

中國工程師手冊

(11)

土木 第六冊

第十一編 隧 道



中國工程師手冊

(11)

土木 第六冊

汪胡楨主編

商務印書館出版

中國工程師手冊已成之基本、土木、水利三輯，初版印行於一九四四年，一九四七年十二月改歸我館出版，內容切合我國工程界的實際需要，惟地名、政區名沿用舊名，並有引用偽「國民政府」及舊法規條文的地方，因全書篇幅繁多，一時不易澈底修訂，祇能等待改編時，加以改正。

商務印書館 一九五一，五。

命(365614K)

	印 刷 者	發 行 所	發 行 者	出 版 者	主 編 者	中 國 工 程 師 手 冊 (11) 第 六 冊 木
★ 版 權 所 有 ★	商 務 印 書 館 印 刷 廠	聯 營 印 書 店 各 地 分 店	三 聯 印 書 館 中 華 書 局	中 國 圖 書 發 行 公 司	汪 胡 楨	
			北京 三聯 總 發 行 所 同 六 十 六 號	上海 中 南 路 二 一 一 號		

1950年11月第1版 定價人民幣10,000元
1951年8月第2版

(滬)2001-5000-永

中國工程師手冊總目

- | | | |
|------------|----------------------------------|---------|
| (1)基本第一册 | 第一編 算表 第二編 算學 第三編
高等算學 | 18,000元 |
| (2)基本第二册 | 第四編 物理叢表 第五編 化學 | 5,000元 |
| (3)基本第三册 | 第六編 應用力學 第七編 材料力學
第八編 應用流體力學 | 15,000元 |
| (4)基本第四册 | 第九編 測量學 第十編 工程地質學 | 11,000元 |
| (5)基本第五册 | 第十一編 工程契約 第十二編 換算表 | 6,000元 |
| (6)土木第一册 | 第一編 工程材料 第二編 材料試驗 | 11,000元 |
| (7)土木第二册 | 第三編 結構力學 | 10,000元 |
| (8)土木第三册 | 第四編 土力學 第五編 混凝土
第六編 圬工 | 15,000元 |
| (9)土木第四册 | 第七編 鋼結構 第八編 木結構 | 7,000元 |
| (10)土木第五册 | 第九編 土工 第十編 基礎 | 7,000元 |
| (11)土木第六册 | 第十一編 隧道 | 10,000元 |
| (12)土木第七册 | 第十二編 土木機械 | 5,000元 |
| (13)土木第八册 | 第十三編 道路 | 8,000元 |
| (14)土木第九册 | 第十四編 鐵路工程 第十五編 登山鐵路
第十六編 高速鐵路 | 11,000元 |
| (15)土木第十册 | 第十七編 房屋 | 7,000元 |
| (16)土木第十一册 | 第十八編 都市規劃 第十九編 航空站 | 8,000元 |
| (17)水利第一册 | 第一編 水文學 第二編 閘壩工程 | 8,000元 |
| (18)水利第二册 | 第三編 灌溉工程 第四編 排水工程 | 9,000元 |
| (19)水利第三册 | 第五編 河工學 第六編 渠工學 | 8,000元 |
| (20)水利第四册 | 第七編 發電水力 第八編 海港 | 10,000元 |
| (21)水利第五册 | 第九編 給水工程 第十編 陰溝工程 | 8,000元 |

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

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

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，妙極侏工。重巒疊嶂，巉巖峻險，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⁽²¹⁾下，築一隧道，以維持尼斯及熱亞那⁽²²⁾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⁽²³⁾運河之隧道。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，始以巧工襯砌。

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⁽²⁴⁾運河，始築有軟泥隧道，闊約二十四呎；先用撐架法開掘，繼以巧工襯砌。

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⁽²⁵⁾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⁽²⁶⁾鐵路之隧道，而最初之運河隧道則在奧本⁽²⁷⁾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⁽²⁸⁾。

歐洲塞尼山⁽²⁹⁾隧道及美國呼薩克⁽³⁰⁾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⁽³¹⁾王國之皮特蓋⁽³²⁾與薩服兩部，此兩部原為阿爾卑斯山⁽³³⁾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⁽³⁴⁾；主持之工程師為索米拉，格刺通尼及格蘭第斯，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西州，建造於哈得孫河底，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山隧道，計長2211.63米；隴海鐵路中觀音堂硤石驛兩站間之四號隧道，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. 普勒林尼教授之意見：⁽⁴⁶⁾

1. 硬石隧道⁽⁴⁸⁾——隧道所經，皆係岩層，非用鑽孔及爆炸以⁽⁴⁷⁾

開掘不可。

2. 軟泥隧道——隧道所經，皆係軟質泥土。⁽⁴⁹⁾
3. 流沙隧道——流沙中開掘之隧道。⁽⁵⁰⁾
4. 被覆隧道——隧道入地甚淺，上部泥土極易挖掘者。⁽⁵¹⁾
5. 水底隧道——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——如喀斯喀德⁽⁵⁴⁾、斯日比特⁽⁵⁵⁾、聖保爾⁽⁵⁶⁾、塞尼山⁽⁵⁷⁾、聖哥蘭特⁽⁵⁸⁾、亞爾堡⁽⁵⁹⁾、阿爾部利⁽⁶⁰⁾、洛吉斯⁽⁶¹⁾等隧道。⁽⁶²⁾
2. 水成岩之隧道——如斯克藍香⁽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——如新普倫⁽⁷²⁾及洛脫慶堡⁽⁷³⁾等隧道。

三，依隧道用途之不同而分，則有：⁽⁷⁴⁾

1. 運河隧道；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；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：

1. 單孔隧道⁽⁷⁷⁾；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 地層之探鑽⁽⁷⁹⁾，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. 隧道撐拄架託各木料，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，或立即支拄穩固，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 ⁽⁸¹⁾ 概論

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，⁽⁸³⁾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，⁽⁸⁴⁾地下水之存在；
- 四，⁽⁸⁵⁾岩石溫度之高低。

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。

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。

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。⁽⁹³⁾ 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。

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卻裝置。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，頁岩，粘土，泥灰岩，⁽⁹⁷⁾ 礫岩，⁽⁹⁸⁾ 沙岩，⁽⁹⁹⁾ 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，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，⁽⁸¹⁾ 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⁽⁷⁾諸隧道中，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振或使道壁凹陷，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，裂縫⁽¹⁰⁴⁾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鐵路上，⁽¹⁰⁷⁾在馱馬河山谷⁽¹⁰⁸⁾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⁽¹⁰⁹⁾谷南喀薩特雷爾山之石英岩中，而下部之隧道則位於谷北奧格登