



006791 水利部信息所

分類 445

實用 隧道工程學

國立編譯館主編

汪燮之 著

大中國圖書公司印行

實用隧道工程學

目 錄

第一章 緒 論	1-20
第一節 介 說	1-2
第二節 隧道之史略	2-3
第三節 隧道之分類	3-7
1 就地質情況分類	3
2 就使用功能分類	4
3 就斷面形狀分類	5
第四節 隧道之選位	7-11
1 山區隧道	7
2 都市隧道	8
3 海底或河底隧道	10
第五節 隧道襯砌及其相關設施	11-18
1、襯 砌	12
2 止 水	13
3 排水孔	16
4 背填灌漿	16
5 支 撐	17
第六節 計價線	18-20
第二章 隧道之荷重及襯砌之設計	21-70

2 實用隧道工程學

第一節 概 說	21-24
1 就岩石隧道而言	21
2 就土質隧道而言	22
第二節 隧道之荷重	24-31
1 洞頂垂直壓力	25
2 洞壁側壓力	28
第三節 隧道襯砌之設計	31-70
1 一般考慮	31
2 襯砌之應力分析	32
3 襯砌之設計	61

第三章 岩石隧道施工 71-234

第一節 概 說	71-72
第二節 施工規劃	72-84
1 一般說明	72
2 開挖工作面與施工機具	72
(1) 開挖工作面	73
(2) 開挖機具之選擇	73
3 配合設施	74
(1) 空氣壓縮機	74
(2) 照明設施	74
(3) 排水設施	75
(4) 彎銅機	75
(5) 混凝土預拌廠	75
(6) 混凝土澆置機具	76
(7) 混凝土輸送車	76

(8) 機具修配廠.....	76
(9) 電 力.....	76
(10) 水 源.....	77
(11) 房 舍.....	78
(12) 通訊設施.....	78
(13) 測量儀器.....	78
(14) 交通設施.....	78
(15) 安全衛生設施.....	78
(16) 施工道路.....	79
(17) 出碴場地.....	79
(18) 爆材庫房.....	79
4. 施工人員.....	80
(1) 工程人員.....	80
(2) 工人及機械操作人員.....	81
5. 工作營地.....	81
6. 施工計劃.....	81
(1) 工程內容.....	82
(2) 當地概況.....	82
(3) 施工方法.....	82
(4) 施工步驟.....	82
(5) 機具分配及其進場時間.....	82
(6) 人員分配及其進場時間.....	82
(7) 施工進度表.....	82
第三節 隧道開挖.....	84-126
1 開挖方式之選擇.....	84
2 鑽 孔.....	85

4 實地隧道工程學

(1) 一般說明	85
(2) 鑽 機	87
3 鑽孔佈局	93
4 爆材及其使用	97
(1) 一般說明	97
(2) 炸 藥	98
(3) 雷 管	98
(4) 導爆索	100
(5) 裝 藥	101
(6) 發爆器	105
(7) 檢 查	106
(8) 爆材之儲運	107
5 施工中通風	107
(1) 一般說明	107
(2) 通風量之估算	109
(3) 通風方法	110
6 出 碴	112
(1) 一般說明	112
(2) 裝碴機	113
(3) 運碴機	118
(4) 棄碴場	124
第四節 隧道支撐	126
1 一般說明	126
2 直接支撐	129
(1) 介 說	129
(2) 鋼支撐	130

3 岩石防護.....	160
(1) 一般說明.....	160
(2) 岩 栓.....	162
(3) 噴凝土.....	185
第五節 隧道混凝土襯砌.....	196-234
1 介 說.....	196
2 襯砌混凝土之澆置順序.....	197
(1) 縱向澆置順序.....	197
(2) 橫向澆置順序.....	198
3 襯砌混凝土澆置之準備工作.....	201
(1) 清 理.....	201
(2) 鋼 筋.....	202
(3) 混凝土用材料.....	203
(4) 混凝土拌和及澆置設備.....	206
(5) 混凝土配比之設計.....	208
(6) 模 板.....	214
4 襯砌混凝土之澆置.....	221
(1) 頂拱襯砌混凝土之澆置.....	222
(2) 仰拱混凝土之澆置.....	231
(3) 側壁混凝土之澆置.....	233
(4) 構造縫.....	233
5 襯砌背側之回填灌漿.....	233

第四章 無爆破岩石隧道施工 235-251

第一節 一般說明.....	235
第二節 隧道開挖機.....	238-251

6 實用隧道工程學

1 一般說明	238
2 旋轉式岩石隧道鑽挖機	239
3 掘挖式岩石隧道開挖機	240
(1) 一般說明	240
(2) 履帶式岩石挖機	243
(3) 護殼式隧道掘挖機	246

第五章 土質隧道施工 253-346

第一節 概 說	253
第二節 矢板法	253-259
第三節 管推進法	260-264
第四節 潛盾機隧道施工法	264-346
1 一般說明	264
2 潛盾機開挖隧道之基本構想	266
3 潛盾機種類	268
(1) 一般說明	268
(2) 開口手挖式潛盾機	270
(3) 密閉手挖式潛盾機	270
(4) 開口機械式潛盾機	270
(5) 密閉機械式潛盾機	271
(6) 土壓平衡式潛盾機	272
(7) 泥水加壓式潛盾機	273
(8) 泥土加壓式潛盾機	275
(9) 潛盾機尺寸	276
(10) 潛盾機之設計	278
4 潛盾機施工主要工作項目及其佈置	280

(1) 工作井·····	280
(2) 環片襯砌·····	281
(3) 隧道出碴·····	281
(4) 隧道壓氣·····	282
(5) 土質改良·····	282
(6) 回填灌漿·····	283
(7) 反座力·····	283
(8) 出發工作井口處工作場地·····	284
(9) 泥漿處理設施·····	285
5. 工作井之施工·····	285
(1) 一般說明·····	285
(2) 鋼板樁支撐工作井·····	287
(3) 連續壁支撐工作井·····	289
(4) 沉箱工作井·····	298
6. 環片襯砌·····	300
(1) 一般說明·····	300
(2) 環形襯砌之分塊·····	301
(3) 環片之種類·····	302
(4) 標準環片與異型環片·····	303
(5) 環片接頭·····	305
(6) 環片止水帶·····	305
(7) 混凝土環片之製作·····	307
7. 潛盾機推進曲線之最小半徑·····	310
8. 潛盾機隧道施工中之壓氣工法·····	311
(1) 一般說明·····	311
(2) 壓氣工法所需之氣壓·····	312

8 實用隧道工程學

(3) 空氣消耗量	313
(4) 壓氣室	315
(5) 安全設施	316
(6) 深井或井點抽水降低地下水位法	317
9. 化學灌漿	319
(1) 一般說明	319
(2) 化學灌漿之種類	320
(3) 化學灌漿之材料及其配比	321
(4) 化學灌漿範圍	324
(5) 化學灌漿藥液用量之計量	325
(6) 化學灌漿施灌步驟	325
10. 潛盾施工	328
(1) 預備工作	328
(2) 先期工程	335
(3) 開口式潛盾機施工	337
(4) 一般密閉式盾機施工	339
(5) 密閉泥土加壓式潛盾機施工	341
(6) 泥水加壓式潛盾機施工	342

第六章 沉埋管隧道

347-409

第一節 介 說	347
第二節 沉埋管隧道施設之主要條件	347-349
1 天然條件	347
2 設備條件	348
3 人 員	349
第三節 沉埋管隧道施設之原理	349-350

1 基本原理.....	349
2 沉埋管原理.....	349
(1) 沉埋管構想.....	349
(2) 沉埋原理.....	350
第四節 沉埋管之佈置.....	350-355
1 介 說.....	350
2 沉埋管分節.....	351
(1) 分節原則.....	351
(2) 沉埋管與挖掩隧道之腳接.....	352
3 沉埋管橫斷面形狀.....	354
第五節 沉埋管之設計.....	355
1 沉埋管所受之外力.....	355
2 斷面設計.....	356
3 沉埋管之吃水深.....	357
(1) 一般說明.....	357
(2) 沉埋管吃水深.....	357
(3) 沉埋管鑄裝後吃水深.....	358
第六節 沉埋管之拖航.....	358-362
1 介 說.....	358
2 沉埋管拖航之拖力.....	359
3 拖船之馬力.....	360
4 拖 航.....	361
第七節 基礎浚挖.....	362-365
1 介 說.....	362
2 鉸刀式挖泥船.....	362
3 抓斗式挖泥船.....	364

第八節 沉埋管之製作及下水	365-376
1 介 說	365
2 沉埋管下水法	365
(1) 一般說明	365
(2) 乾塢下水法	366
(3) 浮船塢下水法	367
(4) 滑道下水法	368
3 乾塢之場地	369
(1) 一般說明	369
(2) 乾塢之大小	369
(3) 乾塢場地必備之條件	371
(4) 乾塢之興建	372
4 沉埋管製作	373
(1) 一般工作	373
(2) 混凝土供應機具	374
(3) 鋼筋模板之吊移機具	374
第九節 沉埋管之壓艙	376
1 介 說	376
2 壓 艙	377
(1) 一般說明	377
(2) 壓 艙	377
第十節 沉埋管之下沉	379
1 介 說	379
2 鋼浮台絞車懸吊法	380
3 吊桿船懸吊法	381
4 鋼浮台吊梁懸吊法	384

第十一節 沉埋管下沉時位置之校正	386-390
1 介 說	386
2 鋼浮台絞車懸吊下沉之校正法	386
(1) 觀 察	386
(2) 校 正	387
3 吊桿船懸吊下沉之校正法	389
(1) 觀 察	389
(2) 校 正	390
4 鋼浮台吊梁懸吊下沉之校正法	390
第十二節 沉埋管之坐底	390-399
1 介 說	390
2 直接坐底法	392
(1) 基 礎	392
(2) 坐 底	393
3 間接坐底法	396
(1) 基 礎	396
(2) 剪力樁	397
(3) 倒置千斤頂	398
第十三節 沉埋管隧道之水密措施	399-405
1 介 說	399
2 接頭防漏處理	399
(1) 一般說明	399
(2) 軟性防漏設施	400
(3) 剛性防漏設施	402
3 沉埋管管壁防漏設施	404
第十四節 沉埋管拖放前之準備及綫裝	405

12 實用隧道工程學

1 先期工程	405
(1) 沉埋位置之浚挖.....	405
(2) 基礎拋石.....	405
(3) 錨座製作.....	406
(4) 鋼浮台製作.....	406
(5) 定位塔製作.....	406
2 準備工作	407
(1) 艀裝.....	407
(2) 沉埋管起浮就位.....	408
(3) 拖放日期之預估.....	408
(4) 錨座之拋放.....	409
(5) 拋填砂石料作業準備.....	409

參考文獻	411-414
-------------	----------------

索引	415-438
-----------	----------------

實用隧道工程學

第一章

緒 論

第一節 介 說

隧道 (Tunnel) 爲一以人工方法鑿成之地下空間，通常多供交通或水流等通路之用，目前亦已應用於核子試驗廠地及軍事設施等等特殊功能之構造物。世界上由於人口日益增多，工商業日趨繁榮，因而地面上可用之空間日見短拙，深信不久的將來，爲適應需要，地下城市將因隧道工程技術之發展而有所實現。

除特殊功能構造物外，一般道路或水道，其所以部份選用隧道之理由約如下述：

- (1) 降低路線縱坡，減少爬山繞行並縮短路程，或順應水流坡降。
- (2) 由於路程縮短，減少全線總工程費用。
- (3) 由於坡平路短，節省將來行車費用，並縮短行車時間。
- (4) 減少平面干擾，並可減免冰雪對行車之危害。

惟隧道每公尺之造價，遠較露天填挖道路昂貴，故其長度愈短愈經濟，因而在選取之前，必須先作詳細之經濟分析與比較。

隧道之造價，與所經地段之地質情況，有莫大之關連。凡地質情況良好者，如堅硬且節理 (seam) 稀少之岩石等，其所需之造價即較廉，凡地質情況不良者，如風化且多節理之岩石或軟質土壤等，則其造價即甚昂貴。因此選擇隧道地段時，必先瞭解其地質情況，然後依

工程地質原理加以研判，認定是否適宜，方可決定取捨。

隧道開挖後其拱壁是否需要加鋪襯砌（Lining），端視岩石之情況而定。凡無節理或節理稀少不易風化且堅硬之岩石，開挖後其拱壁即可自行穩定，即無庸加鋪襯砌。至石質較差或軟性地質，則非加鋪襯砌不可。

凡有襯砌之隧道，其襯砌之設計，必須就實地地質情況，依土壤力學（Soil mechanics）或岩石力學（Rock mechanics）理論予以分析，確定其可能加諸襯砌之荷重，然後再據以作結構之應力分析。

因隧道工程其實施技術，關係成敗至鉅，是故本書偏重於實施技術之敘述。舉凡土壤力學或岩石力學理論之推演，概予從略。

一般隧道其頂端距地面之厚度，均須大於隧道外徑之1.5倍以上。如此厚度較小時，多用挖掩法（cut and cover method），亦即先用明挖，於溝內將構造物完成後，再於其頂上回填土石，使與地面齊，此等構造物完成後亦稱隧道，然因其施工方法完全與隧道施工迥異，故在本書中未予詳敘。

本書內容以實用為範圍，後文有關規劃部份，亦以此為原則，不作計劃效益之討論。

第二節 隧道之史略

古埃及即有地下水道（conduits）之設施，此水道係開鑿於軟性石灰岩中。古羅馬對於隧道之興建，更有足堪稱道之成就，如以陶土磨成細粉，摻以石灰製成泥漿，成功地作為隧道之襯砌。又在岩石地段鑿隧道時，以火炙熱待開挖之岩石面，然後役使奴工以冷水潑澆石面，使石質因溫度急降而裂碎，再予以挖除，逐次前進。此法既甚勞力及甚危險。可能為無爆破時代最早之岩石隧道開挖法。

火車興起後，由於鐵路需要平緩之縱坡，因此當需越過山嶺時，無法以陡坡繞山行駛，隧道之大量開築，乃應運而生。因而隧道施工之技術，乃日有改進。稍後公路繼起發展，甚至無遠不屆，隧道更進而廣為應用。而施工技術更隨之日益精進，於是隧道斷面愈益增大，長度日益增長。近來更發展至海底或河底隧道，都市地區之地下鐵道與核能試驗基地及特殊軍事設施等等。前一世紀末所建穿越阿爾卑司山（Alps）之 Simplon 隧道，長達十二英里又 537 碼，施工時間長達八年之久，即為一例，近年日本更於本州與北海道間之海底關一青函（青森一函館）海底隧道，通過海水深達 140 公尺之海底之下，其隧道之長度更達 53.85 公里餘。施工技術之困難，更可想見。於此更可見隧道施工技術發展之一斑。

第三節 隧道之分類

隧道可就地質情況而分類，可就使用功能而分類，亦可就其斷面形狀而分類，茲分別敘述如下：

1. 就地質情況分類

隧道依地質情況，可分為兩大類，其一為岩石隧道（Rock tunnels），另一為土質隧道（Earth tunnels）

(A) 岩石隧道：

早期岩石隧道之定義，為凡必須經鑽孔爆破而開鑿之隧道稱為岩石隧道。近來由於機械隧道開挖機（mechanical tunnel excavators）之發展，開挖隧道時已可毋庸鑽孔爆破，即以直接挖掘或旋轉磨掘工法前進，可節省大量人力及時間，因此上項定義已不能涵蓋岩石隧道之全義。作者以為凡穿越岩石之隧道，即可稱為岩石隧道。

由於天然岩石因石質質地不同及風化程度不同，而呈現不同之硬度，目前所發展之機械隧道開挖機，無論其為挖掘式或旋磨式，在岩石達到某一程度之硬度時（通常約為五度左右），即無法開挖，故機械隧道開挖機，僅適用於硬度較小之岩石，而硬度甚大之岩石，仍舊使用鑽孔爆破之一途。又機械隧道開挖機，對長度較短之隧道，就經濟觀點着想，無法予以採用，因其造價奇昂之故。通常岩石隧道之長度，在二公里以內者，均不宜選用機械式開挖，此亦機械隧道開挖機未能廣為應用之另一原因。

(B) 土質隧道：

凡在粒土層、壤土層、泥沙土層或任何非岩石所組成之地層內開築隧道者，統稱土質隧道。土質隧道不同於岩石隧道，其開挖毋須使用鑽孔爆破方法，但因其開挖面無法直立，拱頂無法自行穩定，尤因常有較多之含水量，不僅造成開挖孔易於崩坍，尤易造成附近或隧道地面之下陷。因而其施工方法與岩石隧道迥然不同。通常其造價亦較岩石隧道為昂貴。然因都市發展需要，故在市區內，仍常建築地下鐵道等之土質隧道。

2. 就使用功能分類

除特別用途之地下工程外，一般可分為交通隧道（Traffic tunnels）及流水隧道（Water-way tunnels）兩類：

(A) 交通隧道：

交通隧道主要係指鐵路隧道（Railway tunnels）及公路隧道（Highway tunnels）而言，此等隧道如較長時，除如一般隧道必須考慮其是否需要襯砌外，尚須考慮照明通風及警報系統等附屬設施，故設計時必須在其斷面內預留空間，甚至設計其所需管線路線及主副機之裝設等。在市區內更須考慮排除雨水所需之排水系統及抽水裝置。