，應用雖較簡單，惟工作速率則較遜耳。舉重器之主要構造，可分兩大部分，即為舉重器之旋轉機械及舉重臂是也。舉重器之旋轉機械，係由單動式水力推進器工具及滑

車，車鏈等，其位置應以不妨礙盾構之運輸工作為原則，普通均安置於盾腹之隔板上或工作台之底部。舉重臂之形式有如長方形之鐵盒，其活動恰如時計之指針，可依水平中心軸而旋轉，且其長度及軸心位置均可自由伸縮及進退。舉重臂之工作，為攝取材料車中之襯砌材料，以待送至四周之襯砌建築地位；其一端為舉重鉗⁽⁵⁷³⁾，另端為平衡錘⁽⁵⁷⁴⁾。舉重鉗備有一鐵棒，用以插入襯砌環之螺旋孔，以備鉗舉之用，平衡錘則用以減少偶力力矩也。

152. 導圈⁽⁵⁷⁵⁾ 導圈為盾殼向前引伸之部份，可謂切口之一部，其形式有二：一為等長，一為上長下短略成坡形，前者可用於淤泥地層，其功用為省去支撐，後者可用於上為淤泥下為石層之地層中，上部之泥土應先開掘，而後以導圈支撐其空間，使對於下部石層之爆發不生影響，總之在性質不均勻之地層中，宜用導圈以利工作。導圈之能自由伸縮者謂之伸縮式導圈，係由幾組鋼板圍繞而成，該板與盾腹相連，能一一依次向前伸展，深入地層，而後將套入導圈之泥石掘出，盾構前移，使此導圈逐漸縮入盾腹。當盾構轉彎時，不宜使用導圈，因此時導圈之伸出，每易遭受地層之扭毀也。

153. 前推進器⁽⁵⁷⁶⁾ 前推進器之應用為盾構中支持導坑面最佳之方法，該器為單動式之唧筒，平置於切口上，可以前後推動，當盾構前移時，前推進器之壓力雖不減少，但被後推進器之高壓推動而縮入切口中，推動器之衝程，應等於一襯砌環之闊度。推進器之唧筒皆安置於工作台之底部。

154. 百葉窗式蓋板⁽⁵⁷⁷⁾ 在砂礫地層中，導坑前之挖泥面，極不穩定，宜用百葉窗式蓋板支持之，百葉窗以角鐵及鋼板製成，高18"，闊等於運泥窗之闊，能沿槽形鋼槽而旋轉，待盾構移動完畢，即行旋轉旋上，先開上部百葉窗，開掘畢即行關閉，隨開上部百葉窗掘之。百葉窗之總面積，約佔盾構截面之60%，其餘皆為不活動之鋼板。

155. 開鑿機⁽⁵⁷⁸⁾ 若隧道所經之地質，均勻不變，則宜採用機械開掘法，以省時間，所用之開鑿機設於盾構之前端，茲述數種於後：

(579)
一、湯姆孫式 此機係 1897 年為湯姆孫氏所發明，機身與盾構分設，由一串鏈狀戽斗連成，其移轉與軸之前後進退，均由電力控制，惟僅適用於較小之隧道中。

(580)
二、約翰浦休斯式 此式係開鑿機與盾構合設，因開掘效力甚大，故適用於較大隧道中，其構造複雜，係利用電力推動一開掘壁，後者具一戽斗，開掘之泥土，即經戽斗轉卸於盾尾之泥土運輸車中。

(581)
三、卡盆特式及安得孫式 此兩式均僅適用於堅固之地層中。

第 3 節 盾構之直徑與長度

156. 盾構之直徑 盾殼之外徑，須視襯砌環直徑之大小而定，因襯砌環皆建築於盾尾故也。在盾殼與襯砌環間，須稍留空隙，以便襯砌之建築，或作變更盾構方向之用，盾構之變更方向，不僅在曲線中有之，即在直線上盾構之導程亦可藉此空隙而謀補救，盾構之導程應視襯砌環直徑之大小而定。

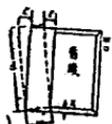


圖 55
盾構活動所需之空隙

若 l = 導程； d = 襯砌環直徑； m = 襯砌與盾尾接觸之距離；

$$\text{則最小空隙 } x = \frac{ml}{d} \quad (\text{平均導程爲 } l = \frac{d}{80})$$

上式僅可作參考之用，事實上， x 值皆較計算所得為大，以便襯砌之建築。至襯砌與盾殼間之空隙，其值可於表 33 中參考而得，其平均間隔，約等於襯砌環外徑之百分之 0.8，換言之，盾尾內徑應等於 $1.008 \times$ 襯砌環外徑。表中復示大型盾構開掘體積多於襯砌截面長之數，其平均值為 $4\frac{1}{2}\%$ 。盾殼與襯砌間之空隙，足以增加開掘面及填料之消耗，又此種空隙復成為漏氣之要害，故空隙在可能範圍內，宜盡量減小。若襯砌面光滑，開掘面之阻力甚小，而曲線不長，則此項空隙可小於 0.8%。

表 33 近世已成隧道之盾尾內徑與襯砌外徑間之空隙

隧道名稱(583)	襯砌環外徑	盾尾外徑	盾殼厚度	盾尾內徑	空隙	空隙 襯砌外徑 %	加增之開掘 直徑 襯砌環外徑 %
1麥爾西	10'0"	10'3"	$\frac{3}{4}$ "	10'1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	1.25	5.06
2累文斯伍德	10'10"	11'3 $\frac{1}{4}$ "	$\frac{7}{8}$ "	10'11"	1"	0.77	4.28
3格拉斯哥區	12'0"	12'2 $\frac{1}{2}$ "	$\frac{1}{2}$ "	12'1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	1.04	3.50
4黎	12'3 $\frac{1}{2}$ "	12'7"	1"	12'5"	1 $\frac{1}{2}$ "	1.02	4.62
5中央倫敦	12'6"	12'8"	$\frac{1}{2}$ "	12'7"	1"	0.67	2.68
6格林尼治	12'9"	13'0"	1"	12'10"	1"	0.65	3.96
7培克爾街	12'9 $\frac{3}{4}$ "	13'0"	$\frac{1}{2}$ "	12'11"	1 $\frac{1}{4}$ "	0.81	2.95
8巴特來	16'8 $\frac{1}{2}$ "	16'11 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{3}{8}$ "	16'9"	$\frac{1}{2}$ "	0.25	2.76
9史丹會	16'10"	17'3"	1 $\frac{1}{2}$ "	17'0"	2"	0.99	5.01
10格拉斯哥港	17'0"	17'3"	1"	17'1"	1"	0.49	2.96
11奧爾得斯利泊	17'6"	18'0"	2 $\frac{1}{4}$ "	17'7 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	0.71	5.80
12紐約第14街	18'0"	18'5 $\frac{1}{2}$ "	2"	18'1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	0.69	5.16
13白宮	18'0"	18'6"	2 $\frac{1}{4}$ "	18'1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	0.69	5.63
14紐約第60街	18'0"	18'6 $\frac{7}{8}$ "	2 $\frac{7}{16}$ "	18'2"	2"	0.92	5.63
15哈得松	19'6"	19'11"	1 $\frac{1}{4}$ "	19'8 $\frac{1}{2}$ "	2 $\frac{1}{2}$ "	1.07	4.32
16 P.R.R. 哈得 松鐵道	23'0"	23'6 $\frac{1}{4}$ "	2 $\frac{1}{8}$ "	23'2"	2"	0.72	4.58
17 P.R.R. 東河	23'0"	23'6 $\frac{1}{2}$ "	2 $\frac{1}{4}$ "	23'2"	2"	0.72	4.77
18康科特市	25'6"	26'1"	2 $\frac{1}{4}$ "	25'8 $\frac{1}{2}$ "	2 $\frac{1}{2}$ "	0.82	4.52
19布拉克華爾	27'0"	27'8"	2 $\frac{1}{2}$ "	27'3"	3"	0.92	4.99
20洛忒赫	30'0"	30'8"	2 $\frac{1}{4}$ "	30'3 $\frac{1}{2}$ "	3 $\frac{1}{2}$ "	0.97	4.49

平均數 = 0.81

4.44

157. 盾構之長度
 度 盾構之長度，
 等於切口，盾腹，及
 盾尾長度之總和，
 長度與其直徑之比
 例愈小，則盾構之
 構造愈易，普通之
 比例皆在 0.75 以

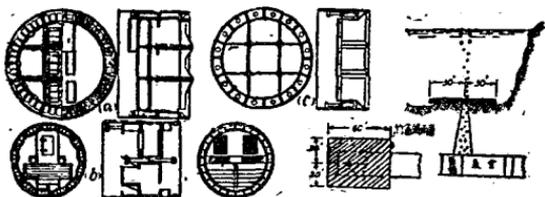


圖56 東河隧道之盾構(a)，格林尼治隧道之盾構(b)，哈得松隧道之盾構(c)。(534)

圖57 漏氣填土法(最右)

下,表 34 即示各已成隧道之長度與直徑比例之一斑。

表 34 盾構之直徑與長度

隧 道 名 稱 ⁽⁵⁸⁵⁾	盾構長度(呎)	盾構直徑(呎)	長/直徑
1西河街	9.00	7.00	1.29
2底河污水	6.81	8.71	0.78
3密斯曲里克	4.50	9.00	0.50
4麥爾西	11.58	10.25	1.13
5哈瓦那污水道	7.96	10.58	0.75
6累文斯伍德	7.20	11.06	0.65
7基爾運河	11.20	11.33	0.78
8市區與南部倫敦	6.50	11.42	0.57
9克利夫蘭新取水道	15.08	12.13	1.24
10格拉斯哥區	6.42	12.20	0.53
11黎	11.50	12.31	0.94
12中央倫敦	7.04	12.67	0.56
13格林尼治	13.58	13.00	1.04
14培克耳街	9.71	13.00	0.75
15加文怒斯	15.00	14.87	1.01
16巴特來	9.50	16.98	0.56
17史丹會	11.75	17.25	0.68
18格拉斯哥港	8.50	17.25	0.49
19奧爾德斯利泊	16.33	18.04	0.91
20紐約第14街	15.31	18.46	0.83
21白宮	16.33	18.50	0.88
22紐約第60街	16.06	18.57	0.87
23該育蘇路	9.00	19.83	0.45
24哈得松	10.50	19.92	0.53
25羅凌土路	11.33	20.16	0.56
26薩尼亞	15.25	21.50	0.71
27P. R. R. 哈得松鐵道	15.92	23.52	0.68
28P. R. R. 東河鐵路	18.00	23.54	0.77
29多却斯得	12.50	24.37	0.52

30康科特市	14.96	26.08	0.58
31布拉克華爾	19.50	27.67	0.71
32布拉克華爾	18.00	30.67	0.59
33厄爾邁	14.00	35.58	0.39
34荷蘭車道	18.83	30.17	0.63

第4節 盾構隧道之開鑿

158. 開鑿之基本原則 開鑿盾構隧道之基本原則有二：

一、盾構前進之速度，應以不影響隧道內及地面附近建築物之安全為基本原則，故盾構須有佳良之設計，精明幹練之工隊及完美工廠之設立，始克臻此。

二、開掘面之工作須能隨時加以控制，換言之，即除將盾構前端之泥石須加挖去外，其餘地層皆不應走動，苟遇困難，工程師須隨時隨地謀得安全應付之策。

159. 岩石層之開鑿 岩石層中遇有後述各種情形者，均宜採用盾構法。

一、隧道前段之地層為岩石層，中段為鬆土或含水地層。

二、各段岩石層中嵌有數段含水地層。

三、首尾兩段為淤泥，中央一段為岩石。

開鑿之初步為爆炸盾構前端之岩石，爆炸時宜用木板掩罩石面，以防碎石飛散，擊毀盾構，爆炸完畢後，導坑四周，若有岩石突出，須用斧錘將其除去，以便盾構之前進。若隧道之截面甚大，則宜將盾構設上中下三層之工作台，分部開掘，或分為頂設導坑與底設導坑兩部，先後開掘之。

160. 乾燥泥土層中之開鑿 ⁽⁵⁸⁶⁾倫敦泥土，質地均勻密緻，色呈藍黑或灰白，不易透水，為乾燥泥土之佳例。此種地層中實無須盾構及壓縮空氣之必要，但當隧道通過建築物之底部時，或為防禦不測計，則宜採用盾構。最初在盾構前端掘一深約6~7呎，闊約4~5呎，高約7~8呎之導坑，其中設4吋闊之木樑支架。另用長約3呎，

粗約4吋之尖形木棒數枚，以粗端抵擱於盾腹隔板之上，尖端前伸深入泥層之中，當盾構前進時，移去木框支架，木棒即被前推，將泥石軋碎，如是開掘，每較工人之開掘為快。若用機械開掘，更可增加速率，惟費用昂貴耳。

161. 含水地層及沙礫地層中之開鑿 水底隧道所經地層，遇有含水地層及砂礫地層時，宜採用壓縮空氣及盾構法，壓縮空氣之功用，在排除侵入之地下水，並將泥石壓緊，使成為不透水之地層，若泥土之內聚力甚強，則可採用前述開掘倫敦泥之方法。若泥土之內聚力甚小，則所用之盾構，設計應力求堅強，構造又須簡單，以防受損後不易修理。惟盾構中之推進器個數則須加多，藉以支撐導坑面，抗禦泥土之水平推力，並於盾腹前另設蓋板以資保護。鏟泥之法，可分兩種，一用人工開掘，一用暴力開掘⁽⁵⁸⁷⁾，前者係為工人挾工具以鏟除泥土，後者則將盾構推入地層，以強力鏟去固着之泥土。採用後法，則有免除漏氣及減低氣壓之優點。含水地層中，開鑿較大隧道甚為不易，事先宜在設計之隧道底部開一較小之試洞⁽¹⁷⁶⁾，以作全部開掘之先導，所費雖高，利益殊大也。

162. 混合地層中之開鑿 如在混合地層之上部為鬆土下部為岩石之情形中，則上部之鬆土可用前述倫敦泥之開掘法，但爆炸下層岩石時，須先開底設導坑並用支撐工支持上部，勿使受有爆炸之影響而生鬆動之現象也可。

163. 淤泥層中之開鑿 盾構法之應用，最適於此種泥土，因淤泥含水而沉重，以致木製撐架受壓損壞，泥水隨空隙而流入。淤泥中之深藏障礙物甚多，如巨大石塊、樹幹等物，皆足以阻止盾構之前進，故須隨時設法清除之。

第5節 盾構中之其他主要設備

164. 工作台⁽⁵⁸⁸⁾ 若隧道之截面高大，則宜於隧道截面之中部，建築一層或兩層工作台以供工人敷設頂拱及傍牆之襯砌之用。工作台之下端，須裝轉輪四枚，位於盾尾，可縱向滑動於隧道兩側較大

之軌道上，當盾構向前推進時，此工作台即相繼跟隨向前滾進。製作工作台之材料，以輕便經濟為主，故木條木板當為最適宜之材料。設計以簡單耐用為原則；下部空虛，可通泥石運輸車或設運輸泥石之鏈狀厚斗，如圖 54 所示。在可能範圍內，最好將工作台之木梁換為鋼鐵鑄成，既可減少火患，又可增加工作空間。

165. 空氣隔牆 空氣隔牆⁽⁵⁸⁹⁾，係用以分隔外界空氣與內部之壓縮空氣，並為防止空氣自高壓流至低壓之用，故其設計以不漏氣並能忍受高壓空氣之推力為原則。普通空氣隔牆上須開閘門三具，以備工作人員及材料等之進出。1914 年至 1916 年美國紐約市地道開鑿時，規定隔牆須以混凝土或鋼鐵製成，其最低之許可壓力為每平方呎 50 磅，若導坑中之壓力增高至每平方呎 22 磅時（高出大氣壓力之數），則須另外加建氣室兩間，其間氣壓相差不得少於較大者之百分之五十，即第一氣室之壓力若為每平方呎 30 磅，則第二氣室之壓力不得少於每平方呎 15 磅，自導坑面至最近之隔牆不得小於 800 呎。圻工隔牆中罅隙甚多，故須另以灌漿機注射灰漿以封塞其間之空隙，近高壓之牆面，須另用灌漿機敷塗水泥以增加其防漏力；惟常易因移動及拆卸工作而損毀。東波士頓隧道中曾採用拱形圻工隔牆⁽⁵⁹¹⁾，其建築材料為磚石，牆身向高壓空氣一面突出成拱形，隧道外徑為 23 呎 4 吋，隔牆厚度為 3 呎，此隔牆之四周磚石，皆嵌入隧道襯砌中，並加用鋼鈎以增加隔牆之抵抗力。若欲減薄隔牆之厚度，則可加建垂直及水平之控壁數座，築成控壁隔牆。鋼板隔牆常較圻工隔牆為優，因其厚度較薄，不易漏氣，且計算易於精確，建築及拆卸工作均較簡單故也。圻工隔牆之厚度與隧道內徑之比普通約為 0.4 或 0.5，表 35 即示已成諸隧道中所用隔牆之厚度⁽⁵⁹³⁾。

166. 氣閘 氣閘為設於空氣隔牆中之門戶，溝通氣室與外界，供工作人員及泥石材料等進出之要道。氣閘多成一圓筒形小室，前後均設閘門，均向高壓空氣一面啓閉，因受高壓空氣推力之影響，故兩門常關。今假定近氣室之門業已關閉，而工人欲自外界經人行閘至氣室之手續如後：因氣閘中此時之氣壓為大氣壓力，故近外界

表 35 各已成隧道所用隔牆之厚度

隧 道 名 稱 ⁽⁵⁷²⁾	隧道內徑 呎(D)	超過大氣 力之氣 壓每平方 呎時 磅數	空氣隔 牆厚度 呎(T)	$\frac{T}{D}$	材 料
1麥而西	9.00	27	6.25	0.69	磚
2沙泥亞	19.83	28	8.00	0.40	磚
3格拉斯哥區	11.00	23	6.00	0.54	磚
4布拉克華爾	25.00	35	12.50	0.50	磚及混凝土
7累文斯伍德	11.16	48	8.00	0.79	磚
6滑鐵盧及雪的	12.42		6.00	0.48	磚
7培克耳街	12.00	32	8.00	0.67	磚
8格林尼治	11.75	26	8.25	0.70	磚
9黎	11.50	15	8.25	0.72	磚
10白特來	15.46		6.00	0.39	磚及混凝土
11P.R.R. 東河	21.16	37	10.50	0.50	混凝土
12P.R.R.哈得松河	21.16	37	10.00	0.47	混凝土
13愛爾白	18.50		11.50	0.62	混凝土
14康科特市	23.94		9.85	0.41	混凝土
15哈得松	15.25	40	8.00	0.52	混凝土
16奧爾德斯利泊	16.00	38	9.50	0.59	混凝土
17白宮	16.50	35	9.50	0.57	混凝土
18紐約第14街	16.50	40	8.00	0.48	混凝土
19紐約第60街	16.50	43	8.00	0.48	混凝土

之閘門甚易開啓，工人即入人行閘而將閘門緊閉，隨將壓縮空氣之送氣管管門開放，待氣閘中送入之空氣氣壓升達氣室中之氣壓時，即行開啓近氣室之閘門，工人即可進入氣室中工作。若工人欲自氣室外出，則手續適反。小型隧道之氣閘僅有一座，謂之單式氣閘，兼供工人及材料之用；較大之隧道，除設材料閘及人行閘外，須另建一太平閘於上述兩閘之頂端，以防意外。表 36 即示單式氣閘之尺寸。

表 36 單式氣閘之尺寸

隧道名稱 ⁽⁵⁹⁴⁾	內徑(呎)	直徑(呎)	長度(呎)	體積(立方呎)	形狀
1市區及南部倫敦	10.50	3.75×5.00	12.00	225	方
2格拉斯哥港	16.00	4.25×5.58	13.00	309	方
3格拉斯哥區	11.00	5.75	13.00	340	圓
4累文斯伍德	11.16	6.00	10.00	283	圓
5滑鐵盧及市區	12.12	5.75	13.00	338	圓
6培克耳街	12.00	5.75	13.50	356	圓
7黎	11.50	5.83	17.50	465	圓

(593)

167. 材料閘 材料閘係供運輸襯砌材料之用，其閘中之送氣管活門口徑須大於4呎，以減少每次放氣之時間。材料閘之長度，須視材料運輸車之長度，普通以能容納三四輛之地位為原則。有時特設一運木閘，專供木材之運輸，閘為管狀，管徑約10呎至21呎不等，其長度以能容納隧道中所用木材及鐵條之最長者為原則，但若氣閘之前後兩閘門相距過長，則宜用平底車直接裝運木材及鐵條經材料閘通過隔牆。材料閘之口徑，須視泥石車及材料車之形狀及大小而定，但其最小值，須為5.75呎，其平均口徑應為6呎至7呎，若長度甚大則宜採用7呎之口徑。若閘門較高則須用活動之鐵橋架設以通材料車。近世隧道所築材料閘之大小，如表37所示。

(596)

168. 人行閘 人行閘係備工作人員進出氣室之用。閘中氣壓⁽⁵⁹⁷⁾之加減速度，應有相當之限制，以防工人有壓縮空氣症之發生。人行閘之高度，至少須等於最長工人之高度，閘之兩端各置長撈兩具，以作工人於加減氣壓時休憩之用；人行閘之口徑，不能小於6呎，現今所通用者為7呎口徑。人行閘之長度，須視一次進出氣閘最多之人數而定，其設計宜以每一工隊之人數為準則，茲假定每一工人所佔之坐撈長度為15呎。則 $[15/12 \times \text{工隊最多人數} \times \frac{1}{2} + 3]$ 呎即得人行閘應有之長度。所加之3呎則留作閘門向內開展之空間及工作控制送氣管之地位。若氣閘之口徑在6至7呎左右，則宜設置坐撈兩張，分置兩側，藉可縮短閘長，節省氣閘之建築費及經常費。閘中之送氣管口徑應為1呎，閘門及氣門應為自動式，並須

(598)
另設精密之壓力計以測量閘中之氣壓。當施行減壓時，閘中之溫度往往降低，故須用蒸氣或電爐加熱以維持常溫。閘內清潔常須注意，以保障工人之健康，因在加減氣壓時，空氣中之灰塵及細菌等皆易吸入於呼吸器也。閘之四周，須敷以油漆，地板須以混凝土築成。

(599)
169. 太平閘 太平閘係備隧道被泥石及地下水之侵入或氣室中空氣漏洩時工作人員逃離氣室之用。太平閘之位置，在空氣隔牆上之位置以愈高為愈佳，因該部分必須為氣室之最後被淹部分，工人始能逃出也。盾構進行開掘工作時，近高壓側之閘門，必須常開，如此俾便工作中之工人，得隨時逃入太平閘而後將此閘門緊閉，以待施行減壓工作而逃出。較小之隧道亦有以人行閘與太平閘兼用者。太平閘既須位於隔牆之最高部分，故其閘徑，應有相當之限制，

表 37 空氣隔牆中之氣閘尺寸

隧道名稱(600)	內徑 (呎)	材 料 閘			人 行 閘			太 平 閘		
		長度 (呎)	直徑 (呎)	體 積 (立方 呎)	長度 (呎)	直徑 (呎)	體 積 (立方 呎)	長度 (呎)	直徑 (呎)	體 積 (立方 呎)
1薩尼亞	19.83	17.0	6.00	480	17.0	6.00	480	未用	未用	未用
2布拉克華爾	25.00	16.0	7.00	615	16.0	7.00	615	10.5	5.00	205
3格林尼治	11.75	17.0	7.00	655	未用	未用	未用	17.5	4.5×3.3	200
4波士頓港	20.54 23.33	27.0	6.00	765	27.0	6.00	765	27.0	6.00	765
5洛脫赫	27.67	36.0	5.75	935	18.0	7.00	695	12.0	5.75	310
6P.R.R.東河	21.16	24.0	7.00	925	20.0	7.00	770	24.0	7.00	925
7P.R.R. 哈得 松河	21.16	25.0	7.00	965	10.0	6.0×5.0	260	20.0	4.0×3.0	180
8易北	17.71	22.0	5.40	504	29.0	6.10	847	未用	未用	未用
9康科特市	23.97	24.5	7.00	945	16.5	6.00	310	20.0	4.00	250
10多却斯得	18.67	50.0	7.50	2210	30.0	6.00	849	—	—	—
11奧爾得斯利泊	16.00	26.5	6.50	880	26.5	6.50	880	20.0	3.5×4.66	251
12白宮	16.50	26.5	6.50	880	26.5	6.50	880	20.0	3.5×4.66	251
13紐約第14街	16.50	26.0	8.50	1474	19.25	6.50	639	20.0	3.5×4.66	251
14紐約第60街	16.50	40.0	7.50	1768	20.0	6.00	566	20.0	6.00	566

其直徑須不小於 5 呎，其空量須足敷導坑中全部工作人員之容納。

表 37 及表 38 即示近世已成隧道中曾用各種氣閘之尺寸。

表 38 氣閘前後兩閘門之尺寸

隧道名稱 ⁽⁶⁰¹⁾	人行閘		材料閘		太平閘	
	高(呎)	闊(呎)	高(呎)	闊(呎)	高(呎)	闊(呎)
1 市區及南部倫敦	4.00	3.00	未用	未用	未用	未用
2 麥爾西	4.00	3.00	未用	未用	未用	未用
3 格拉斯哥港	5.58	4.16	未用	未用	未用	未用
4 格拉斯哥區	4.00	3.00	未用	未用	未用	未用
5 布拉克華爾	5.00	4.00	5.00	4.00	3.50	2.00
6 克利犀	4.40	3.60	未用	未用	未用	未用
7 累文斯伍德	3.67	3.16	未用	未用	未用	未用
8 滑鐵盧至市區	4.00	3.00	未用	未用	未用	未用
9 格林尼治	5.00	4.00	未用	未用	1.75	3.50
10 黎	3.75	3.00	未用	未用	未用	未用
11 洛忒赫	3.75	3.50 ^a	3.75	3.50	3.75	3.50
12 P.R.R. 東河	5.00	4.00	5.00	4.00	5.00	4.00
13 P.R.R. 哈德松河	5.33	4.00	4.50	2.67	2.83	1.75
14 康科特市	5.00	4.00	4.75	2.75	3.50	2.50
15 奧特斯利泊	4.66	4.08	4.66	4.08	3.33	2.00
16 白宮	4.66	4.08	4.66	4.08	3.33	2.00
17 紐約第14街	4.7×5.7	4.0×5.5	4.66	4.08	3.33	2.00
18 紐約第60街	5.25	4.00	4.00	3.25	4.00	3.25

170. 觀察閘 ⁽⁶⁰²⁾ 觀察閘為隧道中測量時自隔牆外轉移中心線及坡度至氣室之用。薩尼亞⁽⁶⁰³⁾隧道之觀察閘係由一口徑 12 吋之銅管製成，在近大氣壓力之端，口徑較大，以便轉移，銅管兩端均露出隔牆外約 3 呎，露出部分之四周加設支撐，防其移動。

171. 太平梯 ⁽⁶⁰⁴⁾ 自盾尾工作台末端起至太平閘門止，須設闊約 3 呎之太平道及太平梯各一，兩側須裝欄干，以防工人逃出時之傾

跌。

172. 安全簾 ⁽⁶⁰⁵⁾ 安全簾為一不漏氣之金屬物，其位置應在盾構與太平閘之間，在平常狀態之下，安全簾平臥於氣室頂部，當安全簾下降時，則僅及隧道截面之起拱線。安全簾之功用，在防止太平閘與盾構工作台間之被水淹沒。安全簾係由一下垂之潛水鐘控制之，當氣室中之地下水上升抵達潛水鐘時，潛水鐘內密封之空氣，立即推動機紐，壓迫安全簾下降，同時將氣閘中之送氣管通入以防地下水之再度上升。安全簾之下端須低於太平閘底部數呎，以策安全。安全簾為美人邁克爾氏 ⁽⁶⁰⁷⁾ 所創，最初在 1880 年用於哈得松河之 ⁽⁶⁰⁸⁾ 隧道中。安全簾用木或鋼板製成。美國格林尼治 ⁽⁶⁰⁹⁾ 中所用者其內徑為 11 呎 9 吋，用三夾板加釘製成。

173. 氣閘之引伸 當氣閘之閘門發生漏氣等事變時，應將氣閘伸展另設第三扇閘門，以維持氣壓之不變。伸展部分為一口徑 4 呎長 4 呎之圓形鐵筒，一端有第三閘門，一端設有特種裝置以備與任何氣閘之末端相連。

第 6 節 漏氣及填覆

174. 漏氣之原因 盾構隧道氣室之漏氣，原因甚多，第一種原因：若隧道之氣室及盾構內之壓縮空氣之壓力高於外來之地層壓力及地下水之水壓等，則氣室內之壓縮空氣，即行離開氣室，鑽入地層之空隙，而上升至河流或大氣中；氣室中所騰出之空位，即為侵入隧道之地下水所佔據，故若隧道所通過之地層甚為緊密，當可以避免漏氣事變之發生。第二種原因為：有時地層中雜有漂石等物，則該物無固定之位置，時刻在變動中，是故隧道拱頂所受之外來壓力，亦時時隨之而變動。但氣室中之氣壓則甚為固定，故有時氣室內之氣壓在不知不覺中已超過外來之壓力，亦可發生漏氣之事變。發生漏氣之第三種原因，為吾人於河牀上作地層鑽探之手續後，未曾將該孔填塞，而隧道適通過該孔或該孔之附近處，因而河流中之水分，即循該孔而下入隧道氣室，氣室中之壓縮空氣，亦循

該孔而上升至河流或大氣中。

175. 漏氣事變之爲害 盾構之氣室發生漏氣事變時，其中之壓縮空氣，即行離開氣室，鑽入地層之空隙中，一方面壓縮空氣之壓力，壓緊地層，將空隙擴大成一巨穴，大量之高壓空氣，即由此逸出，當空氣溜出氣室時，其風力頗大，足以將人捲起，帶入地層。
美國紐約東河隧道之盾構隧道，在發生漏氣事變時，有一工人被高壓空氣捲入地層，而喪失生命。當其被風力捲入地層時，頭部先行進入漏斗狀之孔穴，而其足部騰空，吸入地層，消失蹤跡。又因此大量之漏氣後，氣室中之空氣壓力，即行減低，而地下水即從各方面侵入氣室矣。

176. 漏氣後之暫時補救 隧道工人在發現氣室中有漏氣之事變時，即全體站立於漏氣之出口一邊，將身上所穿之工服及泥土木屑等填料塞入漏氣孔中，以作臨時杜絕漏氣之工具。若漏氣之部分過大，所有填料皆不足以阻止地下水之侵入，及壓縮空氣之逸出時，則工人爲保障生命起見，惟有通過預置之太平扶梯⁽⁶⁰⁴⁾上升至太平台⁽⁶¹¹⁾，而入太平閘中，待工人全部逃出氣室進入太平閘後，即將近氣室一邊之閘門緊閉，經施行減壓手續後，工人可順次走出太平閘，退出危險區域。至於盾構及氣室中所充滿之泥石及地下水，則須待河牀或地層整理後，始能加以清理，而繼續工作。

177. 河牀厚度之整理⁽⁶¹²⁾ 盾構之氣室，在漏氣時，其中之高壓空氣通過漏斗狀之孔穴而上升至河牀，然後冒出水面，分散於大氣中。故發生漏氣事變之河牀中，隧道上之負土厚度，必爲甚薄，其積極之補救方法，惟有堆置大量細密泥土於發生漏氣之地層上，以增加其厚度，同時增加地層對於隧道之壓力，使其壓力時常超過壓縮空氣之氣壓，待所填之泥土，舂打緊密以後，即將高壓空氣送入氣室，而逐出地下水及挖去泥石，則工人等可以重行進入氣室繼續工作。

若該隧道所發生漏氣之地點，適在一碼頭之下，不易施行填土手續者，則宜於事先將泥土裝入袋中，運袋至填覆地點，擲入碼頭

下發生漏氣之河牀上，平均每一漏氣地點所需之泥土填料，約在二千至三千隻麻袋之體積以上。

178. 恢復工作之方法 用長 60 呎，闊 40 呎之帆布篷兩層，覆蓋於一平面駁船上，四周以鐵釘繫緊，將平底駁船拖至發生漏氣之河牀上，其位置應在漏氣口之上端中央，如圖 57 所示。待駁船之位置調正後，復將鐵釘拔出，移去駁船，在帆布之上置若干泥袋，任其下降至河底為止，待帆布篷之位置在河牀上固定以後，帆布篷四周，另擲若干泥袋，以增厚河牀與隧道間之地層。河牀之調正工作完畢後，開放隔牆中之送氣管，以逐出擁入隧道之地下水，經過若干日夜之清除工作以後，可將剩留於氣室中之淤泥搬盡。當施行清除工作時，為求安全起見，帆布上應加擲泥袋，使其位置穩固。

179. 填覆 凡事皆宜未雨而綢繆，毋臨渴而掘井，故開鑿盾構隧道之前，宜擇較薄之地層處，填覆大量之泥土，以防止漏氣事變之發生，此項泥層，乃由駁船搬運至工作地點，而後下沉至河牀者。作填料之泥土，須甚緊密，具有黏合性，不易被水沖散，而不為高壓空氣所衝動者。填覆之厚度在可能範圍內，以愈厚為愈佳，計算填土厚度及闊度時，普通所用之經驗公式如下。

$$L \geq 2B$$

$$D \geq [P - (H + w)] / W$$

式中 L = 所填粘土之闊度(米)； D = 所填粘土之厚度(米)； P = 隧道內之壓縮空氣氣壓 (每平方米仟克數)； W = 所填粘土之重量 (每立方米仟克數)； H = 原有河牀之厚度(米)； w = 原有河牀上泥土之重量(每立方米仟克數)； B = 隧道外側之闊度(米)。

在通航之河流下，則最大及最小之填覆厚度，應由負責當局加以規定。最普通之填覆厚度，最少須為 10 呎，最高則須視通航船隻之最大吃水深度以及河流深度而定。其填覆後之河牀，須在最大吃水量下一呎左右，以防船隻之擱淺。隧道打通以後，於襯砌等皆足以防止地下水及外來壓力之侵入時，可將先前填覆之泥土挖去，以利交通。初視之，此法太覺浪費，但實際上，實較因發生漏氣而填覆時所

需之費用爲廉，故在地質測探時，若發現地質情形不佳，則宜採用此法。

第7節 壓縮空氣症之成因及治療

180. 概說 壓縮空氣症⁽⁵⁹⁷⁾，常發生於高氣壓之沉箱及盾構中，實爲現代醫學界之新病症。凡工作其中之技術人員，均應明瞭此症之成因，並具有治療此症之常識，以期減少因此症而喪失生命之人數，則社會對此亦不致發生恐怖之印象，使工人等亦因生命之有保障，而踴躍參加以增加工作之效率。主事之工程師，除應有充分之常識外，尤須能臨時執行醫師之職務，在醫師未到出事地點以前，能作初步之急救治療及處置。

181. 壓縮空氣症之原因 人體之血液，循環不息，行至肺部與肺中之液體原形質⁽⁶¹³⁾相遇後，即能間接溶解呼吸器官吸入之空氣，若空氣之壓力甚高，則溶解之空氣較多。此種多量空氣之溶解，對於人體之影響甚少。故工人工作於氣室中，並非最爲危險，惟至工作完畢，在氣閘中行減壓手續時，若減壓之速度過高，則血液中溶解之空氣，不及全部逸出，以致一部分之氣泡狀氮元素(空氣中之氧，無此種作用)遺留於血液及肌肉中，故在診察時，若發現血液中含有小氣泡，則可斷定其爲壓縮空氣症。

182. 壓縮空氣症之現象 壓縮空氣症之現象，以氣泡剩留於體內之位置不同而可分爲下列四項：

一，關節症 此爲隧道工人所最易患之疾病，係因大量之氣泡，存在於人體四肢之關節中。患者雖無性命之虞，惟所受之痛苦最深。

二，窒息症 此症之成因，係由於肺部中液體原形質及血球中充滿氮氣泡，而使呼吸器官無法執行其職權，卒至窒息而死也。

三，頭昏暈倒及耳鳴等症 由於大量氮氣之充滿於腦海及耳膜之中也。

四，膚裂及死亡 此症係由於皮膚組織之緊密，致蘊藏體內

之氣泡裂膚而出，以至於死。

183. 壓縮空氣症之預防 壓縮空氣症之預防，在減少因高壓空氣而發生之症象，其預防方法，可以下列數端分述之：

一，工人之健康測驗 工人之健康與否，須經醫師詳細檢驗，其最宜注意之點為：(a)年齡——二十歲至三十歲之發育完善青年。(b)血壓——宜高不宜低。(c)肥瘦——宜選擇較清瘦者，不宜選擇肥胖之人，因後者之皮膚組織中含有多量之脂肪質，能吸收過量之氮氣也。

每一工人之健康，除於考選時或發生壓縮空氣症時應加以檢查，即因事假而不入隧道工作逾十天以上者及工作每隔相當之時期者均須重行檢查，所得之記錄，皆須填入標準測驗卡中，卡中所具之項目如后：

(a)工人個別健康測驗卡所包括之項目：甲、號數；職位；姓名；住所；年齡；國籍；已否結婚；子女人數；有無烟酒等刺激物之嗜好，請求測驗者簽名蓋章。乙、身高；體重；目力；聽覺；脈搏——快慢及輕重；心臟健全否——即心臟收縮及心音正常否；有否壞血病；肺量及胸圍 (a.呼出, b.吸入)；每分鐘呼吸次數；呼吸是否清晰正常；血壓 (a.心收縮期, b.心弛張期)；筋肉系統及神經系統是否適合健康條件；面部腹部及四肢有無刀痕及瘤狀物；以前曾否患過脫腸病；工人尿中成份之檢查 (a.比重, b.蛋白質, c.糖分)；醫生對於取捨之意見；檢查日期；複驗日期。

(b)壓縮空氣症測驗卡所包括之項目：工作地點；日期；姓名；號數；住所；生長地點；年齡；已否結婚；在壓縮空氣中工作之總時數；氣壓；換班時間——每日幾次；減壓所需之時間 [a.第一人行開(小時)；b.第二人行開(小時)]；空氣症之症象；收容病人之日期及時間；在離開氣閘後若干時始發現症象；治療法；治療閘中之減壓——自____磅/平方吋至____磅/平方吋；減壓之時間；病人恢復健康之時期；醫生之簽名。

二，壓縮空氣中工作時間之限制 空氣壓力愈高，則血液溶解氮氣達至飽和量之時間愈短，故氣壓愈高，則工作時間宜短；氣壓較低時之工作時間可以延長。表 39 所示，乃在不同氣壓下美國所規定之每日工作時間，在我國則因體格水準較低，故工作時間，

略須為減少，以策安全。

表 39 氣室中之氣壓與工作所需時間之關係

氣室中之氣壓 磅/平方吋	第一次工作時間		正常氣壓中之休息時間		第二次工作時間		每日工作總時數	
	時	分	時	分	時	分	時	分
0~20	4	00	0	30	4	00	8	00
21~29	3	00	1	00	3	00	6	00
30~34	2	00	2	00	2	00	4	00
35~39	1	30	3	00	1	30	3	00
40~44	1	00	4	00	1	00	2	00
45~49	0	45	5	00	0	45	1	30

三，慢速度之減壓 減壓之速度，在初期減壓之一半時間中，影響較小，而後半期之影響較大。美國紐約省勞工部工業法規第 1152 款⁽⁶¹⁴⁾所規定：氣閘中降低氣壓最初一半之速度，應為每分鐘每平方吋 5 磅，其後半期所需之時間，應等於以每分鐘降低每平方吋 1 磅，計算全部減壓所需之時間，減去上半期之所需者。例如工作氣壓為每平方吋 40 磅，兩氣閘間相距 800 呎，則工人進入第一人行閘後，即行減壓至每平方吋 20 磅，共需 4 分鐘始畢，順向出閘後，行走 800 呎至第二人行閘需時 5 分鐘，連前共需 9 分鐘，但依每分鐘減低氣壓每平方吋 1 磅計算，則需時 40 分鐘，減去 9 分鐘，則留 31 分鐘，此為第二氣閘中減壓所需之時間。

四，氣閘中之溫度變化 氣閘中之空氣，在減壓時，溫度逐漸下降，並略帶潮濕，故工人須預先穿着更多之皮衣，或在閘中備水汀電爐等，以維持常溫，出閘門後，必須逐層依次緩緩脫下，否則有發生壓縮空氣症之可能。

五，工人在減壓後仍須逗留於氣閘附近 壓縮空氣症症狀之發生，大多在工人離開氣閘後一二小時之間，故工人於減壓後，仍須逗留於氣閘附近經若干小時，始可離去，以防病患之暴發，而

便就近重加壓縮及減壓之手續，使減壓之時間，得以稍微延長。

184. 壓縮空氣症之治療 工人初次進入氣閘之前，宜飽食並飲咖啡一杯，以防頭暈，苟在氣室中工作後，其耳膜常受外界高壓空氣之壓力，而影響連通鼻孔之歐氏管⁽⁶¹⁵⁾，甚或至於破裂。故工人每逢進出氣室時，須以嘴向左右牽動，或以手掌敲擊鼻孔，將歐氏管推啓，使空氣自鼻孔中送入，以抵消耳腹外側之壓力，使耳膜得以維持正常之狀態，故有經驗之工人，恒以此法應付之。

壓縮空氣症發生以後，其最有效之治療法，為將病人重行加壓以達氣室中之壓力，而後再減至大氣壓力。較近各隧道醫師，為便於就近治療起見，每於隧道附近，設有治療閘一座，閘分前後兩部，中以鋼製隔牆及閘門隔離，前部兼作候診室，觀測室及氣壓控制室之用，後部作為診療室及加減氣壓之所。設置觀測室之目的，可使醫師在閘外觀測而減少因進出治療閘時診療室中氣壓之擾亂，使診療室中之氣壓，得以依照預定計劃加減壓力。此外，氣閘中應設置電燈，電話，鐘表及氣壓表，溫度計，電爐，醫藥等物，以備應用，在安置各該物件時，須顧及物件之地位，氣流之方向，以及有無發生渦流作用之可能⁽⁶¹⁷⁾。醫師斷定病象為壓縮空氣症後，即將患者安置於治療間中之臥牀上，將其最痛苦之部分向上露出，隨即將空氣壓力增至工作壓力，一分鐘後以中等速度減壓一半而後以較快二倍之速度，減其另一半之壓力，以達大氣壓力為止，此項速度，須較普通氣閘中之減壓速度慢兩倍左右，若患者經初次手續後，仍未能恢復其原狀，則須依法再行加壓及減壓等之手續，如此重複施行數次，始可告痊。若空氣症之病態甚為嚴重，則宜用人工呼吸法，以助其呼吸之能力。空氣症之時間性，頗關重要，往往因相差一二分鐘之時間，即可使患者無法救治，故工人之生死關鍵，全在此幾分鐘之時間內，至於工人在氣閘中減壓手續後，不得遠離氣閘者，即所以謀工人生命上之安全也。

其他尚有關於保障工人健康之各點，分列如下：一、每一人行閘中，設一減壓速記錄器；二、每日查驗壓力計一次；三、僱用健康精細之人，充司

間具；四、記載每一工人之減壓情形；五、隧道及氣閘中之設置，皆須清潔衛生；六、氣室及氣閘中，不准吸煙；七、壓縮空氣中，不許其他動物進入；八、每一工人皆須有一私用之衣櫥；九、在潮濕地層之隧道中，須另設烘衣室，以便烘乾工衣；十、設有熱冷水浴池及盥洗設備；十一、送入氣閘之空氣，需經空氣清潔器以除塵埃及一氧化碳氣。

185. 壓縮空氣症之參攷

1. "Memoire sur les effects de la Compression de l'air" Pol & Watelle Ann d'Hygiene Publique Paris (1854).
2. "Compressed Air" Dr. Smith (1871).
3. "La Pression Barometrique" Paul Bert Paris. Masson et Cie (1878).
4. "Compressed Air Illness or so-called Caisson Disease" E. Hugh, Kenna 2 vol. (1896).
5. "Die Luftdruckkrankungen" Heller Mager & Van Schrotter Vienna (1900).
6. "The Influence of High Pressure of Oxygen on The Circulation of The Blood" Hill & Machead (1902).
7. "The Regulation of Lung Ventillation" Haldone & Priestly (1905).
8. "Der Sauerstoff in der Prophylaxie une Therapie de Luftdrucker Krankungen" Berlin (1906).
9. "The Use of Caissons in Bridge Building with The Remarks upon Compressed Air Illness" Oliver (1906).
10. "The Influence of Increased Barometric Pressure on Men" Hill & Greenwood (1906).
11. "Modern Tunnel Practice" DMc. N. Stauffer (1906).
12. Report of A Committee Apointed by The Lords Commissioner of The Admiralty to Consider and Report upon The Conditions of Deep Water Diving with Index Appendix and Illustrations (1907).
13. "The Prevention of Compressed Air Illness" Boycott

Damant & Holdane (1908).

14. "Caisson Disease and Its Prevention" Jopp.
15. "Compressed Air Illness from A Clinical Aspect" Ryan (1909).
16. "Caisson Illness and Compressed Air" Hill (1911).
17. "Caisson Illness and Physiology of Work in Compressed Air" Hill (1912).
18. "Compressed Air Illness in Caisson Work" Ryan (1912).
19. "Compressed Air Illness" Keays (1912).
20. "Protection of Workers in Compressed Air" Levy (1917).
21. "Safty and Medical Methods in Connection with The Compressed Air Work" Levy (1920).
22. "Compressed Air Illness and Its Engineer Importance" Edward Levy (1922).

第 8 節 雙層混凝土拱壁法——中國式水底隧道建築法

186. 雙層混凝土拱壁法 我國浙江省之錢塘江鐵橋，原擬建築水底隧道以代之，建議者為楊建氏，氏之計劃為雙層混凝土拱壁法⁽⁶¹⁸⁾，在我國因係初次設計，故擬定其名為中國式水底隧道建築法。隧道開鑿時，亦係採用盾構法，故於本章附述之。

建築時先在工場內，用鐵板模型，製成闊 0.50 米，厚 0.30 米，長 1.33 米，0.55 米，0.70 米等 1:2:4 之鋼筋混凝土塊數種，約經四十餘日，凝結堅固後運取應用；此項鋼筋混凝土塊厚度之計算，在拱壁裝置完畢，支撐架除去時，其本身能抵抗上層泥土之最大壓力，使在建築內層 1:3:6 混凝土拱壁時，即可利用以作外周之模殼，而減少內層支撐工模殼之載重。計劃中隧道外層鋼筋混凝土拱壁所受之最大壓力，根據計算，不逾每平方厘米 30 仟克，泥土摩擦力尙未計及，而鋼筋混凝土之許可壓力為每平方厘米 45 至 50 仟克，故相差甚遠也。開鑿隧道採用壓縮空氣與盾構法，盾構內徑為 7.45 米。

混凝土拱壁裝置，係在盾殼之內，故無泥水滲透之慮。每一鋼筋混凝土塊重達四百二十餘仟克，裝置時須用舉重器，自下而上，一一疊成，並用支撐架支持之。為增加強度與防止漏水起見，在縱橫縫內，砌以 1:2 配合之水泥膠沙。按每日隧道拱壁約可完成 3 米，每米計二節，每節在盾構內之時間，最少為 4 小時，即普通水泥，已可開始凝固，不致復為泥水所浸毀。況隧道內部之氣壓高於四周，雖土質稍劣，透水亦無問題。至土質過劣之處，即可改用德國產之速凝水泥，^(6:9) 在一二小時後，即可凝固，24 小時後與普通水泥之經數月者堅固相同則透水更不成問題矣。鋼筋混凝土塊外弧較內弧長十餘厘米，最後頂蓋之裝置，係由拱壁之側面推入，故裝置部分拱壁之位置，應至少離盾尾之鐵壁 50 厘米。鋼筋混凝土塊拱壁頂蓋裝置後，全部已有支持與載重之能力，故即可將內部之支撐架，全行拆去。且為使拱壁接縫更為緊縮堅固，與防盾構退出後拱壁下臨時之震動分離起見，特採用 1½ 吋至 2 吋直徑之圓形鋼條，作為針梁支撐工，將全節拱壁攀縮之。針梁支撐工之作用，在緊縮每節鋼筋混凝土拱壁之縱縫而作整個之行動，正與木桶之鐵箍，車輪之鋼絲作用相同。鋼筋混凝土拱壁，既攀縮緊實，乃可用水力推進器將盾構前移，惟水力推進器之底盤面積有限，而每器推送之力達 90 餘噸之多，底盤所受壓力達每平方厘米 225 仟克，而鋼筋混凝土拱壁所能承受之壓力，不過每平方厘米 45 至 50 仟克，如不設法使之勻布，則拱壁即難免於碎裂。若盾構前方與四周之土質不同，則推進器之着力即有輕重之別，如拱壁無整個之動作，則混凝土塊亦難免有凹凸之弊，其漏水問題，即無從解決。本計劃更採用雙層墊板，其作用即所以均佈推進器之壓力而達於拱壁之全部。使每節拱壁作整個平面之移動，其下層更另設木板，以保護混凝土邊角之損毀也。墊底板之構造，係由 5 厘米厚之洋松板二層與 2.5 厘米厚之鋼板二層，釘疊而成，其大小形式，一如鋼筋混凝土拱壁之橫截面。又用鐵鏈攀結於推進器之底盤，使墊板在使用時，隨推進器緊貼於拱壁之面，不用時則隨推進器藏於盾構鐵殼之後，如是墊板之進退運用，均可

利用機力，而免人工移動之煩。盾構逐步前進時，每於拱壁四周空出 10 厘米長之空隙，如不設法墊實，則全節拱壁，一俟水力機停止壓力時，勢必向下墜落 10 厘米，其結果輕則將拱壁橫縫中將凝之水泥損裂，四周泥水向內注入，重則拱壁因受震動，向兩旁或下部傾墜，針梁支撐工之設置，雖可免除後項之危險，而注沙工作，乃為根本免除或減少拱壁移動之良法也。所謂注沙工作者，乃在每鋼筋混凝土塊內，設直徑 5 厘米之圓孔一枚，以備盾構逐漸退出時，在拱壁四周之空穴中，用高氣壓灌入細砂，將空隙完全填實，然後徐徐將水力推進器之壓力減少，拱壁遂安置於沙層之上，不致有劇烈之震動。惟沙層之抵抗力，能否如理想之所要求者尚屬疑問。苟沙層不能完全抵抗拱壁之重量，則拱壁難免變形而漏水，此時可以用英國產之雪加速凝水泥漿填塞之，或用後章所述之水泥注入法補救之。鋼筋混凝土拱壁位置既已安定，漏水亦經制止以後，乃可將針梁除去，隨即填築內層之 1:3:6 混凝土拱壁襯砌工。施工情形，一如普通混凝土建築之法；約經一星期，待內層混凝土拱壁能支持本身之重量時，乃將模殼鐵架除去，表面加以粉刷，拱壁工程，乃告完成。雙層混凝土拱壁建築法之優點，在於造價低廉而堅固耐久，能適用於任何土質。如施工得法，則頗為安全，而最適合於我國之環境云。

第十一章 地下水之處置

第 1 節 概說

187. 概說 隧道中遇有地下水時，須設法除去之，否則有礙工作之進行，增加空氣之濕度，而且影響機械之運用及工人之衛生。因遇地下水而生之困難，往往隨水量之多寡而增減，應付之方法，亦因之而各異。地下水較少時，僅設排水溝，即可補救；如地下水較多，地質鬆軟時，則非用壓縮空氣與盾構法不可。

第 2 節 地下水之處理方法

198. 排水溝之設立 排水溝之設立，使地下水隨隧道坡度而流出者，僅能應付少量之地下水；稍較乾燥之隧道，如里辰⁽⁶²¹⁾隧道則僅用圓形瓦管或水泥管以排水；新普倫⁽⁶²²⁾隧道中則用混凝土製半圓形排水溝與一主要水道相通以排水。在潮濕之隧道中，則須另鑿一方形或矩形截面之較大排水渠。表 40 即示近世已成隧道中排水渠之尺寸。

表 40 近世已成隧道中排水渠之尺寸

隧道名稱 ⁽⁶²³⁾	軌道數	渠闊(吋)	渠深(吋)	渠之截面積 (平方呎)	渠之位置
1 新普倫	1	23.6	19.7	3.20	一側
2 洛脫慶堡	2	23.6	23.6	3.87	中部
3 格蘭及斯	1	23.6	39.5	6.50	中部
4 魏森斯丹	1	19.7	19.7	2.57	一側
5 亞森帕斯	1	18.0	18.0	2.25	一側
6 里辰	1	12.8 直徑		0.78	一側
7 好斯丹	2	15.7	19.7	2.15	中部

單軌隧道中之排水渠，宜設於側壁之下或邊旁，若底部設有仰拱，則排水渠可設於仰拱之中央。雙軌隧道中之排水渠，宜設於兩軌道之中央，渠面可用能啓閉之鋼筋混凝土板蓋住，以防石塊泥沙之落入。既知地下水之水量，則排水渠之截面面積可用下式計算之

$$A = \frac{Q}{V}; \quad V = C\sqrt{r \cdot s};$$

$$C = \frac{87}{0.552 + \frac{m}{\sqrt{r}}}; \quad r = P/A。$$

式中：A = 排水渠之截面面積，平方呎；Q = 排水渠中之流水量，每秒立方呎；V = 流水速度，每秒呎數，C = 係數；r = 水力半徑，呎；P = 潤周，^(6.4)呎；s = 排水渠之坡度率；m = 係數，鑄鐵管，水泥管，及混凝土渠，內壁

甚為光滑時， $m = 0.21$ ；內壁稍粗時 $m = 0.36$ ，混凝土渠內壁極粗時 $m = 0.50$ 。 m 之值係依截面之形式而異，普通約為 0.36 至 0.50。

189. 排水隧道之設立 若遇隧道中之地下水量甚多，不能僅設排水渠可以排除者，則可用先進坑孔法，另掘一排水隧道平行於主要隧道，專供排水之用。此法所費較昂，惟所築之排水隧道，可兼作其他運輸之用。

190. 水泥注入法 隧道開掘時，欲阻地下水之侵入，可用水泥注入法，此法亦可用於開掘完畢後增強襯砌工之用。法用鑿岩機在漏水之岩石上鑽孔多枚，然後用水泥灌入，使水泥壓入石隙中遇水凝固，閉塞水路。水泥之注入鑽孔，多用特製之水泥注入機。此種機械之種類甚多，因所用壓力之不同，有高壓式與低壓式之別。注入鑽孔中之水泥為一種水泥漿，以容積計算，水與水泥之比為 1 比 3 至 1 比 12。岩石中之孔隙大，則注入水泥漿之濃度宜大，孔隙較小，則濃度宜小。純用水泥，有時殊不經濟，故可攪入鋸屑，火山灰漿，石灰漿等物。至於注入水泥漿所需之壓力，普通約為地下水壓之 3 倍，最初注入時，可用濃度較小之水泥漿及較低之壓力，隨後濃度及壓力可以順次增大。低壓注入機之壓力，普通約為每平方吋 100 磅，150 磅及 300 磅不等，高壓注入機之壓力，有達每平方吋 3000 磅以上者。

191. 化學凝固法 含水之砂層或流砂中，若用水泥注入法以防地下水之侵入，頗難得顯著之成效，故不得不用化學凝固法以補救之。此法一名矽化法，係用矽酸鈉與氯化鈣兩溶液混合交互注入於泥沙之中，則兩者即起化學作用而生膠狀之矽酸鈣與游離之矽酸，即能將泥砂細粒凝固成塊。此法雖在地下水流動時，亦可應用，惟兩溶液之濃度不易配準，價格又昂，是為其缺點。

192. 凍結法 隧道穿越流沙之際，若因其深度過大不能應用壓縮空氣，則可用壓縮之液體矽精，用粗管通入於隧道四周之地層中，使地下水因液體矽精之蒸發而凍結之。此法雖佳，惟所費至鉅也。

193. 抽水法⁽⁶³⁴⁾ 此法係用抽水唧筒將侵入隧道中之地下水抽去，若水量過多或抽水距離過長，此法即不適用於。

第十二章 襯砌工

第 1 節 概說

194. 概說 襯砌工⁽⁶³⁵⁾實為隧道四壁建築之最後工程，其最大目的不外乎增加隧道四壁之強度，防止漏水及外界空氣之侵蝕，及改進隧道之外觀。襯砌工之材料有磚石，鋼筋混凝土塊，鋼筋混凝土，鑄鐵，混凝土，製煉木材等數種，其中以混凝土應用為最廣。

第 2 節 襯砌工之設計

195. 襯砌之各部分 襯砌工之形式，須視所取隧道截面之形式而定，其主要部分有三，一為頂部⁽⁶³⁶⁾，若作拱形則稱頂拱；一為側壁⁽⁶³⁸⁾；一為底部⁽⁶³⁹⁾，若作拱形則稱仰拱⁽⁶⁴⁰⁾。側壁與底部之連接處受力較強者謂之底脚⁽⁶⁴¹⁾，其厚度亦大。底部中亦有附設排水溝渠，空氣管，及電線管等。

196. 襯砌中之應力 襯砌中之應力⁽⁶⁴²⁾，實為結構力學中研究之新問題，因襯砌工係為一靜力不定式結構物，外界之壓力荷重又難準確決定，故其應力之分析當較困難。普通所用之分析法，有「應變能」法與偏光彈性法兩種⁽⁶⁴³⁾，本書因篇幅與範圍之關係，未能加以詳盡之說明與討論；惟根據此種理論方法，計算之結果，須加有甚大之安全率，其理可觀後述數點：一，襯砌工之建築，常因時間之匆促，地層之膨脹，支撐工之損壞，地下水之侵入等，致隧道全部之襯砌工，優劣不一，強度參差。二，襯砌工所受之荷重，係由經驗及假設等方法決定之，頗難確定；即使一時能得確實之計算，但經數年之後，因地殼之移動，或地層之變位，亦可使荷重大為變更。三，石灰岩或其他水成岩之地層，往往易為地下水所侵入，增加隧道四周之水壓，以

致襯砌工之應力不濟，而卒告破毀。作者之意見，以為在未得妥善之襯砌工應力分析法以前，襯砌工之厚度，尺寸等之設計，最好參照近世各已成隧道中所採用者，並依當時情形之不同略加修改，再用普通分析法加以校驗而決定其安全率之是否甚高可也。

第 3 節 襯砌支架及襯砌型

197. 襯砌支架及襯砌型 ⁽⁶⁴⁴⁾ 襯砌型係為建築襯砌所用之模型，⁽⁶⁴⁵⁾ 支持此種模型之支架謂之襯砌支架，後者之構造與支撐工相同。隧道頂拱襯砌工所用之襯砌支架，可稱拱膽，⁽⁶⁴⁶⁾ 兩側所用者可稱襯砌壁架。⁽⁶⁴⁷⁾ 木材，鋼鐵及鋼筋混凝土塊之襯砌，亦有自身能支持者，則不須襯砌支架，若用圻工襯砌，則非用襯砌支架不可。襯砌支架普通可分後述兩種：

一，組立式襯砌支架 ⁽⁶⁴⁸⁾ 此式襯砌支架，可用木材或鋼鐵或兩者配合而成，應用時隨時建築，待襯砌工完畢後，即行拆卸。有時已成之支撐架亦可權作襯砌支架之用。克倫 ⁽⁶⁴⁹⁾ 隧道曾用木製之拱形襯砌支架，中部無構肢等之設置，以減少工作之阻礙。此外，用襯砌鐵板，工字梁等組成者更為常見。

二，移動式襯砌支架 ⁽⁶⁵⁰⁾ 此式襯砌支架，係為業經製就之架構，使用後，可移至他處再用，頗稱便利，更適於拱形支撐工或不用支撐工時之應用。為移動便利計，襯砌支架，可置於鋼軌上推行之。美國百老威 ⁽⁶⁵¹⁾ 隧道，勞斯·安極立司 市新輸水隧道，哥羅拉多 ⁽⁶⁵²⁾ 隧道等均會均使用之。更有在一移動式襯砌支架上安置混凝土混合機之設備者，以便圻工襯砌工之進行。

第 4 節 襯砌工之施工

198. 襯砌工之施工程序 襯砌工之施工方法，須視開掘方法而不同。但因施工程序之不同，可分順卷法與逆卷法兩種。順卷法者，襯砌工係由底部建築起，逐步向上進行，以達頂底而完成。逆卷法者，程序適反。第九章所述之美國法，比國法之襯砌工均為順卷

法。又該章所述之德國法，英國法，奧國法，意國法之襯砌工則為逆卷法。總之，如頂設導坑先開，地質較佳者，則可採用順卷法；若底設導坑先開，地質較劣者，則用逆卷法。

199. 木材襯砌工 木材襯砌工之優點，即為建築簡易，完工迅速，價格較廉，但因強度欠高，易於着火，腐爛，又易受外界壓力之作用而逼變或扭歪，故近代隧道中鮮有用之者。木材襯砌工之木材，宜加製煉，以增加其壽命。其構造為縱向之木棒或木板，用木塊製成之拱與直柱造成之襯砌環承托之，有時亦可直接利用木塊拱形支撐工替代之。施工時須注意各構肢間之緊密結合，以期固定隧道截面之形式，故工人應時常巡查，用螺旋鑷子將發生裂紋之木材扣緊。木材襯砌工較適於短小乾燥之山岳隧道中，實際上，即盾構隧道中亦可用之，惟須另用圻工襯砌以加強之。

200. 混凝土襯砌工 混凝土襯砌工應用最廣，因其優點甚多，如美觀，經濟，堅強，可製成任意形式等，其建築方法與普通混凝土襯砌工之建築法相同。小型之污水隧道，亦有將混凝土製成管形，用開壕法埋入地中者。隧道之四壁有先用較大之碎石塊，將凹處填平，然後敷上混凝土，但因混凝土為漿狀物質，故必須用襯砌支架承托之。隧道四側為泥土時，開掘後即用支撐工支持之，待至施行襯砌工時，可將支撐工之四壁擋土板仍置原處，作為襯砌之外型，待混凝土敷上後，即留存其間而不必除去。混凝土中亦有砌以鋼條以製成鋼筋混凝土襯砌工以增加其強度者。若將鋼筋混凝土製成弧形小塊，則可用砌磚法築成襯砌，前章第7節中之所述，即其法也。

201. 磚襯砌工 磚襯砌工多用於圓形污水隧道，施工時，先將四周泥土挖成適當形式用順卷法自底乘起，塗以厚層膠漿，覆以磚塊，為排列準確整齊計，須用弧形樣板二條，其周緣與隧道截面之輪廓相符，每圈砌磚加排釘一行於樣板，每釘適合磚縫之行列。樣板二枚垂直隧道軸相距適當距離，以細繩緊張最低二相對之釘端，先行砌磚一行。磚之鋪砌作輻射式，以長邊與隧道軸方向平行，其

外邊與細繩切合。如是砌成數行後，移高細繩至相當之釘端如法繫之，逐漸自隧道底部砌至兩側，若隧道較大，則須築工作台而砌，台以木製，置於新砌磚圈之上。如泥土柔軟，磚圈不能直接建砌其上，則可用圓形樣板二條，圈外釘 2 吋木板製成一木殼，附於隧道四壁，乃於木板外空隙處打塞泥土使之堅強，待除去木殼後，再行砌磚。建築隧道頂部襯砌時，須用拱膽，拱膽可用平行隧道軸之條板釘於肋木，肋木又釘於三角形之結架上。拱膽須用襯砌架支持，其與隧道頂部四壁空隙之處，將磚塊砌入，隨即加以擣實。拱膽除去後，內壁須刷清並加嵌灰。磚襯砌亦可用逆卷法建築之，惟程序適反。砌磚之層數至少須有兩層，多則七八層，須視泥土壓力與隧道截面之大小而定。泥土極軟，壓力較強時，隧道底部宜築混凝土基礎，以承托上部之圻工。

202. 鑄鐵襯砌工 ⁽⁶⁵⁶⁾ 鑄鐵襯砌工，多用於盾構隧道及其他較大之隧道中，最初係巴羅氏用於倫敦泰晤士河下之第二盾構隧道中。⁽⁶⁵⁷⁾ 鑄鐵襯砌常製成襯砌塊，配合而成。隧道外徑在 14 呎以下者，襯砌工作宜用人工為之，先將襯砌材料，用材料車運至工作地點，工人即以鈎形鐵棒或手作鉗穿越螺旋孔，吊出搬運車，另加三人，將此襯砌舉至建築地位（每塊重約 350 磅），隨即鋪砌，頂部之襯砌工，宜用襯砌支架支持之。大型隧道中則須用舉重器工作之。盾構隧道之鑄鐵襯砌工中之其他重要工作有扣緊，嵌灰，封口，搭口等⁽⁶⁵⁸⁾工作，茲分述於後。

⁽⁶⁵⁸⁾ 一，扣緊 鑄鐵襯砌工之扣緊工作，實為隧道生命長短之最大關鍵，若螺旋未曾扣緊，則截面即將變形，或漏水，故在架設工作台之前，隧道底部之襯砌須先行扣緊，然後待頂部襯砌工完成後，再加扣緊，扣緊可用手作旋鉗為之。

⁽⁶⁵⁸⁾ 二，嵌灰 嵌灰之目的有二，一為填充襯砌與地層間之空隙，使地層壓力平均分配於襯砌之上，一為防止漏水。每一鑄鐵襯砌塊均設有錐形嵌灰孔一枚，水泥漿可用手作注射器或高氣壓嵌灰機⁽⁶⁵⁹⁾注入之。手作注射器，係 1886 年為格萊海特氏用於倫敦泥地

層中，其注射料為石灰和水，惟因注入之壓力較小，故已多不用。高壓嵌灰機之壓力，可自每平方呎數十磅增至一千磅以上，其效率甚佳。又嵌灰機注射口，其嵌灰孔間應設一閘門，用以控制灰漿之流量，防止漿液之倒流。嵌灰之副作用，在防止襯砌之發生裂痕及修補襯砌之破碎，或加強坑井之襯砌而抵禦地下水之侵入。每一嵌灰機之嵌灰距離，可遠至 500 呎，故嵌灰員必須具有經驗，足以自由控制氣壓之高低，灰漿之稠密，配合料之比例及嵌灰機裝置之地點，以求得一預期之效果，並增加襯砌之安全性。嵌灰所用水泥漿約為 1:1，即每袋水泥加水 6^(66c) 至 8 加侖，若攪細砂製作膠沙，則砂質宜細而純，漏水甚多時，更可加入棉紗以增其稠度。開始嵌灰時，嵌灰孔須加洗清，所用之壓力宜低，然後逐漸增加，以嵌灰機之活動部分上，摩擦不生火花為度。

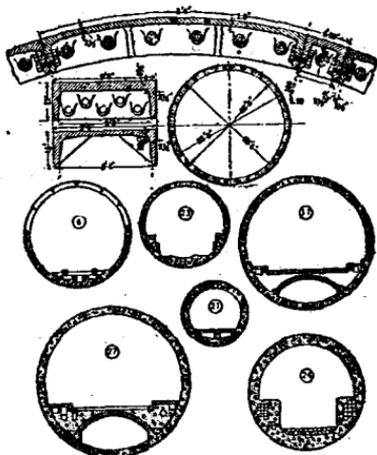


圖58 東河隧道所用之鑄鐵襯砌環

圖59 鑄鐵襯砌隧道之截面圖(672)

6 = 聖克來爾 11 = 布拉克華爾

21 = 格林尼治 23 = 巴特萊

42 = 東河, 賓省鐵路 27 = 洛忒赫

三、封口，鑄鐵襯砌中之螺旋孔，常因不能與螺旋密切吻合，致生漏水等弊，為補救計，須用封口手續。業經應用之封口方法有三種，一為培克耳街，滑鐵盧，賓夕法尼亞，北河及東河，巴特萊諸隧道中所用之法，係將每一螺旋之墊圈下繞一圈飽和紅鉛漿及沸熱蓖麻子油之棉紗或麻棕。⁽⁶⁶¹⁾ 一為賓夕法尼亞東河隧道所用之法，係採用特製之螺旋，即螺旋紋直徑較大，俾得密切吻合，更加用前法，使增防水之效率。⁽⁶⁶²⁾ 又一謂之灌鉛法，係用適當尺寸之鉛管割成數段，插入孔邊空隙，或用鉛製墊圈，當螺旋旋入時，即將鉛壓扁，以防漏洩地下水，此法為格林尼治及洛忒赫隧道所用。⁽⁶⁶³⁾
⁽⁶⁶⁴⁾
⁽⁶⁶⁵⁾
⁽⁶⁶⁶⁾

四, 搭口 ⁽⁶⁵⁸⁾ 搭口工作乃為防止襯砌接縫間之漏洩者也。鑄鐵塊配成之襯砌環四周接縫處, 皆有凹形槽, 即為搭口料之搭口槽也。槽闊約 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{3}{4}$ 吋, 深約 $1\frac{1}{2}$ 吋, 搭口料可用木鰯油, 水泥, 軟鉛及養化搭口料。軟鉛僅適用於比較淺狹之搭口槽。養化搭口料為一種鐵屑及鹽化銻 ⁽⁶⁶⁷⁾ 之結晶, 另加硫黃以增其養化作用。此種混合料須新調和者始克奏效, 故逕於工場提桶中臨時配合而後塗入搭口槽, 數小時後搭口料即變為銹鐵狀之搭口。普通所用養化搭口料之配合比例為鹽化銻 2 磅, 鐵屑 400 磅。底部及側壁上所用時之配合比例為鹽化銻 4 磅, 硫黃 3 磅, 及鐵屑 125 磅。搭口料之送入搭口槽, 可用氣壓或人工控制之扁頭錘推入而打緊之。養化搭口料所用之鐵屑愈細愈佳。惟於進行搭口手續時, 不得遇有滲入之地下水或震動, 否則難免發生裂縫也。 ⁽⁶⁶⁸⁾ ⁽⁶⁶⁹⁾

表 41 即示近世已成隧道之鑄鐵襯砌記錄。

表 41 近世已成隧道之鑄鐵襯砌工

隧道名稱 ⁽⁶⁷¹⁾	環之外徑		環之長度 (吋)	環腹厚度 (吋)	環緣深度 (吋)	鑄鐵襯砌塊數	重量 每呎 磅數	每環之螺旋數		螺旋直徑 (吋)	底部最大頭 (呎)		
	呎	吋						C	H				
1 倫敦塔	7	$1\frac{3}{4}$	18	$\frac{7}{8}$	3	3	971	31	—	$\frac{3}{4}$	—		
2 安特衛普	—	—	$19\frac{3}{4}$	—	4—6	4	—	14	4	—	26		
3 市區及南部倫敦	{	10	$10\frac{3}{4}$	19	1	$4\frac{3}{8}$	6	1880	47	—	1	} 75	
		11	3	20	$\frac{7}{8}$	$4\frac{1}{2}$	6	1880	47	—	$\frac{7}{8}$		
		22	6	18	$1\frac{1}{8}$	$7\frac{3}{4}$	12	—	83	—	$1\frac{1}{8}$		—
		32	0	18	$1\frac{1}{2}$	12	16	—	113	—	$1\frac{1}{4}$		—
4 麥爾西	10	0	18	$1-\frac{11}{16}$	6	10	3061	28	22	—	54		
5 聖克來爾	21	0	$18\frac{3}{4}$	2	7	13	9333	157	56	$\frac{7}{8}$	78		
6 哈得松	{	19	6	20	$1\frac{1}{2}$	9	11	6055	66	36	$1\frac{1}{4}$	} 100	
		18	$9\frac{1}{2}$	20	$2\frac{1}{2}$	8	—	—	66	36	—		
7 格拉斯哥港	17	0	18	1	6	13	4559	66	28	—	62		
8 格拉斯哥區	12	0	18	$\frac{3}{4}-1$	6	9	2241	46	20	1	70		

9 京斯敦	9	0	18	$\frac{7}{8}$	4	6	1580	37	14	1	—	
10 布拉克華爾	—	—	—	$1\frac{1}{2}$	10	14	9408	—	—	—	—	
	27	0	30	2	12		13265	70	75	$1\frac{1}{2}$	80	
11 克利犀虹吸道	8	$2\frac{1}{2}$	$19\frac{3}{4}$	1	4	5	1453	36	24	1	58	
12 東河煤氣	10	10	16	$1\frac{3}{4}$	4	9	2400	46	20	1	122	
13 愛丁堡	17	6	18	$1\frac{3}{4}$	7	14	7100	—	—	$1\frac{1}{8}$	—	
14 滑鐵盧及市區	13	0	20	$\frac{7}{8}$	$5\frac{1}{8}$	7	2326	57	24	1	} 62	
	13	$7\frac{1}{2}$	20	$\frac{7}{8}$	$5\frac{1}{8}$	7	2431	57	24	1		
	24	6	18	$1\frac{3}{4}$	9	13	—	92	—	—		
15 康科特虹吸道	6	$6\frac{1}{2}$	$19\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$3\frac{5}{8}$	4	895	21	15	$\frac{7}{8}$	38	
16 中央倫敦	12	6	20	$\frac{7}{8}$	$4\frac{7}{8}$	—	—	—	—	$\frac{7}{8}$	—	
	22	6	18	$1\frac{1}{8}$	8	12	—	81	39	$1\frac{1}{8}$	—	
17 斯普累	13	$1\frac{1}{2}$	$25\frac{5}{8}$	$\frac{8}{8}$	4	9	1270	72	36	—	35	
18 培克耳街及滑鐵盧	12	$9\frac{1}{2}$	18	1	$4\frac{7}{8}$	6	2643	53	14	$\frac{7}{8}$	70	
19 格林尼治	12	9	20	$1\frac{3}{4}$	6	8	3080	47	—	$1\frac{1}{8}$	70	
20 黎	12	$3\frac{3}{4}$	21	$\frac{7}{8}$	$4\frac{7}{8}$	6	—	29	21	$\frac{7}{8}$	30	
21 巴特萊, 東河	16	$8\frac{1}{2}$	22	$1\frac{1}{8}$	$7\frac{1}{2}$	8	} 4000 4540 5130	—	—	—	—	
	23	0	30	1	8	11		5166	67	60	$1\frac{1}{4}$	—
	22 東河賓省鐵路	23	0	30	$1\frac{1}{4}$	9		11	6776	67	60	$1\frac{1}{4}$
22 東河賓省鐵路	} 陸上	23	0	30	$1\frac{1}{2}$	11	11	9102	67	60	$1\frac{1}{2}$	68
		23	0	30	$1\frac{1}{2}$	11	11	9102	67	60	$1\frac{1}{2}$	93
23 北河賓省鐵路	} 河下	23	0	30	2	11	11	12127	67	60	$1\frac{1}{2}$	98
		23	0	30	$1\frac{1}{2}$	11	11	9273	67	60	$1\frac{1}{2}$	—
24 喜爾西灣	12	6	20	—	—	6	2240	—	—	—	58	
25 洛脫赫	}	30	0	30	2	14	16	16600	—	—	—	
					$1\frac{3}{4}$	14	16	14700	85	79	$1\frac{1}{2}$	97
26 底河	8	6	18	1	5	5	1960	42	18	1	50	
27 紐約第14街	}	18	0	26	$1\frac{1}{8}$	9	9	6323	55	50	$1\frac{1}{4}$	97
		17	2	26	1	7	9	3801	55	40	1	115
		18	0	26	$1\frac{1}{8}$	9	9	6323	55	50	$1\frac{1}{4}$	87
28 白宮街	}	18	0	26	1	7	9	4048	55	40	1	80
		17	2	26	1	7	9	3801	55	40	1	90

29 奧爾得斯利泊	-17	6	26	$1\frac{7}{8}$	9	9	6166	55	50	$1\frac{1}{4}$	89
	17	6	26	1	7	9	3949	55	40	1	89
30 紐約第60街	18	0	26	$1\frac{7}{8}$	9	9	6323	55	50	$1\frac{1}{4}$	116
	18	0	26	1	7	9	4048	55	40	1	85
31 荷蘭車道	29	6	30	$1\frac{5}{8} \sim 2\frac{3}{4}$	14	14	17300	85	75	$1\frac{3}{4}$	101

第十三章 建築時所需之設備

第 1 節 概說

203. 概說 隧道建築時所需之設備，項目甚多，皆頗重要，普通可分兩大部分，一為隧道外之設備或地面設備⁽⁶⁷³⁾，一為隧道內之設備，或坑內設備。

204. 地面設備 建築隧道時所需地面之設備，可分下述數項：

一，電力廠或送電及變壓設備 用以供給電燈及用電機械之電流。

二，低壓空氣設備 用以供給氣室中之低壓空氣，僅於壓縮空氣隧道中有之。

三，高壓空氣設備 用以供給水力鑿岩機，盾構中之推進器及舉重器等以水力為動力之機械。

五，鑿燒設備 用以鑿燒鑿岩機或手鑽之鑽頭。

六，修理設備 用以修理各種損壞之機械。

七，木工場 用以建築木製結構物，如工作台，移動式襯砌支架等。

八，充電設備 用以供給蓄電池機車或其他用蓄電池機械之電能。

九，混凝土混合設備 用以配合混凝土。

十，鍋爐設備 用以推動動力廠之機械及供給蒸汽。

- 十一, 碎石及製沙工場。
- 十二, 火藥庫及倉庫。
- 十三, 運輸車場, 路線, 車輛, 車站等之設備。
- 十四, 通訊設備。
- 十五, 工務員事務所及宿舍。
- 十六, 工人宿舍。
- 十七, 警備, 保安, 消防等設備。
- 十八, 醫務及衛生設備。
- 十九, 娛樂設備。

205. 坑內設備 隧道建築時, 內部所需之設備, 有下述數項:

一, 壓縮空氣設備 用以傳遞自地面送入之壓縮空氣, 包括空氣傳遞管, 活門, 氣壓計等。

二, 水力設備 用以傳遞水力之輸水管。

三, 自來水設備 用以清除隧道及工場中之廢料及供工人盥洗之用。

四, 照明設備。⁽⁶⁷⁴⁾

五, 通風設備。⁽⁶⁷⁵⁾

六, 凍結設備⁽⁶⁷⁶⁾ 用液體氮氣凍結地下水或用冷水降低地層之溫度。

七, 通訊設備。

八, 抽水設備。

九, 調車場及運輸設備。

十, 開掘設備 開掘機械, 盾構, 工作台, 扣緊機械, 鑿岩機, 裝載機械, 爆炸機械與工具, 嵌灰機等。

十一, 安全設備。

第 2 節 壓縮空氣設備

206. 空氣壓縮機械 空氣壓縮機械之種類甚多, 普通所用者, 均為往復式⁽⁶⁷⁷⁾壓縮機, 但因動力機(普通用電動機)與機筒之位置之

不同，可分直接式與雙重式，前者之動力機與機筒互成直線，後者則否。又因壓縮步驟之多寡而有單級式與多級式之分。又因動力機與空氣壓縮機連結方法之不同，而有直結式與皮帶式之別。隧道中之最普通應用者，為以皮帶連結二級式之感應電動機之空氣壓縮機。⁽⁶⁷⁸⁾

壓縮空氣量或活塞排量即壓縮機中啣筒所須之理論體積也。在活塞之兩端，可用下述二式計算之。

$$\text{活塞排量(每秒立方呎)} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) S \cdot N \text{ (有活塞桿之一側)}$$

$$\text{活塞排量(每秒立方呎)} = \frac{\pi}{4} D^2 S \cdot N \text{ (無活塞桿之一側)}$$

式中 D = 活塞直徑(米); S = 動程之長(米);⁽⁶⁸³⁾

N = 1 分鐘中之往復次數; d = 活塞桿直徑(米)。

實際上，因有漏氣，剩留空氣之膨脹等原因，實際空氣吸入之體積常較由前式計算所得者為少，其減少之百分率謂之體積效率。⁽⁶⁸⁴⁾

$$\text{體積效率} = \frac{\text{實際吸入之空氣體積}}{\text{活塞排量}} \times 100$$

單級壓縮機之體積效率約為 70 至 85%，雙級壓縮機約為 80 至 90%。

壓縮機之壓力，普通以超過大氣壓力之值計算之，即用計示壓力表之。⁽⁶⁸⁵⁾ 等溫壓縮或壓縮時溫度不變者，則壓縮之平均有效壓力 P_m 為，

$$P_m = P_s \log \left(\frac{P_d}{P_s} \right)$$

絕熱壓縮或壓縮時熱量不使發散時之 P_m 為⁽⁶⁸⁶⁾

$$P_m = P_s \left(\frac{n}{n-1} \right) \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

若自 P_s 至 P_d 先行低壓之絕熱過程，然後用中間冷却器使冷却至大氣溫度，再經 m 級而壓至 P_d ，則⁽⁶⁸⁷⁾

$$P_m = P_s m \cdot \left(\frac{n}{n-1} \right) \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{n-1}{nm}} - 1 \right]$$

式中 P_s = 吸入空氣絕對壓力(仟克/平方米), P_d = 排出空氣絕對壓力(仟克/平方米); P_m = 平均有效空氣壓力(仟克/平方米); m = 壓縮級數; n = 絕熱過程時為 1.41, 實際值為約 1.3~1.35。

壓縮機所需之馬力則為

$$P = \frac{P_m Q_s}{0.456 k}$$

式中 Q_s = 吸入空氣之體積(每分鐘立方呎); P_m = 平均有效壓力(每平方
(688) 米仟克); K = 壓縮機效率, 單級小型空氣冷式為 20 至 60%; 單級小型水
(689) 冷式為 50 至 80%; 單級中大型水冷式 70 至 85%; 二級水冷式為 70 至 85%。

壓縮空氣時, 壓縮機之機筒中溫度即行增加, 在 m 級壓縮時所增加之溫度為:

$$t = T_s \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{n-1}{m n}} - 1 \right]$$

式中 t 為壓縮空氣溫度(攝氏), T_s 為吸入空氣溫度(絕對溫度), $n = 1.3$ 。

用鐵管將壓縮空氣導入隧道之空氣體積可用達賽⁽⁶⁹⁰⁾公式計算之

$$D = C \sqrt{\frac{d^5 (P_1 - P_2)}{w_1 l}} = \frac{C \sqrt{d^5}}{\sqrt{l}} \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{w_1}}$$

式中 D = 導入空氣體積(P_2 壓力時)(每分鐘立方呎); d = 鐵管直徑(吋); l = 鐵管長度(呎); P_1 = 鐵管始點之空氣計示壓力(每平方吋磅數); P_2 = 鐵管終點之空氣計示壓力(每平方吋磅數); w_1 = 空氣重量 (P_1 壓力時)(每立方呎磅數); 其值見表 42 所示。

表 42 $w_1, \sqrt{w_1}$ 之值

計 示 壓 力	w_1	$\sqrt{w_1}$
60	0.3864	0.622
80	0.4901	0.700
100	0.5936	0.770

C = 鐵管直徑係數, 見表 43 所示。

表 43 C 值

鐵 管 直 徑	C 值	$C/\sqrt{d^5}$ 之 值
2	52.6	297
4	56.5	876
5	59.0	3298
6	59.8	5273
7	60.3	7317
8	60.7	10988
10	61.2	19480

至於壓縮機之座數，則可用下式計算之：

$$N = \frac{vK}{D}$$

式中 N = 壓縮機之座數； v = 隧道中所需之空氣量（每分鐘立方呎）； D = 每壓縮機供給之空氣量（每分鐘立方呎）； K = 安全率普通為 1.5。

207. 所需之空氣體積 盾構隧道中所需之低壓空氣體積，須視漏氣之程度，工人之呼吸量，爆炸所需之空氣，盾構之體積，其中之壓力及前進之距離等而定，根據歷年來開掘隧道之經驗，得乾燥

表 44 壓縮空氣體積實例

隧道名稱 ⁽⁶⁹¹⁾	地 質	D	開掘面 N	C	$\frac{C}{ND^2}$
1 布拉克華爾	砂岩	27.00	1	10000	13.8
2 洛忒赫	堅土	30.00	1	16667	18.5
3 哈得松及滿哈坦	堅土	19.50	2	8954	13.7
		16.58	2	5040	9.7
	淤泥	16.58	2	5040	9.7
4 P.R.R. 哈得松河	砂及砂岩	16.56	2	10840	19.7
	淤泥	23.00	2	13167	12.4
5 P.R.R. 東河	砂及砂岩	23.00	1	13167	24.8
	砂及砂岩	23.00	4	35000	16.6
6 康科特市	粗砂	25.54	1	9500	14.6

地層中盾構氣室內所需之低壓空氣量為

$$C = 12D^2$$

漏氣程度較大之砂礫地層中為

$$C = 24D^2$$

式中 C = 所需空氣量(每分鐘所需之立方呎); D = 隧道外徑(呎);

表 44 即示實例之一斑。

高壓空氣之體積,則須視所用鑿岩機,抽水機,機車等機械之數量,所需空氣之體積等而定之。

208. 送氣管 設所需之空氣體積(D) 為已知數,則低壓空氣之送氣管管徑(d) 可由 §204 之陶賽公式計算之。表 45 即示近世已成隧道中所用之低壓空氣送氣管之管徑。

表 45 低壓空氣送氣管管徑實例

隧道名稱 ⁽⁶⁹²⁾	管徑(吋)	管數	隧道名稱	管徑(吋)	管數
1 洛忒赫	10	2	7 黎	10	1
2 格林尼治	12	1	8 沙尼亞	6	1
3 P.R.R. 東河	8	2	9 奧爾得斯利泊	10	2
4 P.R.R. 哈得松河	10	1	10 白宮	10	2
5 康科特市	12	1	11 紐約第14街	10	2
6 布拉克華爾	8	2	12 紐約第60街	10	2

盾構隧道中常設一副送氣管,以備主要送氣管損壞時補救之用。高壓送氣管係由 3 吋至 4 吋之蒸汽管及橡皮管相互配製而成,並用螺旋結合,以防漏氣。若所送之空氣量較多,則宜用 8 吋至 10 吋之蒸汽管。在送氣管上每隔相當距離須置一 T 形接管,以便於必要時以支管接用。至於送氣管之位置,宜在隧道截面之右邊上下角,而以不妨礙其他設備為原則。

第 3 節 通風設備

209. 概說 隧道中人畜及燈火等所需之氧氣甚多,爆炸及機械等放出之污氣,不甚衛生,若不能設有完善之通風設備,則有礙

於工人之健康與工作之效率。新鮮之空氣中，含氧氣約 21%，含碳酸氣約 0.04%，通風須以保持此種組成爲原則。較長之岩石隧道，通風設備尤爲重要，因隧道中之空氣，常呈呆滯狀態，不易流通，而溫度甚高，不易受外界氣候之影響而稍微低降也。

210. 通風量 隧道中通風量之決定，須賴：一，人畜燈火等呼出排泄之碳酸氣量，與所需之氧氣；二，爆炸所生之 CO₂ 量；三，人畜燈火等所生之熱量；四，岩石溫度；五，開掘時所生之氣體；六，其他有礙空氣狀態之作用。表 46 即示前述一二項所生碳酸氣量；表 47 係示人畜燈火所需之氧氣。

表 46 碳酸氣發生量

發生原因	體積(立方米)
工人一人一小時	0.027
牛馬一頭一小時	0.235
氣油燈一盞一小時	0.015
炸藥一仟克	0.215

表 47 氧氣需要量

需要原因	體積(立方米)
燈火一盞一分鐘	0.027
人一人一分鐘	0.7
牛馬一頭一分鐘	2.0

據勞其利氏之隧道學⁽⁶⁹³⁾中所載謂：普通長隧道中，除導坑外，所需之通風空氣量可約略用下式計算之

$$Q = \frac{A(1-B)}{B-D} - C$$

式中 Q = 24 小時中隧道內所需送入之空氣量(立方米)； A = 24 小時中人畜燈火爆炸等所生之碳酸氣量(立方米)； B = 隧道中之碳酸氣許可量(普通爲 0.002)； C = 隧道中工作區域之體積(立方米)； D = 每立方米空氣中所含之碳酸氣量(普通爲 0.0004 立方米)。

導坑中所需之通風空氣量可由下式計算之：

$$Q = \frac{\frac{A(1-B)}{B-D} - C}{T}$$

式中 Q = 每分鐘通入導坑之空氣量(立方米)； A = 每次爆炸所生之碳酸氣量(立方米)； B = T 分鐘後導坑中許可之碳酸氣量(0.002)； C = 導坑容

積(立方米); $D=0.0004$; T = 導坑爆炸後至開始工作之間之時間(分鐘)

211. 通風導管 通風用之導管, 普通用 1.5 毫米厚之鐵板捲成。導管之直徑, 通風量, 送風距離, 及送風機壓力間之關係, 可由

下式示之:

$$q = 2,067d^{\frac{5}{2}} \sqrt{\frac{P^2 - 216.1}{l}}$$

式中 q = 通風量(每分鐘立方米); d = 導管直徑(風米); P = 送風機出口處之壓力(每平方厘米之仟克數); l = 導管長度(米)。

上式可變為

$$d = 5 \sqrt{\frac{q^2 l}{4,273,068(P^2 - 216.1)}}$$

212. 通風方法 隧道中通風之方法, 大別有自然法與人工法兩種。⁽⁶⁹⁴⁾自然法者係建築坑井後, 因隧道內外空氣溫度差異而生對流作用, 藉以通風之方法也。嚴冬之季, 地面空氣之溫度常較隧道中為低, 則外部空氣之密度較大而重, 冷空氣乃自隧道入口處經導坑而流出坑井。炎夏之日, 通風之方向適反。此種自然通風法, 須在較長之隧道而具有坑井者始有效用, 當春秋之際, 隧道內外空氣之溫度, 相差極微, 幾無通風可言, 故須在坑井底部建火燃燒使坑井發生通風作用, 如工廠之烟突然。

人工通風法, 又可分為兩種: 一為真空法,⁽⁶⁹⁵⁾ 一為充實法,⁽⁶⁹⁶⁾ 前者係將隧道中之空氣抽去, 使趨於真空之狀態, 促成外界新鮮空氣之流入; 後者乃將新鮮空氣送入, 與隧道中污氣相混而驅出之。應用真空法時, 隧道外部之壓力較內部為大, 用充實法時, 則外部之壓力較內部為小, 岩石隧道中爆炸所生之污氣甚多, 以採用真空法為宜。

真空法之種類甚多, 普通有後述數種:

一, 熱管法⁽⁶⁹⁷⁾ 此法係用鐵管, 自導坑通出, 至近隧道口之外端部分, 用爐火加熱, 使管中之空氣膨脹, 驅出管口, 並使管中成為半真空狀態, 吸誘導坑中之污氣。外部新鮮空氣乃自行流入。

二, 蒸汽噴口法⁽⁶⁹⁸⁾ 此法係於上式之鐵管中, 另設蒸汽噴口加

強污氣之吸誘力。

三，吸氣扇法⁽⁶⁹⁹⁾ 此法乃用吸氣扇連接吸氣管，吸出隧道中之污氣。所用之吸氣扇爲一巨型之電扇，裝於巨箱或小屋中，用蒸汽，水力或電力轉動之。

四，鐘式抽氣機法⁽⁷⁰⁰⁾ 此法乃用鐘式抽氣機將污氣抽出隧道。所謂鐘式抽氣機者，⁽⁷⁰¹⁾乃用一擺動梁，梁之兩端各連小型抽氣唧筒多枚，擺動梁每分鐘約擺動十次，每次擺動，將一端升起，一端降落，以此升降之作用，足使各小型抽氣唧筒所抽吸之污氣得以鐵管送出於隧道之外。此法曾於聖哥薩特⁽⁷⁰²⁾隧道中用之，每分鐘抽氣約16,500立方呎。

五，壓縮空氣法⁽⁷⁰³⁾ 此法係將壓縮空氣通入隧道中，任其發散，藉以驅出污氣。若用壓縮空氣機械所發散之空氣，則常因含有油味，惹人憎惡也。

充實通風法之通用者有兩種：

一，水吸法⁽⁷⁰⁴⁾ 水流速度之增加，可引起空氣之流動，此即本法之原理。法將流水垂直自由落於水平地位之銜管中，管端設有漏斗，水流入漏斗時之速度甚大，乃有一部分之空氣混雜其中，隨之流入，待水流至管底，乃自動漏出，而所挾之空氣乃因慣性作用，可以導管送於隧道之內。

二，吹氣扇法⁽⁷⁰⁵⁾ 此法最佳而最普通，係用吹氣扇，將新鮮空氣由導管送入隧道中。所用之吹風扇，約有推進式與離心式兩種。推進式者，類於飛機或汽船之推進器，爲數枚之薄板，裝於一軸上，隨軸旋轉，以送給空氣；此式適用於空氣抵抗力不大，及流通多量低壓空氣之導管。離心式者，如旋轉極速之研磨機，空氣即藉離心作用而吸出。

第4節 照明設備

213. 照明光源 隧道中所用照明之光源可分下述數種：

一，手提燈 手提燈普通爲油燈，若隧道地層中有易燃性氣

體之發生，則用手電筒或安全燈爲宜。其主要用途爲：(a)照明隧道中之測量儀器，木樁，及標記等；(b)工人得用以作爲標號及照明工作地點之用；(c)作爲運輸機車及列車上之指示燈。

二，煤氣燈 普通將煤氣由導管送入導坑，燃點煤氣燈，所得之照明度甚爲強大，但有漏氣及爆炸等之危險耳。

三，乙炔燈 用碳化鈣生乙炔⁽⁷⁰⁶⁾，燃燈照明之，美國華盛頓之輸水隧道中曾用之。⁽⁷⁰⁷⁾

四，電燈 現在之隧道建築中，照明以電燈最爲普遍，因其光強而較安全也。

214. 照明強度 若欲節省經費而增長燈之間隔，以致減少照明強度，則甚屬不智，因在黯淡之光線下，每易肇成撞車等之危險也。又在工場及調車場等處，須用兩三只燈泡合併一處，外套反光燈罩，以增照明之強度，反光燈罩內，宜塗反光金屬或用木料塗白漆而成。若經濟許可，最好裝設弧光燈以代白熾電燈。

普通對於隧道中電燈照明之標準大致如后：

一，襯砌工完成部分：

(a)照明強度 地面上最小需有 0.01 呎燭光。

(b)電燈位置 離地面約 4 米高；在單軌隧道中，宜設於一側，間隔約 20 米處，雙軌隧道中，宜於兩側交錯設置之，間隔約 40 米。

(c)電壓及燭光 100 伏特，50 燭光。

(d)送電裝置 用 7 仟瓦之變壓器，1500 米間點燈 80 盞，饋電點設於中央，用單相 3 線式，許可之電壓降落爲 5%，⁽⁷⁰⁸⁾

二，開掘部分：

(a)照明強度 地面上最小需 0.03 呎燭光。

(b)電燈位置 電燈位置，須視當時情形而定。

(c)電壓及燭光 電壓可爲 50 伏特或 100 伏特，用 50 燭光。

(d)送電裝置 用 7.5 仟瓦之變壓器，在 600 米之間點燈約 100 盞。饋電點設於一端，用單相 2 線式，許可電壓降落爲 10%。⁽⁷⁰⁹⁾

第 5 節 通訊設備

215. 通訊設備 隧道工場中與地面之惟一通訊設備爲電話網，總機應設於地面，以與各動力廠，工作區域，辦公室，修理廠，以及附近市區等有密切之聯絡，而收增進分工合作之效率。在工作繁忙之隧道中，宜另闢專線以避免他方面之滋擾，隧道中之電話機皆裝置於傍牆上，外用防水木罩，以資保護，電話機頂端置一較響之鈴，以促工場中工作人員之注意。

第十四章 各國著名隧道

第 1 節 中國之部

216. 中國之部 我國之隧道工程，雖無發達之可言，然已成之隧道，亦在數十百以上，惟大都屬於鐵路隧道與少數之公路隧道及輸水隧道而已。其他水底隧道，污水隧道等均付闕如。茲就各路所屬隧道之情形，簡略述之。

一、隴海鐵路 本路自海州起，經徐，汴，至鄭州一帶，地勢平坦，無隧道建築之必要；及經滎陽，自汜水至黑石關，橫貫嵩山餘脈，鑿隧道至十一座，最長者達 1558 呎，最短者亦有 413 呎；洛潼一段，鐵門關以東，新安附近，鑿一極短隧道；觀音堂經峽石至張茅，有隧道五座，其中以觀音堂峽石驛兩站間之四號隧道爲最長，計達 1779.58 米。其他自西安以西，至甘肅蘭州，已成與未成者約計有六十餘座。

二、粵漢鐵路 本路北段之單綫隧道計 22 座，長度在 450 米以下，南段之已成與未成者計 70 餘座，最長者達 2000 餘呎，著名者有圓螺角隧道（見工程月刊二卷八期廿三年八月所載圓螺角隧道報告書）白白石隧道（見工程月刊三卷二期廿四年二月所載第三總段一分段隧道工程概述），金龍山隧道（見工程月刊三卷二期

及四期廿四年二月及四月所載金龍山隧道工程之進行),婆婆崖隧道(見工程月刊三卷二期及四期廿四年二月及四月所載婆婆崖隧道工程略述),碓礮冲隧道(見工程月刊四卷五期廿五年五月所載碓礮冲隧道竣工報告),梯子嶺隧道(見工程月刊四卷六七合期廿五年六七月所載梯子嶺隧道竣工報告),梅山隧道,岐門隧道等。

三、平綏鐵路 本路單線隧道有五座，南口青龍橋間凡三，曰居庸關隧道，長 1204 呎；五貴頭隧道，長 150 呎；石佛寺隧道，長 462 呎。其他最大者為位於青龍橋康莊間之八達嶺隧道長 3560 呎，為我國工程師詹天佑氏所築。

四、平漢鐵路 本路單雙線 隧道 各一，即武勝關隧道，長 1115.2 呎，及黃河鐵橋南端榮澤口隧道，長 1061.14 呎，

五、正太鐵路 本路橫越太行山脈，峯巒叢錯，工程艱難，除滇越鐵路外，殆無其匹。全綫計有單綫隧道 23 座，長度均在 650 米以下，白王莊至陽泉一段，工程最難，隧道位於此段者計 14 座。

六、京滬鐵路 本路有雙線隧道一座，位於鎮江附近，長 1332 呎，寬 30 呎。

七、廣九鐵路 本路自深圳至九龍，沿途山嶺重疊，地質均屬岩層，鑿有隧道五座，共長 8794 呎，其中以畢斜山隧道為最大，長度達 7256 呎，費二年有四月始成。

八、箇碧鐵路 本路自鷄街至箇舊，崗巒重疊，計隧道 8 座，長者達 700 米。

九、滇越鐵路 本路為法人開築，為我國之最大鐵路工程，世界所著名者也；全綫長 465 仟米，隧道 172 座，以河口至蒙自 113 哩間最多，計有 128 座，阿迷至可保村間次之。

十、其他 西漢公路及洛惠渠等處，均有隧道之建築，惟規模不甚大耳。

第 2 節 美國之部

217. 美國之部 美國之隧道工程，堪稱世界第一，因其數量之

多而工程之發達也，茲列表如後，示其犖犖大者而已。

表 48 美國之著名隧道

隧 道 名 稱		長 度 (呎)	截 面 高(呎)× 闊(呎)	地 質	襯 砌	建 築 日 期	隧 道 種 類	所 屬 區 域
原 名	譯 名							
1. Auburn	奧本					1818— 21	A	1
2. Alleghany & Portage R.R.	阿利根尼及 波特琪鐵路					1831— 33	B	2
3. Old Croton	舊克洛香	37.10 哩	8.46×7.42	1,18,19	b,r	1842	E	1
4. Cochituate	哥基丘特	14.6哩	6.33×5	16	b	1848	E	4
5. Chattanooga	查大拿加	1477			b	S1848 —49	B, H	19
6. Bergen, Erie R.	卑爾根, 伊利河	4230	21×28	10	b,s	D1855 —61	B, H	6
7. Brooklyn W. S.	布魯克來 因給水	12.4哩	{ 6.33×8.17 8.67×10		b,r	1859	E	1
8. Brooklyn W. S.	布魯克來 因給水	7.4哩	{ 6.92×9.33 5.92×7.33		b,r	1891	E	1
9. Potomac	頗陀馬克	11哩	9×9		b,r	1863	E	11
10. No. 6. U.P.R. R.	太平洋鐵 路第六	1585	20.2×16	1	t	S1866 —70	B	7
11. Sand Patch	散得帕其	0.9哩	16.5×19.0 19.0×24.0	2,3	r	S,D 1854-71	B	2
12. Baltimore	巴爾的摩 爾	1.3哩	18.5×27	4,5,16, 17	b,s	D1871 —73	B	8
13. Church Hill	丘赤山	0.7哩	19.2×27.5	4	b,s	D1872 —74	B	9
14. Musconetcong	莫斯孔納 特康	4879	21×26	12,14,4	b,s	D1872 —75	B	6
15. Hoosac	呼薩克	25000	19.8×25	1,14, 15,9	b	D1854 —76	B	4
16. Bergen No. 1	卑爾根第 一	0.8哩	21×27	10	b,s	D1874 —77	B	6
17. Sudbury	蘇特堡	15.90 哩	7.67×9		b,r	1878	E	4
18. Mullan	姆蘭	3850	20×15	20	b,s	S1883	B	12
19. Vosburg	伏斯堡	0.7哩	20.7×28	3,2	b,s	D1883 —86	B	2

20. Stampede	斯旦比特	9950	22×16.5	21'	c,b	D1886 -88	B	11
21. St. Clair R.	聖克來爾	8500		4		1889	J, G	
22. Balt. Belt line	巴爾的摩爾 貝爾特線	8350	22×27	5,4,11	b	D1890	B	8
23. Harlem R.	哈倫河	7.17 哩	10.5 直徑	岩石	b,r	1890	K, J	1
24. Little Tom	小湯姆	1902	20.1×14	2	t,b	S1888 -90	B	9
25. Niagara, Fall	耐啞嘎拉	6700	21×19	12,3	b	1890-92		1
26. Santa Ava	散多阿乏							
27. N. Croton	新克洛吞	33.25 哩	13.53×13.60		b,r	1890	E	1
28. Busk	布斯克	9395	21×15	1	t	S1899		10
29. Harlem R.	哈倫河	610	15 內徑		i	D1903 -04	J	1
30. Hudson R.	哈得松河	6550	23 直徑	22,5,17	i	S1879 -1905	B, J	1,6
31. East R. Gas	東河輸氣		8.5×10.5	14,9,7, 4,19	i	1891-94	J, M	1
32. Brooklyn	布魯克來 因					1891		
33. Boulder	波爾得	6112	21.5×15.7	10	b,s	S	H, B	12
34. Palisades	帕力舍德 斷斯		-×18	10		D	H, B	6
35. Dorchester Bay	多却斯得						J	1
36. Van Buren St.	梵布倫街		30×15.75	22		D-1894	J, B	3
37. Milwaukee	密爾窩基	7.17 哩	12 直徑	4,5,11	b	1891-95	K, E	13
38. Strikler	斯特里克 拉	6441	4×7	1			E	27
39. Kingston	京斯敦						G	1
40. Tremont	特刺孟脫					1897		
41. Orleans R.	奧爾良					1898		

42. Wachusett	窩丘塞脫	8.95 哩	10.5×11.5	18	c, b	1898		4
43. Cascade	喀斯喀特	13813	21.5×16	1	c	S1897 —1900	B	11
44. Sutro	蘇特羅		8.15×10	6		D	B	
45. Battery	巴特來				岩石, 5, 16	1901	G	1
46. Sherman	瑟爾曼	1575		1		D1900 —01		17
47. Boston Harbor	波士頓港					1901	J	4
48. Washington Extension	華盛頓	3.92 哩	9.87 直徑		b, r	1902	E	11
49. Gallitzin	加立特新	3700	23.5×17.5	2, 3, 12, 4, 13	c, s	S1903 —05	H, B	2
50. Jersey City	澤稷市	10.25 哩	6 直徑			1904	E	6
51. Torresdate	托列斯多脫	2.61 哩	10.5 直徑	岩石	b, c	1904	E	2
52. Weston	惠斯東	12.42 哩	9.25×10 12.17×13.17		b, c	1904	E	4
53. Cincinnati	辛辛那提	22264	7 直徑		b, c	1905	E	5
54. Cincinnati	辛辛那提	1426				1905	L	5
55. Scranton	斯克蘭吞	4750	22×17	2, 3	t, c, s	S1904 —05	B	2
56. Chicago Subway	芝加哥地道	65 哩	7.5×6	4	c	1901—	I	3
57. Salt Lake City	鹽湖市	7.2 哩	4.46×3.42			1906	E	16
58. Cottonwood	科吞伍德	0.2 哩	5.25×5.25			1906	K	15
59. Pinto	品多	0.92 哩	5.25×5.25			1906	K	15
60. Newark	紐亞克	1.33 哩	5.0×5.0			1906	E	6
61. Capital hill	卡比多爾山	4230	20×16	5, 4, 11	b, c, s	D1904 —07	H, B	11
62. Mystric	密斯曲里克					1907	G	4
63. St. Paul Pass	聖保爾帕斯	8750	22.75×16	6	t	S 1907 —09	B	18, 12

64. Umatilla	烏麥的拉	0.89 哩	3.92 × 3.92						K, F	14
65. Philadelphia Subway	菲列得爾菲亞地道							1903—07	I	2
66. Detroit R.	底特律	6625	23直徑			st.			B, J	20
67. Bergen No. 2	卑爾根第二	4230	26.9 × 30	10	c		D 1906—09		B	6
68. Brooklyn	布魯克來因							1901—07		1
69. N.Y. 14th St.	紐約第14街								G	1
70. White hall	白宮								G	1
71. Old Slip	奧爾得斯利泊								G	1
72. N.Y. 60th St.	紐約第60街								G	1
73. Penn. Twin.	賓省雙孿	9460	18.2 × 16.3	9	b, c		D 1905—09			1
74. Penn. 3tr.	賓省三孔	1120	18.2 × 39.7	9, 5	b, c		T 1907—09			1
75. Bergen hill No. 3	卑爾根山第三	2.2 哩	18.3 × 19	2, 3, 7, 8	b, c		D 1905—09			2
76. North R.	北河							1905—09		
77. Gunison	更尼森	30645	11.4 × 10.5	3, 1, 5, 12, 24, 25	c		1905—09		F	10
78. Colorado	科羅拉多	930	14直徑	4, 5				1909	F	10
79. Luramie-Poudre	拉刺米波特	11306	9.5 × 7.5	1, 7, 6				1909	F	10
80. Buffalo	布法羅	1.95 哩	15 × 8	12	c			1910	E	1
81. Boston Subway	波士頓地道	10810		4, 5, 22	b, c		1895—08		I	1
82. Rochester	羅徹斯特	2.27 哩	6 × 6		c		1909—12		E	1
83. N.Y. 6th St.	紐約第6街							1906—11		1
84. Los Angles	勞斯安極立司	42.7 哩	8.25 × 7.5 10.28 × 9.0					1913	E	7
85. Astoria-Bronx.	阿斯都里亞—布隆克斯	4650	18 × 16.75	14, 白雲岩	c		1910—15		M	1

86. N.Y.Subway	紐約地道	109570	13×50 13×25	22, 17	c	TD 1916-19	I	1
87. Rondont	綸道特	23608	14.5 直徑	}	}	}	}	}
88. Wallkill	瓦爾格爾	4.43 哩	14.5 直徑					
89. Hudson	哈得松	5.68 哩	14.0 直徑					
90. Moodna	莫特那	5.68 哩	14.2 直徑					
91. Yonkers	永刻茲	2.46 哩	14.0 直徑					
92. City	市區	16.6 哩	16.6 直徑					
93. Cleveland	克利夫蘭	3.00 哩	10直徑	4	c	1917	L,G	5
94. Kensico By-pass	壘雪哥					1916		1
95. Strawberry	司特老蓓 蕾	19100	10.5×9	12,2	c, t		F	6
96. Chicago	芝加哥	8哩		岩石	c	1918	E	3
97. Mt. Royal	羅易爾山	17200+	19.75×13	12	c	D1912 —18	H,B	
98. Twin Peaks	孿峯	12000	15×25	16,5,2	c	D1914 —17	H,B	7
99. Roosevelt	羅斯福	15700	10×6	火成層		1907—	E	10
100. Moffat	摩發特	32800+	24×16	14	c	S1924 —27	H,B	10
101. Holland Vehicular	荷蘭車道	9250			i, c	1921— 27	J,G C,	1-6
102. New Casca- de	新喀斯喀 德	41000+	24×16	1	c	S1925 —28	B	11
103. Alameda	阿刺美達	116	32內徑		c		J,C	7

(710)

上表地質一行中：

1=花崗石(Granite), 2=沙岩(Sand stone), 2=頁岩(Shale), 4=粘土(Clay), 5=沙, 6=石英(Quartz), 7=長石(Feldspar), 8=方解石(Calcite), 9=片狀岩(Schist), 10=硬石岩(Hard trap rock), 11=礫石(Gravel), 12=石灰岩(Limestone), 13=板岩(Slate), 14

= 片麻岩(Gneiss), 15=礫岩(Conglomerate), 16=泥土, 17=軟質石, 18=流沙(Quicksand), 19=混合地層, 20=劣質岩石, 21=玄武岩(Basaltic rock), 22=淤泥(Silt), 23=泥灰岩(Marl), 24=石炭層(Carboniferous beds), 25=大理石(Marble)。

襯砌一行中:

b=磚襯砌, c=混凝土襯砌, r=碎石襯砌, s=石工襯砌, i=鑄鐵襯砌, st.=鋼襯砌, t=木材襯砌, n=無襯砌。

建築日期一行中

S=單軌, D=雙軌, T=三軌。

隧道種類一行中:

A=運河隧道, B=鐵路隧道, C=道路隧道, D=污水隧道, E=給水隧道, F=灌溉隧道, G=盾構隧道, H=山岳隧道, I=市街地下隧道, J=水底隧道, K=虹吸隧道, L=取水隧道, M=輸氣隧道, N=岩石隧道。

所屬區域一行中:

1=紐約州(New York), 2=賓夕法尼亞州(Pennsylvania), 3=伊里諾州(Illinois), 4=馬薩諸塞州(Massachusetts), 5=俄亥俄州(Ohio), 6=新澤羅州(New Jersey), 7=加利福尼亞州(California), 8=馬里蘭州(Maryland), 9=維基尼阿州(Virginia), 10=科羅拉多州(Colorado), 11=華盛頓州(Washington), 12=蒙大那州(Montana), 13=威斯康星州(Wisconsin), 14=俄勒岡州(Oregon), 15=亞利桑那州(Arizona), 16=猶他州(Utah), 17=歪俄明州(Wyoming), 18=愛達州(Idaho), 19=田納西州(Tennessee), 20=密喜干州(Michigan)。

第3節 英國之部

218. 英國之部

表 49 英國之著名隧道

隧道名稱		長度 (呎)	截面 高(呎)× 闊(呎)	地質	襯 砌	建築時期	隧道 種類
原 名	譯 名						
1. Thames	泰晤士	1200	22×38	4	b	D1820— 26	G, B

2. Box	波克斯	1.8哩	28×30	25,17,23	b	D1837— 41	B
3. Blechingly	布里慶立	0.8哩	25×24	4	b	D1840— 42	B
4. Saltwood	沙爾特伍德	0.5哩	25×24	5	b	D1842— 43	B
5. Moncreiffe	芒克里夫	0.7哩	19×26.5	17	b	D1845— 48	B
6. Lydgate	呂特該特	0.8哩	20×25	19	b,s	D1854— 56	B
7. Glasgow No. 1	格拉斯哥第一	16哩	8×8	4,5	s	1859	E
8. Netherton	尼德東	1.7哩	24.3×27	19	b	D1856— 63	
9. Buckharn Weston	白克漢衛斯東	0.4哩	24×25	4	b	D1859— 63	B
10. Tower	塔	1350	7直徑	4	b	1869	G,B
11. London Subway	倫敦地道					1860—94	I
12. Clifton	克利夫東	1哩	20.8×26	12,15,2	b,s	D1871— 86	B
13. Severn	塞紋	23046	24.5×26	15,12,23, 24,5,11	b	D1879— 86	B
14. City & South London	市區及南倫敦			4,5,11		1886	G
15. Mersey	麥爾西	3750	9內徑	4,5,11	b	1888	G,J
16. Glasgow Harbor	格拉斯哥港			4,5,11		1891—95	G
17. Birmingham	北明翰	73.37哩	8×7.66		b		E
18. Cowburn	考盆	2.1哩	24.5×27	3.17	b,s	D1888— 92	B
19. Topley	托特刺	3.5哩	26.2×27	3,4,2	b,s	D1888— 92	B
20. Blackwall	布拉克華爾		27直徑	4,5,11	b,c	1892	G
21. Waterloo & City	滑鐵盧及市區			4,11		1893	G
22. Manchester	曼徹斯特	95.88哩	7×7.08		c	1894	B
23. Glasgow	格拉斯哥	22.07哩	9×12	4,5	c	1894	E,K

24. Ampthill	安潑飛爾	0.4哩	25×25.5	4	b	D1895	B
25. Central London	中央倫敦			4,5		1896	G
26. Cwm Cerwym	森西默	0.6哩		19	i	S 1897	B
27. Catesby	喀次貝	1.7哩	25.5×27	4	b	D1895—97	B
28. Baker St.	培克耳街			4,11		1898	G
29. Greenwich	格林尼治		11.75內徑	4,5,11		1898	G
30. Lea	黎			4,11		1901	G
31. Brackenagh	布拉根納夫			11,5		1903	G
32. Rotherhithe	洛忒赫		30直徑	4,5,11		1904	G
33. Kingsway	京斯惠			4		1904	G
34. R. Dee	底河污水			4,11		1904	G,D
35. Charing Cross & Hampstead	沙林克羅斯及罕布斯打特			4		1904	G
36. Great North & Strand	大北區及斯得蘭特			4			G
37. Mound of Edinburgh	愛丁堡崗						G,B
38. Hilsea Creek Portsmouth	喜爾西						G,B
39. Alfreton	阿爾夫里多	0.5哩	25.5×26.5	2,17,3,4	b	—1905	

第4節 日本之部

219. ⁽⁷¹²⁾日本之部

表 50 日本在 1500 米以上之國有隧道一覽

線名	隧道名稱	長度(米)	完成時期
1上越線	清水	S 9705	1931
2熱海線	丹那	D 7809	1934

3	仙 山	線	仙 山	S 5347	1937
4	中 央 本	線	笹 子	S 4657	1903
5	石 北	線	石 北	S 4326	1931
6	豫 讚	線	豬 之 鼻	S 3845	1929
7	羅 津	線	雄 羅	S 3850	
8	關 門 聯 絡	線	關 門	3670	1942
9	參 宮 急 行 電 鐵	線	青 山	S 3433	1930
10	筑 豐 本	線	冷 水	S 3259	1928
11	大 阪 電 軌	線	生 駒 山	D 3380	1919
12	岩 德	線	欽 明 路	S 3100	1934
13	因 美	線	物 見	S 3075	1931
14	八 幡 濱	線	夜 晝	S 2880	1935
15	室 蘭 本	線	禮 文 華 山	S 2727	1928
16	篠 ノ 井	線	冠 着	S 2657	1900
17	中 央 本	線	小 佛	S 2546	1901
18	三 吳	線	吳 越	S 2495	1934
19	熱 海	線	泉 越	D 2457	1925
20	東 海 道 本	線	新 逢 坂 山	D 2326	1921
21	豐 肥 本	綫	坂 ノ 山	S 2284	1928
22	山 田	線	第 一 飛 鳥	S 2264	1928
23	木 次	線	下 久 野	S 2241	1930
24	山 陰 本	線	大 刈	S 2217	1930
25	肥 薩	線	大 矢 嶽	S 2097	1911
26	篠 ノ 井	線	第 二 白 坂	S 2084	1902
27	高 山	線	宮 平	S 2079	1934
28	磐 越 西	線	平 瀬	S 2006	1914
29	山 陰 本	線	桃 觀	S 1992	1912
30	高 知	線	斗 賀 野	S 1953	1924
31	日 豐 本	線	夔 山	S 1929	1929
32	紀 勢 東	線	荷 坂	S 1916	1929
33	山 口	線	田 代	S 1898	1918
34	紀 勢 西	線	由 良	S 1885	1928
35	東 海 道 本	線	東 山	S 1865	1921
36	大 湯	山	水 分	S 1861	1926

37	山陰	本線	蘆谷	S 1859	1911
38	函館	本線	稻穗	S 1777	1905
39	上越	線	第一湯檜曾	S 1761	1929
40	紀勢	西線	小坊師	S 1712	1929
41	中央	本線	鳥居	S 1673	1910
42	常磐	線	金山	S 1655	1909
43	中央	本線	善知鳥	S 1653	1906
44	上越	線	第二松川	S 1643	1930
45	奧羽	本線	第二板谷	S 1629	1899
46	上越	線	第一松川	S 1612	1930
47	日豐	本線	德浦	S 1602	1916
48	山口	線	白井	S 1555	1922
49	室蘭	本線	第二靜狩	S 1548	1928
50	上越	線	第四湯檜曾	S 1541	1930
51	日豐	本線	青井岳	S 1529	1916

第5節 德國之部

220. ⁽⁷¹³⁾ 德國之部

表 51 德國之著名隧道

隧道名稱		長度 (米)	建築年分
原名	譯名		
1. Königsdorf	克臬格斯道夫	1500	1837
2. Mariental	馬里安道爾	1040	1885
3. Aix-la-Chapelle Welckenraadt	却貝爾·惠爾肯刺特脫	870	1871
4. Bebenroth	貝本洛斯	928	1872
5. Mettlach	麥特拉黑	1194	
6. Altenbeken	阿爾丁培根	1632	1859
7. Küllstärt	庫爾斯打特	1529	1876
8. Arzweiler	阿及惠拉	2678	1850
9. Kraßberg	克刺堡	3100	1882
10. Sommeran	索漠洛	1696	1873

11. Brandlëite	布蘭特來特	3030	
12. Cochem	科慶	4205	1878
13. Elm	厄爾謨	3500	
14. Nensorg	諾束格	840	1878
15. Longentheilen	耶根其倫	761	1878
16. Dorremberg	多倫堡		
17. Schwarzkopf	士發次考潑夫	934	1854
18. Spree	斯普累		
19. Sonnstain	索斯丹		
20. Elbe	易北		
21. Wonne	元尼		
22. Kiel	基爾		
23. Roosebeck	羅斯培克		
24. Hamburg subway	漢堡地道		
25. Ofen	歐芬		
26. Stafflach	斯塔夫拉		
27. Gries	格里士		

第6節 法國之部

221. 法國之部

表 52 法國之著名隧道

隧道名稱		長度 (米)	截 面 高(米)× 闊(米)	地質	襯 砌	建築 日期	隧道 種類
原 名	譯名						
1. Languedoc	朗基多 克					1679— 81	A
2. St. Quentin Canal	聖昆丁					1803	
3. Mont Cenis	塞尼山	1847	7.5×8	10	b, s	D 1857 —72	N, B
4. Siphonde Clichy	克利岸 虹吸			5		1892	G, K
5. Siphon de la Concorde	康科特 虹吸			4, 5		1895	G, K
6. Siphon de L'oise	樂齊虹 吸			5		1896	G, K

7. Collector de Bieve	比佛						1638	
8. Habas	哈巴斯				18			
9. Paris Metropolitan	巴黎市						1899	I
10. Simplon	新普倫	19800 65042呎	5.9×5.38	12,14 19	r.	S 1895 —1906		B,H
11. Mt. D'or	金山	6104 20021呎	6.55×8.6	12,23	s	1910 —15		B,H
12. Rove	洛味	6440	12.2×21.9	12	c			A
13. Mirabeau	米刺波		-×23.9	23	c	S 1911		J
14. Seine R.	森河		30.1×29.9	23	i	D		J

第 7 節 其他

222. 其他各國之部

表 53 其他各國之著名隧道

國別	隧道名稱		長度 (呎)	截面 高(呎)× 闊(呎)	地質	襯砌	建築 時期	隧道 種類
	原名	譯名						
意 大	1. Col di Tenda	丹達峯	26500				1450— 1899	H
	2. Cristina	克里斯丁那			4		1867— 71	H
	3. Mont Cenis	見表52-3			14		1857— 72	H,B
	4. Giovi	基阿維				r,b	1869	
	5. St. Gothard	見瑞士-1					1872— 82	H,B
	6. Ronco	綸哥	27200		岩石	b,s	1882— 89	
	7. Paulgare	寶爾加羅	23218				1887	
	8. Simplon	見表52-10					1895— 1906	H,B
	9. Turchino	圖京諾			岩石			H

利	10. Prato	布雷多							
	11. Gattico	加的哥						1901—	
	12. Loetsehberg	見瑞士6						1906— 13	
	13. Apulian	亞浦利亞						1915	
	14. Alpine	阿爾泊	61083	21.1×28.3	10	s		1920— 31	
瑞	1. St. Gothard	聖哥薩特	49147	24.6×26.2	14,9	b,r		D1872 —82	H,B
	2. Jung fran	少婦山	20341			岩石		—1912	N
	3. Simplon	見表 52—10						1895— 06	
	4. Bruggwald	布魯格瓦 爾特	5670		23, 11	n		S1907 —08	B
	5. Lincon	林康						—1901	
	6. Loetschberg	洛脫慶堡	47680	22.3×25	3,12, 14,1	c		D1906 —13	H,B
	7. Mt. D'or	金山	20026	20×26.2	12, 23	c		1916— 15	H,B
	8. Lausanne	羅散		8×12	3				
	9. Hauenstein	好斯丹	26401						H,B
澳	1. Arlberg	亞耳堡	33600	25×26.3	6,9, 14	r		1880— 83	H,B
	2. Melbourne	墨爾本							D
	3. Karawanken	喀拉文根	26168					1906	N
	4. Tauern	道安	27965					1901— 07	H,B
	5. Bosruck	波斯魯克	15630					1909	H,B
	6. Aydney Subway	阿特納地 道						1926.	I
墨 西	1. Tequixquiac	忒魁魁克						1866— 95	H,E
	2. City of Mexico	墨西哥市						1906	I

哥	3. Barrientos	巴里安多斯						1903	
	4. Necaxa No. 1	涅克沙第一	2.15哩	9.83×9.17	19	c		1909—13	
西班牙	1. Madrid Sub.	馬德里地道							I
	2. Sosa & Ribabona	所沙·里巴波那							
	3. Albelda	亞爾柏爾達							B
挪威	1. Graveholtz	格林維霍爾次	17400					1895	B
	2. Haversting	哈佛斯丁						1902—08	
匈牙利	1. Budapest	布達佩斯							
比利時	1. Antwerp	安特衛普						1879	G
阿根廷	1. Buenos Aires subway	倍諾斯歐里斯地道	2哩	14.25×24.92	4			1911—13	I
巴西	1. Piraly	拜刺里	5.25哩	13.2×12.85	14	c		1911—13	E/
加拿大	1. Rogers Pass	洛吉斯帕斯	25702	21.12×29	6,9	c		D1913—15	B
新蘭西	1. Athurs Pass	亞森帕斯	28060	16.75×15	2,3	c		S1908—23	B
澳大利亞	1. Arlberg	阿爾堡							B
	2. Oberay	奧布羅	1671					1837	

附 錄

(714)

粵漢鐵路株韶段工程局隧道工程承辦包工施工細則

一、地質之分別 隧道內地質分土質鬆石堅石三種，按其種類分別給價。地質之規定如左：

(甲)土質 土質包括泥沙碎石在內，其中或藏有堅石鬆石鵝卵石等，每塊體積不逾三百立方厘米者均作土質計。如遇地質堅硬體積在三百立方厘米以上土石均似者，分辨之法以該種地質一塊錘至粉碎，放入貯清

水之玻璃杯內攪勻，如水現清者作鬆石計，濁者爲土質。

(乙)鬆石 鬆石包括鬆浮石質能以尖鋤撬棍移動無須轟炸者均作鬆石計。如藏有大塊堅石其每塊體積不逾三百立方厘米者亦作鬆石計。因促進工作雖時用炸藥轟炸，包工人不得藉口作堅石論價。

(丙)堅石 堅石包括堅硬石質，其體積在三百立方厘米以上須用炸藥炸開方能移去者。

二，工程進行方法與程序之規定 開挖隧道應按地質堅軟分別規定進行方法與程序。本局規定圖樣詳示方法與程序，包工人均可採用。在工程進行期間如總工程司另定有較爲適合之方法或程序，一經頒示，包工人應即遵辦。

三，土質工程 隧道工程如係泥沙碎石，應用木架支撐頂上，兩旁加以闌板以防坍塌。其木架疏密應察看地質之黏性如何而定。如壓力過大，木架橫木發現彎壁或裂紋，應即多加木架助力，總以力足支撐維護安全爲度。遇必要時得由總工程司製定木架圖樣，載明尺寸，發交包工照圖支搭配釘。但木架無論疏密，包在價內，不另給價。

四，鬆石工程 隧道地質如係鬆石應用木架及闌板裝頂，其辦法與第三條同。

五，堅石工程 隧道地質如係堅石，除經工程司驗明不須裝頂者外，其中間有不穩之石層，有坍塌之可能者，包工人應遵照工程司之指導，在該處妥爲裝頂，免使發生危險。此項裝頂，視工料之多寡，酌量給價。

六，隧道內鑿出之石 本工程所用之片石及和混凝土之石子，如經工程司驗明隧道內鑿出之石，石質確屬堅硬，准予包工人取用。倘數量不敷應用時，包工人應設法補足。

七，片石 本工程所用片石，質須堅硬，尺寸每面不得少過二十五厘米或其重量不得少過三十仟克爲合格。除用以填塞空隙之小石外，其餘小石不得砌入。所有准用之石須要潔淨，倘有泥土及雜質蓋面，須用清潔水洗淨，方能施用。

八，石子 混凝土所用之石子，其質須堅硬，石面嶙峋。如有泥屑攙雜石粉攙雜在內，須將石子篩過，用清潔水洗淨方能使用。石子用於一·二·四混凝土者，其大小以二厘米至四厘米爲限；用一·三·六及一·四·八混凝土者，其大小以二厘米至五厘米爲限。不得採用未經打開之圓石子。圓石子不宜

用於一·二·四混凝土，其他混凝土須用圓石子時，每石子須打開，至少有兩新面。

九，淨沙 混凝土及灰沙漿所用之沙應潔淨無鹹質泥質油質，並不得太細。其沙粒以大小均勻者為合格。如有不潔之沙或含有攏攪或雜物者，應過篩，用清潔水洗淨方准施用。

十，工程用水 工程用水必須清潔，如工程司認為不合用之水源，不得施用。

十一，混凝土之配合 混凝土係用水泥淨沙石子混合凝結而成，其配合數視工程需要而定。例如配合數為一·二·四即指一份水泥二份淨沙四份石子，若配合數為一·三·六或一·四·八者亦照此類推。所有配數均指體積為比例，須用斗量準。

十二，水泥沙漿之配合 水泥沙漿係用水泥淨沙混合配成，如一·二水泥沙漿即指一份水泥二份淨沙。用清潔水和勻，拌至稀稠適度，然後施用。若配數一·三或一·四等類亦照此類推，所有配數均按體積為比例，須用斗量準。

十三，沙漿用法 凡水泥拌和之沙漿應隨和隨用，因水泥凝結迅速，一經開始凝結，不得施用。如拌和水泥漿太多以致凝結而成廢棄，所廢棄之水泥歸包工人負責賠償。

十四，拌混凝土方法 水泥混凝土用手拌和，其方法應先將各混合料用斗量準相當配數，放至和灰盤附近，先將水泥及淨沙配數乾和。至全堆淨沙與水泥混為一色時，再將石子平鋪在灰盤上，用適量之清潔水洒濕。繼將乾和之洋灰淨沙勻佈在石面，隨即用鏟將石子灰沙底面翻勻，翻至每石子均有灰漿包蓋。如翻時覺得太乾，可酌加清潔水，總以稀稠若膠黏為度。拌混凝土不得有攏攪碎紙木片等攪入。遇有發現，應立即檢棄。

十五，混凝土木模 混凝土所用之木模壓枋支柱等須照圖裝備裝拆，工料價格均包在工程價內。木料須用相當尺寸，模板厚度至少以五厘米為合格，橫壓企撐須安置在相當距離，至遠不得過一米二〇厘米。木質須堅結，工作須週密，以防模之變形。模板內面須刨光，於每次用完後須從新洗淨，並在未安放混凝土前須先將模板內面用稠膩子水塗過。模板須密貼不得稍有罅隙，兩頭須齊整不得參差。在模底及接縫地方須將罅隙塞妥以防灰漿之流出。安放模板時須照圖規定，將模內尺寸量準，不得稍有差異。至安放

位置，亦應與工程司測定之中線相符。非經工程司驗明，不得擅自落放混凝土及拆卸模板。

十六，混凝土落模工作 混凝土一經和至稀稠合度，即撤落模內，隨即用鐵錘在模內插勻。在未放混凝土之前，先將木模掃淨。

每全部份混凝土工作應一氣做完。如因有特別情形，得工程司許可，須分截工作者，在截止之處須於未凝結時先在平面劃成粗紋，並須安放片石，使一半嵌入，一半外露，以便接駁。至繼續放混凝土時，須將接駁面用清潔水洗淨，又掃以一、二水泥沙漿，然後再落混凝土。

混凝土拆模後不得另再塗飾灰漿一層。除非表面有氣孔及蜂眼發現時，可准用刮板沾以淨灰漿在面上磨之使平。此項工作包在工程價內。

十七，寒暑天氣混凝土之維護 在燥熱天時，新結之混凝土，須將混凝土面用濕草蓆或麻包蓋護，並頻頻洒水，一連四天，以免水氣過度蒸發。在冰凍天時即在華氏表三十二度及以下時，非得工程司之許可，並遵照其指定辦法，不得製混凝土，屆時所用熱水鹹鹽及其他防止結冰設備，由包工人自理。

十八，砌片石牆 凡砌片石牆應將石之大面平放，用洋灰沙漿接縫，石間空隙以灰漿石子填塞之，務使全牆結實，不留空隙。牆面露面石應用一、三洋灰沙漿勾縫。又砌石時須先放漿，後放石，用石子填隙須填入漿內。

十九，隧道應設鐵砌部份：（一）隧道底之仰拱，（二）兩旁之洩水溝，（三）兩旁之牆壁，（四）旋拱。

隧道底之仰拱應否建造，須俟挖掘後發現何種地質方能決定。如須建造則用一、三、六水泥混凝土結製。在隧道底遇有水時，須將水抽乾，或改向他處宣洩，方可設施混凝土工作。兩旁洩水溝用一、三、六水泥混凝土建造，溝之外面用十五厘米厚一、三水泥沙漿澆平，在混凝土未盡凝結時施行澆面。兩旁洩水溝應備有相當斜坡以便宣洩，並須依照工程司之指導辦理之。

兩旁牆壁應否建造，須俟挖掘後發現何種地質而定。如須建造，則用一、三、六水泥混凝土或用片石結砌。其擇用混凝土或片石亦應俟審察地質而定。

旋拱係用混凝土磚結構。拱圈之厚度，拱磚之大小，須依照附發圖樣辦理。拱磚須先行製備。拱磚用一、二、四水泥混凝土製成。模之旁板得於落模兩日後拆卸，但新拆模之磚不得搬動。磚模底板得於落模七日後拆卸。拱磚

造成後其維護辦法須依照本細則第十七條辦理。

拱磚木模因迭次翻用受水之浸潤，木板不免發漲，應在每次放混凝土之前，將木模週圍尺寸覆驗合度，並將模板洗滌乾淨，方可再用。

二〇，拱磚結構方法 隧道頂旋拱用上列混凝土磚從兩頭拱脚砌起，其灰縫口厚薄最應注意，務期拱磚砌至拱心時疏密適當。

二一，隧道內避車峒 隧道內每長五十米，設二米一〇厘米深二米四〇厘米高二米一〇厘米寬之避車峒一個，左右相錯，依照附發圖則辦理。

二二，隧道內旁壁設備滲水孔 隧道內每邊牆壁在高於水溝底六十厘米處，及二百七十厘米處，設備七厘米半圓滲水孔，每距離一米五〇厘米一個，上下兩處相錯，依照附發圖則辦理。牆後通滲水孔之部位，用碎石乾填週圍三十厘米，以免沙土掩塞。如有應加設滲水孔之處，由工程司審察情形指定部位由包工人照造，此項工作包括在牆壁價內。

二三，填塞隧道窿過額之空位 開挖隧道窿，除木架支撐應佔空位外，以不逾規定之截面積為合度。倘遇不得已而挖鑿或轟炸過額，則拱頂及牆外所餘空隙須用碎石（碎石至大不得過十五厘米）拌以一·八水泥沙漿填塞。填塞時須舂實。此項碎石填塞包括在各該部份包工程價內。在填塞部份之間板杉枋填塞後三日均可拔去，拔去後之空位，亦應如法填塞之。

二四，抽水之設備 包工人應常備抽水機將隧道內積水抽乾，或挖溝宣洩以便施工。凡有流水之處應避免侵入混凝土內，不使混凝土之灰漿被水沖去。

二五，工人及燈火之設備 工程進行須日夜分班工作，包工人應備足工人，日夜施工，不得稍輟。所用燈火亦應由包工人自備，務使光力充足，利便工作。

二六，隧道工程進行之際，因工作之需要，得隨時通知包工照總工程司所規定之工人數目備足，並得命令兩端同時開工。此外更再欲增加速度起見，得指定隧道中間之適當地點，開鑿直井及橫導坑，包工亦須遵照辦理。其開鑿圖樣說明與尺寸另有規定，開鑿工價由局向包工人議定，議價不妥協時得另招工承辦，包工人無得異議。

二七，隧道兩端之路塹及路隄 隧道兩端之路塹及路隄歸隧道包工施做，其施工方法依照土石方工程承辦工施工細則辦理。

本 編 附 註

(1) Prof. Arthur Vierendeel, 所節錄者爲教授在比利時工程師年會之演辭。(2) 此指 1914~1918 年之歐洲大戰而言。(3) 見左傳。(4) Thebes. (5) Indians, Nubians 及 Aztecs. (6) Assyrians (7) Shalmaneser II. (860—824 B.C.). (8) Palace of Nimrud. (9) Masonry lining. (10) Euphrates River. (11) Corundum. (12) Shaft. (13) Lake Fucino. (14) Subiaco 及 Tivoli. (15) Consul Marcius. (16) Naples 及 Pozzuoli. (17) Posilipo hills. (18) Volcanic tufa. (19) Augustus. (20) Lusignan. (21) Col di Tenda in the Piedmontese Alps. (22) Nice 及 Genoa. (23) Malpas, Languedoc Canal. (24) 見表 52—2 (25) Liverpool & Manchester Ry. in England. (26) 見表 48—2 (27) 見表 48—1 (28) Schuylkill Navigation Co. (29) 見表 53 意大利 3, (30) 見表 48~15. (31) Victor Emmanuel II. (32) Piedmont 及 Savoy. (33) Col di Frejus. (34) Someiller, Grattoni, 及 Grands. (35) 見表 48~15. (36) 見表 53 意大利 8, (37) 表 48~101. (38) New Jersey. (39) Hudson. (40) Beacon tunnel. 見謝彬著中國鐵道史三六三頁。(41) 本隧道位於日本下關驛與門司驛之間, 全長 3,670 米, 其中 1,130 米位於海底, 1936 年興工。1942 年完成。參閱本間仁等著土木工學最近之進步第 13 篇隧道 p. 181. (42) Rectilinear tunnels. (43) Curvilinear tunnels. (44) Cork-screw, or Spiral, or Helicoidal tunnels. (45) Siphon tunnels. (46) 見 C. Prelini's *Tunneling*. (47) Drilling. (48) Tunnels in hard rock. (49) Tunnels in quicksand. (50) Open-cut tunnels. (51) Submarine or Subaqueous tunnels. (52) Fine sand with silt. (53) 見 E. Lauchli 著 *Tunneling*. (54) Tunnels driven through igneous and metamorphic rocks. (55) 表 48—43. (56) 表 48—20. (57) 表 48—63. (58) 表 53 瑞士 1. (59) 表 53 澳洲 1. (60) Albula (61) 表 53 加拿大 1. (62) Tunnels driven through aqueous rocks. (63) 表 48—55. (64) Kingwood

(65) 表 52—11。 (66) Granges (67) Weissenstein (68) 表 53 瑞士 9。 (69) 表 53 澳洲 5。 (70) 表 53 澳洲 3。 (71) Ricken (72) 表 53 意大利 12。 (73) 1. Canal tunnels. 2. Railroad tunnels. 3. Highway Tunnels. 4. Mine Tunnels. 5. Military Tunnels. 6. Sewage Tunnels. 7. Water Supply or Water Conveying Tunnels. 8. Irrigation Tunnels. (74) 1. Tunnels driven by explosion. 2. Digged Tunnels. 3. Shield Tunnels. 4. Compressed Air Tunnels. (75) Mountain Tunnels. (76) City Subways. (77) 1. Single-bore Tunnels, 2. Twin-bore Tunnels, 3. Multi-bore Tunnels. (78) Open Cut. 參閱工程月刊三卷四期(民國廿四年六月)所載賈榮軒著隧道與路塹採用之抉擇。(79) Boring. (80) 見粵漢鐵路株韶段工程局編印之監工須知。(81) 參閱公路第二卷第四期林文英著隧道地質; 中國建設十二卷四期湯克成著工程上所應知的幾種地質常識; 工程月刊三卷六期(民國廿四年六月)王虛中著石質隧道開挖方法之探討; 胡安恂著實用地質學; H. Ries & T. L. Watson 著 *Engineering Geology*; C. S. Fox 著 *Engineering Geology*. (82) H. Gerlach. (83) Timbering 或 Strutting. (84) Underground Water. (85) Rock Temperature. (86) 見 C. Prelini's *Tunneling*. (87) Hard rock. (88) Granite, gneiss, feldspar, 及 basalt. (89) Soft rock. (90) Sandstones, laminated clay shales, mica-schists, 及其他 schistose stones, volcanic rocks. (91) Löss. (92) soft soils (93) Gravels, sand, shale, clay, quicksand 及 peat. (94) 參閱 E. Lauchli's *Tunneling*. (95) Granitoid rocks, gneiss, schists. (96) Limestone. (97) Marls. (98) Conglomerates. (99) Breccias. (100) Carboniferous deposits. (101) Alps 及 Jura. (102) Appalachians 及 Rockies. (103) Folding. (104) Anticline. (105) Syncline. (106) Fault. (107) Canadian Pacific Railway. (108) Valley of the Kicking Horse River. (109) Quartzite of Cathedral Mountain. (110) Mt. Ogden. (111) Mt. Stephen. (112) Shear zone of the fault. (113) Franklin, California. (114) Catskill Mountain. (115) U.S. Geological Survey 及 U.S. Weather Bureau. (116)

Geothermic gradient. (117) Luxemburg. (118) Artesian wells 及 Bore holes. (119) Walferdin. (120) Upper Silesia. (121) Kobrick. (122) W.S. Henwood. (123) Cornwell. (124) Magmas. (125) Unstratified rock 與 stratified rock. (126) 各岩石之原名爲: Granite; Limestone; Shale; Clay; Sandstone; Gneiss; Schist; Protogine; Dry gneiss; Phyllite; Mica schist. (127) Heading. (128) Prof. G. Niethammer. (129) 表 48~100. (130) Colorado. (131) Continental Divide. (132) Denver, Northwestern & Pacific Railway. (133) Platte River 及 Grand River. (134) Lower Crater Lake. (135) Pre-Cambrian age. (136) Boring 參閱 I.C.S. (International Correspondence Schools) Reference Library 之 *Rock Boring*; (137) Percussive boring. 及 Rotary boring. (138) American drill rig. (139) Davis calyx rotary borer, calyx 之意爲 cup-shaped. (140) Chapman rotary drill. (141) Diamond drill. (142) Carpenter's Rig. (143) Drill Rig. (144) Derrick foundation. (145) Derrick. (146) Bandwheel, bull wheel, sand reel, walking beam. (147) Temper screw. (148) Rope socket. (149) Pitman and crank. (150) Tug wheel. (151) Pump. (152) Rope socket, sinker bar, jar, auger or drill stem, bit. (153) Casing pipe. (154) Stand pipe. (155) Core barrel. (156) Calyx. (157) Reducing Plug. (158) Cutter. (159) Adamantine (160) Shoe. (161) Core-lifter shell. (162) Core-lifter ring. (163) Flexibility. (164) 參閱 C.B. Breed & G.L. Hosmer 著 *The Principles and Practice of Surveying* Vol. I. (165) Phosphor-bronze. (166) Hydrofluoric acid 其應用係爲 1880 年德人諾爾頓氏 (Mr. G. Nolten) 所創. (167) Liquid gelatin 其應用係 1883 年奧國工程師麥克佐治氏 (Mr. E.F. MacGeorge) 所發明. (168) 參閱李四光著 扭轉天平之理論. (169) Torsion Balance, Drehwage. (170) Variometer. (171) Haff. (172) Horizontal Directive Tendency 簡寫爲 H.D.T. (173) Vector. (174) 參閱岩崎重三著 日本探礦法. (175) 參閱 E. Grimshell 著 *Physics of*

The Atom Chap. I Art. 7. *The Geological Significance of Radioactivity.* (176) Test bore. (177) Transit survey 及 Level survey. (178) Triangulation. (179) Pennsylvania Railway. 表 48—30。 (180)(181)(182) Surface survey. (183) Topographical survey. (184) Geological survey. (185) Center line survey. (186) Traversing. (187) Shaft survey. (188) Underground survey. (189) W.D. Haskoll; 參閱 F.W. Simms 著 *Practical Tunneling.* (190) Swiss Alpine Club. (191) Contour map. (192) 表 48—14。 (193) 表 48—15。 (194) Tamarack. (195) Beverley R. Value. (196) New York Rapid Transit Subways. (197) Napean Tunnel, New South Wales. (198) Edison Electric Illuminating Co. of Boston. (199) Andes Copper Mining Co., Potrerillos, Chile. (200) Three Mile Water Supply Tunnel, Providence, R. I. Water Supply. (201) Land and Lake Water Tunnel at Chicago, Ill. (202) Polycentric sectional profile. (203) Net clearance. (204) American Railway Engineering Association. (205) Curvature 及 Superelevation. (206) 表 48—27。 (207) Catskill Aqueduct. (208) Hoisting engine. (209) Platform. (210) 參閱 Rziha 著 *Lehrbuch der gesammten Tunnelbaukunst.* (211) Pick 及 Shovel. (212) Pickaxe 及 Crowbar. (213) Steam shovel 及 Compressed air shovel. (214) Blasting. (215) Screw Jack. (216) H.P. Gillette, 參閱氏著 *Earthwork and Its Cost.* (217) 此種機械有泥土開鑿機 Earth-Excavating Machines 與岩石開鑿機 Rock-Excavating Machines 兩種。 (218) Central London Underground Railway. (219) Soft ground bucket excavating machine. (220) Thomson machine, 此機係為高爾忒司各脫公司 Messrs. Walter Scott & Co. 工程師湯姆孫氏 T. Thomson 所設計。 (221) Drilling. 參閱 I. C. S. 之 *Rock Drilling.* (222) Bit. (223) Hand drilling. (224) Machine drilling. (225) Drill machines 或 Power drills. (226) Rotary

type, Piston or Reciprocating type 及 Hammer type. (227) Cylinder. (228) Piston. (229) Piston rod. (230) Ingersoll Rand Co., U.S.A. (231) Steam drills. (232) Compressed-air drills. (233) Electric drills. (234) Solenoid type, generator type, 及 pulsator type. (235) American Union Electricity Co. (236) Siemens-Schuckertwerke. (237) Water turbine. (238) Auger borer. (239) Drifter, sinker 及 stoper. (240) Cradle. (241) Jack hammer. (242) Heavy sinker. (243) Light sinker. (244) Hand hammer. (245) 參閱佐藤周一郎著隧道工學下卷 278~289頁。(246) Compressed air consumption, number of blows, strength of blow. (247) Gage pressure. (248) George Kent Air Meter. (249) Drillometer. (250) Stroke. (251) Efficiency. (252) Paynter Rock Drill Tester. (253) Indicated horse power. (254) Efficiency of tester. (255) Thermal efficiency. (256) Two-stage compressor. (257) H. W. Seamon. (258) Column. (259) Screw clamp. (260) Single-screw column 及 Double-screw column. (261) Horizontal bar. (262) Tripod. (263) Drill carriage. (264) Water tank. (265) 1. 表 48—63 2. Hetch Hetchy 3. 表 50—39 4. 表 48—100 5. 表 50—1 6. Winton 7. 表 48—102 8. 表 50—23 9. 表 50—12. (266) Cradle mounting. (267) Drill. (268) Drill steel. (269) Heat treatment. (270) Fatigue. (271) Jno. Hy. Andrew & Co. (272) Arthur Balfour & Co., Ltd. sheffield. (273) Cruible Steel Co. (274) Rochling Steel Works, Wetzlar. (275) Silesinstahl werke, G. M. B. H. (276) Bohler Bros. & Co., Ltd., Vienna. (277) The Schoeller Bleckmann steel works Ltd., Vienna. (278) Forsbacka Steel Works Co., Ltd. (279) 參閱拙著中國工程師手冊材料試驗編。(280) Shank. (281) Smooth shank, shank with a collar, 及 shank with a rack. (282) Intensity of hammering power at bit end. (283) Chipping, crushing 及 abrasing. (284) Reaming edge. (285) Cutting angle of bit. (286) Flint, hard sandstone. (287)

Granite, diorite. (288) Bit gauge. (289) Gauge drop 或 Gauge step. (290) Forging. (291) Heat treatment. (292) Sharpener. (293) Oil furnace. (294) Pyrometer. (295) Critical temperature. (296) Swaging 或 forming. (297) Gauging. (298) Punching water hole. 見圖 13. (299) Quenching. (300) Hardening. (301) Carbon content. (302) Explosives. 參閱 I.C.S. *Explosive and Blasting* 及 Marshall 著 *Explosives*. (303) Blasters 或 Bursters, 與 Roppellants (本意爲發射劑) (304) Deflagrating, or low, explosives 及 Detonating, or high, explosives. (305) Gun powder 與 Contractor's powder. (306) Nitroglycerine. (307) Sensibility. (308) Stability. (309) Detonation. (310) Black powder 與 Mercury fulminate. (311) Detonators. (312) Detonation speed; Explosionsgeschwindigkeit. 普通多用道特里基 Dautriche 法測定之。 (313) Burning speed. (314) Picric acid. (315) Trinitrolo luene. (316) Tetryl 卽 Tetranitromethylaniline. (317) Blasting gelatine. (318) Dynamite I. (319) Dynamite II. (320) Molecular weight. (321) Avogadro's Law. (322) Explosion energy. (323) Kilocalorie=1000 calories. (324) Explosion temperature. (325) Specific heat. (326) Specific heat at constant volume 與 Specific heat at constant pressure. (327) Co-volume. (328) Ladedichte. (329) Brisant power; Brisanzwert. (330) Trauzl. (331) Nominal brisant power; Nominale brisanzwert. (332) Kraftzahl. (333) R. Neubner. (334) Gelignite 爲膠質炸藥之一種, 多用於英國及日本。 (335) Detonator 及 Detonation fuse. (336) Fuse. (337) Potassium chlorate. (338) Electric detonator. (339) Detonating cap. (340) Resistance type 及 Gap type. (341) Bridge type. (342) Red-heat type. (343) Spark type. (344) Joule's Law. (345) Kindling point. (346) Ignition impulse. (347) Instantaneous detonator.

(348) Delay fuse; zeitzündler. (349) Ohm's Law. (350) Magneto. (351) 普通用者有 Zünderwerke Ernst Brün A. G. 之製品, 所用電池之電壓僅為 1.5V. (352) Cartridges. (353) Charging. (354) Placing cap. (355) Loading and tamping. (356) Stemming; besetzen. (357) Freezing. (358) Bureau of Mines. (359) Randzio. (360) Explosion zone. (361) Zerstorungs zone. 及 Erschütterungs Zone (362) Free surface. (363) Line of least resistance; Linie des kürzesten Widerstandes. (364) Explosion crater or Cone of explosion; Sprengtrichter. (365) Normal crater; normalsprengkegel. (366) Normal charge; Normalladung. (367) 1. Kandergrund. 3. Kubel. 5. Löntsch. 7. 表 48-49. 8. 表 48-3. 9. 表 48-44. 10. 表 48-14. 11. 表 53 墨西哥 1. 12. Mount Hood. 13. 表 48-87. 14. 表 48-80. 15. 表 48-88. 16. 表 48-79. 17. Hunters Brook. 18. 表 48-63. 20. 表 53 澳大利亞 1. 25. 表 50-5. 26. 表 50-27. 27. 表 50-12. (368) Limestone (369) Crystalline schist. (370) Quartz porphyry. (371) Granite. (372) Shale. (373) Gneiss. (374) Hornblende gneiss. (375) Marl, molasse. (376) Limestone of white color. (377) Limestone of brown color. (378) Trachyte. (379) Sandstone. (380) Serpentine. (381) Hornblendite. (382) A. W. & Z. W. Daw. (383) Empirical formula. (384) l 為裝填量, w 為最小抵抗線之長, L 為標準裝填量, 見 §67. (385) 此方程式係著者所擬. (386) Positive root. (387) 參閱 粵漢鐵路株韶段工程局編印之監工須知. (388) Center cut. (389) Diamond cut or pyramid cut. (390) Wedge cut. (391) Quadrangular pyramid cut. (392) Triangular pyramid cut. (393) Double center cut. (394) 一. Center cut holes 二. Assistant holes 三. Side holes 四. Bottom holes 五. Top holes. (395) Drilling efficiency. (396) 1. La Quiabra. 2. 表 48-100. 4. 表 48-102. 6. Winton. 8. 表 48-97-. 9. New Haven. 10. Hetch Hetchy. 11. Bear & Mono. 12. Calderwood. 13. Oneida. 14. Yak. 15. St. Louis waterworks. 16. 表 52-3. 17.

表 53 瑞士 1. 18. 表 48-55. 19. Pennsylvania. 20. 表 50-1. 22. 表 50-22. 23. 表 50-23. 24. 表 50-27. (397) 原文見表 22. (398) Enlargement of heading. (399) Mucking. (400) Hand mucking. (401) Machine mucking. (402) Wheel barrow. (403) Shovel type mucking machine. (404) Conveyor type mucking machine or scraper. (405) Shovel and conveyor type mucking machine. (406) Armstrong shovel loader. (407) Hoar shovel. (408) Nordberg Butler shovel. (409) Marion underground shovel. (410) Busyrus Erie underground shovel. (411) Thew shovel. (412) Osgood shovel. (413) 見表 48-35. (414) Belt conveyor. (415) Lewis Girder. (416) Scraper. (417) Loading platform. (418) Conweigh shovel. (419) Myers Whaley shoveling machine. (420) Gauge. (421) Trolley. (422) Common bearing. (423) Ball or roller bearing. (424) 1. 表 51-12. 2. 表 53 澳大利亞 1. 3. 表 52-10. 4. Albula. 5. 表 51-13. 6. 表 53 瑞士 9. 7. 表 53 瑞士 1. 8. Ender. 9. 表 52-10. 10. 表 53 瑞士 6. 11. Altenhundem. 12. 表 50-5. 13. 表 50-1. 14. 表 50-2. 15. 表 50-12. (425) Slope type 及 Endless type. (426) Draw bar pull. (427) 1. 表 52-10. 2. 表 53 瑞士 1. 3. 表 53 澳洲 4. 4. 表 53 澳洲 5. 6. 表 53 新西蘭 1. 7. 表 53 瑞士 6. 8. Granges 9. 表 53 瑞士 9. 11. 表 48-97. 12. 表 48-77. 13. Lausanne. 14. 表 48-88. 15. 表 48-95. (428) Machine efficiency. (429) Brake. (430) Bulldozer. (431) Soil mechanics. (432) Culmann's theory. (433) Ritter's theory. (434) Heim's theory. (435) Auxiliary bore. (436) Sedimentary strata. (437) Angle of repose. (438) Kommerell formula. (439) Loam. (440) Glacial deposits. (441) A Bierbaumer. (442) Ratkonyer. (443) Gröger. (444) Timbering 或 strutting 參閱 I.C.S. *Timbering*; 佐藤周一郎著 隧道工學. (445) Mr. Rziha. (446) Naensen. (447) Poling-board type 及 Sheet-pile type. (448) Frame strutting. (449) Box strutting. (450) 表 53 澳洲 3. (451) 表 52-10. (452) Ender. (453) 表 53 意大利 1. (454) Theory of structures. (455)

Branch type 及 Radiation type. (456) Arch timbering. (457) Plain arch timbering. (458) South California 及 Oregon. (459) Arch timbering with wall plate. (460) 見表 48-100. (461) Multi-segment arch timbering. (462) Southern long leaf pine. (463) Arch timbering with wall plate brace. (464) Structural steel arch timbering. (465) 見表 50-8. (466) Liner plate timbering. (467) The Commercial Shearing and Stamping Co. (468) New Jersey. (469) Iron segment timbering. (470) 見表 48-78. (471) Truss. (472) Douglas pine. (473) Red oak. (474) Sugar maple. (475) Fir. (476) Red cedar. (477) Shagbark hickory. (478) Heading. (479) Drift. (480) 見表 48-27. (481) Polar protractor. (482) Mr. Alfred Crayen. (483) Full Face excavation method. (484) 原名 Jambo. (485) Bench method 或 Heading method. (486) Top heading. (487) Bench. (488) Independent round. (489) Florence R. (490) Fort George. (491) 見表 48-100 及 78. (492) Top cut method 或 Drift method. (493) 見表 53 瑞士 3, 意大利 3, 瑞士 9. (494) Bergian method 及 French method. (495) Charlerory tunnel of the Brussels-Charlerory Canal. (496) Roof arch. (497) Arch centering. (498) German method 或 Side heading method. (499) 見表 52-2 及表 51-1. (500) Invert. (501) Top heading method. (502) English method 或 Longitudinal bar method. (503) American method 或 Crown Bar method. (504) Austrian method. (505) Oberau tunnel on the Leipsic and Dresden R.R. (506) Italian method. (507) Cristina tunnel on the Foggia & Benevento R.R. (508) Pioneer drift method. (509) Center heading method. (510) Ring blast. (511) 見表 52-10, Regers Pass, 表 48-100, 表 48-102. (512) Bottom heading method. (513) 見表 50-2, 21. (514) Needle beam method. (515) 見表 48-93 及 100. (516) Trench method. (517) Natural type. (518) Strutting type. (519) H. Piling 及 Sheet

Piling. (520) Drain type. (521) Hand pump. (522) Diaphragm pump. (523) Steam vacuum pump. (524) Centrifugal pump. (525) Cut and cover method. (526) Pilot method. (527) 見表 48-68. (528) Cofferdam method. (529) Earth bank method. (530) Sheet pile method. (531) Wakefield type. (532) Earth core wall method. (533) Crib method. (534) Erastus Wyman. (535) Alameda. (536) Posy tube. (537) Pneumatic caisson method. 參閱高速鐵路編第一章 §27。 (538) Prof Winkler. (539) R. Danube. (540) 見表 48-23. (541) Shield method. (542) Brunel. (543) Hydraulic-jack. (544) Brunel's shield. (545) Thames R. (546) Barlow. (547) Greathead. (548) Barlow's shield. (549) Beach's shield. (550) Broadway Pneumatic Underground Railway. (551) Cincinnati tunnel. (552) Mr. Raynald Légouez. (553) 見表 49-10; 表 49-21; 表 49-23; 表 52-4; 表 52-5. (554) 表 48-21; 表 49-20; 表 49-15; 表 48-30; 表 48-31. (555) Roof shield. (556) Prelini's shield. (557) Roof shield type. (558) Shield with compressed air. (559) 各部原名如後。 a. shield. b. Lining segment. c. Working platform. d. Safety screen. e. Bulkhead. f. Material lock. g. Emergency lock. h. Men lock. i. Gang way; run way. j. Shell. k. Diaphragm. l. Hydraulic jack. m. Cutting edge. n. Tail. o. Body. p. Erector. q. Working chamber. (560) Box girder. (561) Piston type. (562) Single acting type. (563) Single acting type with auxiliary plunger. (564) Donne shape. (565) Water head. (566) 1. 表 49-34 2. 表 49-15. 3. Havana Sewer. 4. Ravenswood. -5. Kiel Canal. 6. 表 48-93. 7. 表 49-23. 8. 表 49-25. 9. 表 49 29. 10. Gawanus. 11. Battery. 12. 表 49-16. 13. 表 48-71. 14. 表 43-69. 15. 表 48-70. 16. 表 48-72. 17. Gayoso Avenue. 18. 表 48-30. 19. Lawrence Avenue. 20. Sarnia. 21. P.R.R. Hudson R. 22. P.R.R. East R. 23. 表 48-35. 24. 表 52-5. 25. 表 49-20. 26. 表 49-32. 27. 表 51-13. (567) 見圖 53,m. (568) 見

圖 53, n. (569)見圖 53, o. (570) Bracing. (571)見圖 54, p. (572) Double-arm type 及 Single-arm type. (573) Erector grib. (574) Balance weight. (575) Leading circle; hood. (576) Face jack. (577) Shutter. (578) Excavating machines. (579) Thomson's type. (580) John Price's type. (581) Carpenter's type 及 Anderson's type. (582) Displacement. (583) 4. 表 49-30. 7. 表 49-28. 9. Steinway 其餘見表 32. (584)(a) 見表 33-17. (b) 見表 34-13. (c) 見表 33-16. (585) 1. West Water Street 3. 表 48-62. 8. 表 49-14. 34. 表 48-101. 見餘見表 32 及表 33. (586) London clay. (587) Brute Force method. (588) 見圖 53-c 及圖 54. (589) 見圖 53-e. (590) Grouting machines. (591) East Boston. (592) 見表 32, 33, 及 34. (593) 圖 53 f. h. (594) 見表 32, 33 及 34. (595) 見圖 53 f. (596) 見圖 53-h. (597) Compressed air disease 或 Caisson disease. (598) Pressure Gauge. (599) 見圖 53 g. (600) 8. 見表 51-20 其餘見表 32, 33 及 34. (601) 見表 32, 33 及 34. (602) Observation lock. (603) 見表 37-1. (604) Safty passage 及 Safty ladder. (605) Safty screen. (606) Diving bell. (607) Van der Vencle. (608) 見表 32. (609) 見表 32. (610) 見表 35-11. (611) Safty platform. (612) Regulation of river bed. (613) Protoplasm. (614) Industrial Code, Department of Labor. State of New York, Rule No. 1162. (615) Eustachian tube. (616) Hospital lock. (617) Eddy action. (618) 參閱楊建著錢江水底隧道計劃. (619) Quick-setting Portland Cement. (620) Sika. (621) Richen. (622) 見表 52-10. (623) 1. 註 622. 2. 表 53 瑞士 6. 3. Granges. 4. Weissenstein. 5. 表 53 新西蘭 1. 6. 註 621. 7. 表 53 瑞士 9. (624) Hydraulic radius. (625) Wet perimeter. (626) 見 §130. (627) Cementation; Cement-grouting. (628) Grouting machine 或 Cement injector. (629) Chemical Consolidation. (630) Silicatization. (631) Sodium silicate 及 Calcium chloride. (632) Freezing method. (633) Liquid ammonia. (634) Pumping method. (635) Lining. (636) Top.

(637)Roof arch. (638)Side walls. (639)Bottom. (640)Invert. (641) Wall foundation. (642)參閱 "*Analysis of Stresses in Subaqueous Tunnel Tubes*" by A. A. Eremin, Dec. 1936. A. S. C. E. Proceedings; "*Stress Distribution Around a Tunnel*" by Raymond D. Mindlin. Apr. 1939 A. S. C. E. Proceedings; "*Introduction to the Stress in the Wall Rock of Tunnels*" by F.C. Carstarphen, *The Mines Magazine* May, 1939; "*Stresses Around Circular Holes in Dams and Buttresses*" by I.K. Silverman. A.S.C.E. Transactions Vol. 103, 1938. (643) Method of Work 及 Photo-Elastic Method. (644)Lining molds. (645)Lining strutting. (646)Arch centering. (647)Strutting for side wall lining 或 Leading frames. (648)Built-up type. (649) Kullenberg. (650)Movable type. (651)Broadway Tunnel;表 48-34,表 48-78. (652) Concrete mixer. (653)Timber lining. (654) Concrete lining. (655) Brick lining. (656) Cast iron lining. (657) Barlow's second shield tunnel under Thames River. (658) Bolting, grouting, grummets, calking. (659)Hand grouting machine by Mr. Greathead. (660)Mortar. (661)見表 32. (662) Washers. (663)Hemp saturated in red lead and oil. (664) Pennsylvania, East R. Tunnel. (665)Method of lead grouting. (666)見表 32. (667)Calking materials. (668)Calking groove. (669)Oxidizing calking materials. (670)Sal ammoniac. (671)2.表 53 比利士 1. 9.表 48-39. 13.表 49-37. 14.表 49-21. 17.表 51-18. 24.表 49-38. 其餘見表 32,33 及 34. (672)參閱表 41. (673)Surface equipment. (674)Illumination equipment. (675) Ventilation equipment. (676) Freezing equipment. (677)Reciprocating type. (678)Tandem or straight type. 及 Duplex type. (679)Single stage 及 Multi-stage. (680)Direct driven 及 Belt driven. (681) Induction motor belt driven 2-stage duplex type compressor. (682)Piston displacement.

(683) Stroke. (684) Volumetric efficiency. (685) Isothermal compression. (686) Adiabatic compression. (687) Inter cooler. (688) Air cooling type. (689) Water cooling type. (690) D'Arcys. (691) 3. Hudson and Manhattan 其餘見表 32 及 33. (692) 見表 32, 33 及 34, (693) Lauchli's *Tunneling*. (694) Natural method 及 Artificial method. (695) Vacuum method. (696) Plenum method. (697) Hot-pipe method. (698) Steam-jet method. (699) Suction fan method. (700) Bell exhauster method. (701) Bell exhauster. (702) 見表 53 瑞士 1. (703) Compressed air method. (704) Water suction method. (705) Forced fan method. (706) Acetylene gas produced from carbide of calcium. (707) 見表 48-48. (708) Feeding point. (709) Single phase. (710) 以後各表內標號所指者均照此. (711) 參閱 §3. (712) 參閱 土木工學ポケットブック 第 26 編 鐵道隧道 第 7 章 著名隧道, 土木工學最近の進歩隧道編. (713) 參閱 *Modern Railway Practice of German Railways* Vol. I. (714) 見 粵漢鐵路株韶段工程局編印之監工須知.

隧 道 編 索 引

- | | | | |
|---|---------------|----|---------------|
| 2 | 人行閘 129 | 7 | 坑井 3,37,85 |
| 3 | 人工開鑿 39 | | 坑井之運輸 85 |
| | 人工通風法 150 | | 坑井之支撐 100 |
| | 人工裝載泥石法 78 | | 坑井之測量 27 |
| 3 | 土石工具 38,40 | | 沉埋法 114 |
| | 土石之分類 10 | | 材料閘 129 |
| | 山岳隧道 111 | | 抗壓支架 94,95,97 |
| 4 | 水力鑿岩機 43 | 8 | 泥土隧道之壓力 91 |
| | 水平鑿岩機 44,48 | | 泥石之處置 87 |
| | 水泥注入機 144 | | 泥石運輸車 82 |
| | 水底隧道 112 | | 泥石之裝載 78,81 |
| | 中心綫測量 26 | | 泥石體積之增加 78 |
| | 中央先進法 112 | | 底設導坑專進法 111 |
| | 中央導坑法 111 | | 底坑法 105 |
| | 中國式水底隧道 140 | | 岩石之分類 10 |
| | 木材襯砌工 147 | | 岩石溫度 10,13,19 |
| | 木棧橋 87 | | 砂化法 144 |
| | 日本法 108 | | 法國法 106 |
| | 支撐工 93 | | 取換鑽頭 55 |
| | 比國法 106 | | 往復式鑿岩機 4 |
| | 內燃機鑿岩機 43 | | 刮土斗 80 |
| | 心拔 75 | | 金剛石鑽 9,22 |
| | 手工鑽孔法 40 | | 治療閘 138 |
| | 孔默雷爾公式 90 | | 抽水法 145 |
| | 火藥 4,55 | | 空氣壓縮機 153 |
| | 太平閘 130,134 | 9 | 炸藥 55 |
| | 化學凝固法 144 | | 炸藥之用量 73 |
| 5 | 平台開鑿法 104 | | 炸藥之管理 70 |
| | 包裝構造 95 | | 炸藥之解凍 70 |
| 6 | 地下水 13,16,142 | | 炸藥之裝填 69,73 |
| | 地下測量 28 | | 盾構隧道 115,125 |
| | 地面溫度 18 | | 盾構之空氣需要量 156 |
| | 地直測量 25 | | 盾構之漏氣 132 |
| | 地面梯度 14 | | 盾構之推進器 117 |
| | 地質測探 9 | | 美國法 109 |
| | 地層結構 11 | | 英國法 108 |
| | 自由面 75 | | 拱墩 146,148 |
| | 自然通風法 150 | | 冠木法 109 |
| | 向上鑿岩機 44,50 | 10 | 氣室之工作時間 137 |
| | 向下鑿岩機 44,50 | | 氣閘 127 |
| | 安全簾 132 | | 氣壓之減壓 137 |
| | 先進坑法 111 | | 逆卷法 146 |
| | 全圓開鑿法 103 | | 凍結法 144 |
| | 多心形截面 33 | | 起爆劑 56,62,63 |
| | 曲綫測量 29 | | 針梁式 111 |

- 11 株欽鐵路 177
 通風 157
 通訊設備 162
 開坑 38
 開壕法 111
 頂部導坑法 108
 頂部開削法 105
 淺隧道之開鑿法 112
 淺隧道之壓力 89
 排冰隧道 144
 側壁導坑法 107
 被覆開壕法 112
 旋轉式鑿岩機 41
 混凝土襯砌工 147
 12 硝化甘油 55
 測量 24,30
 發火衝量 65
 發火時間 66
 超高度 35
 奧國法 109
 順卷法 146
 13 運斗裝載機 80
 運輸軌道 83
 運輸機車 84
 電雷管 64,66
 電力鑿岩機 43
 雷管 62
 詹天佑 163
 楊建 140
 鉛壩試驗法 61
 道頂盾構 116
 裝載泥石 78
 照明 160
 意國法 110
 圍堰法 112
 14 漏氣事變 133
 漏氣之預防 134
 蒸汽鑿岩機 42
 斷層作用 12
 壅道 7
 15 導火綫 63
 導坑
 導坑法 104
 導坑帽 64
 導通試驗 68
 退發雷管 66
 德國法 107
 16 隧道之歷史 2
 進行程序 7
 分類 5
 排水 143
 坡度 36
 工程難易 8
 橫截面 33
 頁土深度 19
 隧道上之壓力 87
 壓縮空氣症 135,138
 壓縮空氣鑿岩機 42
 鋼鐵支撐工 99
 磚砌砌工 147
 機械開鑿 40
 褶曲作用 12
 錐鋼 50,51
 輸水隧道 36
 17 縱桁法 108
 18 鏈打式鑿岩機 42
 擴坑 102
 雙層混凝土拱壁法 140
 19 爆炸法 38,69
 爆炸威力 60,62
 爆炸係數 62
 爆炸能量 57
 爆炸之理論 72
 爆炸之化學變化 56
 爆炸錐 72
 爆炸速度 56
 爆炸之氣體壓力 59
 鑄式裝載機 79
 21 襯砌工 36,145
 鐵路隧道 34
 22 鑄鐵襯砌工 148
 25 觀察閘 131
 27 鑽頭 52,54
 鑽錐 50,52
 鑽探 20,23
 鑽孔 40,47,48
 28 鑿岩機 41,50
 鑿岩機之指示馬力 46
 鑿岩機之打擊數 45
 鑿岩機之空氣消耗量 44

◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎
◎ 版權所有 ◎
◎ 翻印必究 ◎
◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎

- ◆ 著作人 見本書封面
- ◆ 主編者 汪 胡 楨
- ◆ 印刷所及
經售處 中國科學圖書儀器公司
上海福煦路 649 號
- ◆ 發行人 汪 容 龢
- ◆ 發行所 厚生出版社
上海巨瀨達路 820 街 39 號
電 話 79157

