

鐵路員工技術手冊第四卷第四冊

隧道設計与施工

苏联鐵路員工技術手冊編纂委員會編

人民鐵道出版社

鐵路員工技術手冊第四卷第四冊

隧道設計与施工

苏联鐵路員工技術手冊編纂委員會編

徐 在 庸 譯
罗 鎮 球 合校
岑 鋈

人民鐵道出版社

一九五六年·北京

本書系根据苏联铁路員工技術手冊第四卷『桥隧建筑物』譯出。原書包括桥梁設計、桥梁施工、隧道、桥隧建筑物的运营等四篇。本冊为其中隧道一篇，包括隧道設計及施工二章，內容叙述了山地隧道和都市隧道各种有关設計和施工方面的参考資料，可供从事铁路、公路、都市隧道以及水利工程人員的参考。

本卷主編者：Д·Д·畢久金

本冊主編者：В·П·沃耳科夫

В·П·沃羅諾夫

铁路員工技術手冊第四卷第四冊

隧道設計与施工

ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКА

ТОМ 4, ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

苏联铁路員工技術手冊編纂委员会編

苏联國家铁路運輸出版社 (1951年莫斯科俄文版)

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ

Москва 1951

徐 在 庸 譯

罗鎮球 岑 璽 合校

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府 17 号)

北京市書刊出版營業許可証出字第 010 号

新華書店發行

人民铁道出版社印刷厂印刷

(北京市建國門外七聖廟)

1956 年 11 月初版第 1 次印刷

平裝印1——3,085冊

書号: 613 开本: 850×1163 $\frac{1}{2}$ 印張: 7 $\frac{1}{4}$ 千字229 定价(10)1.10元

目 錄

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 隧道設計 | 1 |
| 隧道基本概念 | 1 |
| 隧道路綫的工程地質調查 | 2 |
| 隧道選綫 | 5 |
| 隧道襯砌的構造及材料 | 6 |
| 隧道襯砌的計算 | 22 |
| 隧道施工 | 52 |
| 爆炸开挖岩石 | 52 |
| 壓縮空氣机和壓縮空氣的管路設備 (工程師沃羅諾夫B.П.) | 69 |
| 土石的裝載及運輸 (工程師沃羅諾夫B.П.) | 78 |
| 礦山工作的各部分 | 99 |
| 排水和通風 (工程師沃羅諾夫B.П.) | 107 |
| 礦山法構築隧道 | 121 |
| 用盾構法建筑隧道 | 129 |
| 盾構掘進方法 | 146 |
| 敞開法建筑隧道 | 164 |
| 隧道工作之电气設備 (工程師沃羅諾夫B.П.) | 172 |
| 土壤人工凍結法 | 185 |

隧道設計

隧道基本概念

隧道，也和桥梁一样，是运输中连接綫路上被某种障碍所分开的兩段的最重要的工程建筑物。

隧道依它所在的位置可分为：

- (甲) 山岳的——在山脈及高分水嶺之下的；
- (乙) 水底的——在运河、江、湖和海峡之下的；
- (丙) 城市的——在城市的道路及住宅区域之下的。

隧道依它的用途可分为：

1. 交通用的隧道：(甲) 铁路的，其中包括都市地下铁道的隧道（区間的及車站的）；(乙) 公路的；(丙) 航运的；(丁) 人行的。
2. 水利工程用的隧道：(甲) 水力发电站的引水及排水用；(乙) 给水用；(丙) 灌溉用。
3. 公用事業用的隧道：(甲) 暗溝集流用；(乙) 地下交通道，在隧道中可成为都市地下的独立的交通網。

水底隧道与桥梁相比較，有下列优点：

- (甲) 由於盾構方法开鑿的技術上的巨大的进步和整个建筑作業过程几乎全部机械化，使得水底隧道的建筑更为安全和可靠；
- (乙) 建筑工作的進行不受季節性的水位漲落及流水等等的影響；
- (丙) 在橫过大的河流及海峡时沒有波浪及冰冲击的危險，並比桥梁少受空气及水下的侵蝕。此外，由於河中有桥墩，水上运输的机动性和安全性都会减少，在航运較繁时就要增加通航的桥梁跨度。

在大多数情形下，水底隧道与桥梁相比較的缺点如下：

- (甲) 施工期限較長；
- (乙) 在蒸汽機車牽引的情形下，需要强有力的通風設備；
- (丙) 較高的建筑成本。

但在選擇铁路和水上运输相互交叉的形式时，仍需考慮所有特殊的情况，用編制和对照隧道与桥梁渡河的比較設計的方法，从技術經濟方面判断，並考慮当地的情形，因为如当地的地形的、水文地質的及地質的条件適

当时，水底隧道的施工期限和建筑成本可能較建筑桥梁为少。

隧道路綫的工程地質調查

調查的任务和方法

工程地質調查的任务是研究隧道位置的地質和水文地質的条件和与隧道相交的各种岩石的地質技術性質。

这些調查的結果应能說明下列基本問題：

- (甲) 岩石層的生成和情况，山脈的形成，水文地質条件，地下气体；
- (乙) 岩石的物理机械性質；
- (丙) 开鑿隧道时的溫度；
- (丁) 設置隧道地点的預定的岩石的压力；
- (戊) 区域的地震。

为了解决这些任务要进行詳細的地質測量和水文地質測量，勘察工作（鑽探及探礦，地球物理），水文地質試驗工作和試驗室的研究工作。

研究的范围依隧道定綫的地質勘察工作項目和該区域或区段的文献及档案資料的可靠程度，並也包括气候学，水文学和地形学的知識。

地質測量包括地質成層露头的研究並闡明岩石層次与性質，岩石成份和地殼的構造。

水文地質測量包括特种觀測为調查地層、水的压力及水面的高低等情况，它們的物理性質，水源流量及流出地面的情形，也記載由於地下水作用而引起的岩石变化等等。

鑽探工作是將鑽探試驗孔鑽到隧道所在地位的标高；这些試驗孔設置在路綫上，为初步設計用时，試驗孔之間的距离是300~500公尺，为技術設計用时还要多設置一些。

探礦勘察工作可供較准确的岩石地質結構的資料；用鑽挖試坑（有时是豎坑）和導坑的方法。

試坑法可以在試坑壁上直接研究岩層並可以用擴孔器在平面上採取为實驗室研究用的試件。

試坑的深度通常挖到地下水水面。試坑的尺寸为1×1.5公尺，在特殊情形下（当需要抽水时）为1×2公尺。

勘察導坑可为开鑿隧道方法的審查及選擇，支撐的方式，提供很有价值的資料，也可从進行試驗工作中，決定岩石的压力和岩石的彈性常数。

特殊的研究是指：岩石压力的研究，決定水文地質的要素（滲透系数，

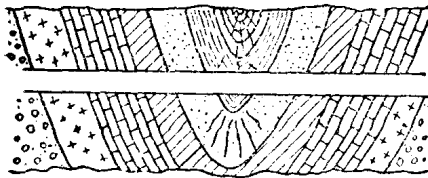
地下水流速度等等)，为了得到計算和設計隧道的必須的資料，而在現場和實驗室作的岩石的物理力学性質的研究。

根据工程地質調查的資料，可以編制隧道設計綫路各比較地質断面圖，並作地質預測。

为了減少時間和射力的开支，可以採用地球物理的探測方法。此法可能直接从地球表面發現並研究岩石層次的連續，它們的組成，地質結構，破坏的形式，岩石的物理性質等等。

影响隧道綫路的地質和水文地質

由褶皱，正断層，平移断層裂紋，變質等構成的岩石地質結構过程，能在很短的時間內使工程地質方面發生很大的变化。



第一圖 隧道与向斜層相交

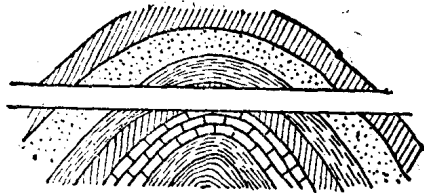
向斜層与隧道横向相交时（見第一圖）使岩石的压力增大，在褶皱反向拱下的个别石塊下墜，而流入的水也很多。隧道与向斜層縱向相交时，在隧道的全長上都是不利的。

隧道与背斜層相交是較有利的情形（見第二圖）。

断層和平移断層對於隧道是不利的因素。隧道不能与这种含有压力的水和可能坍塌的破坏状态同方向設置。

隧道位於山坡上將產生側面單方向岩石压力。

嘎斯特（陷穴）對於隧道的施工很重要，因為它們有时充滿着水。



第二圖 隧道与背斜層相交

如地下水是酸性的（ $\text{PH}=7$ ），軟性的（硬度小於 7° ），並含有侵蝕性的碳酸，有机酸，硫酸鹽，硫酸鎂，氯化鎂和硫化氫，則地下水从化学成分上來說是有害的。含有大量鈣离子的硬水只有很少的侵蝕性。

各种侵蝕物对建筑材料有害影响的程度視地下水流的速度而定。水流的速度愈大，則它的侵蝕性就愈大。

地下气体的影响

在隧道建筑施工时，可能遇到地下气体——沼气（甲烷），二氧化碳，

硫化氫和氮气。

沼气常在开鑿到含瀝青的，含石油的及含煤的地质成分时出现，沼气是从岩石中慢慢的分泌出来，这种气体可能有爆炸的危险。

二氧化碳作用于人体是有害的，空气中二氧化碳的含量大于10%时，对生命有危险。

硫化氢——无色气体，有强烈臭味，味苦，爆炸性很强。空气中含的硫化氢在6%以上时即引起爆炸。硫化氢对石灰砂浆及砖有坏的作用。

氮气可能在较晚期的火成岩中遇到。氮气通常聚集在地下开鑿的上部，並形成无氧的空气。

隧道施工的温度影响

在很深的地下，空气的温度可能很高。

指定深度的温度可用下式估计

$$t_m = t_a + \Delta t + \frac{m-n}{T}$$

其中 t_m ——欲求的指定深度的岩石温度；

t_a ——年平均气温；

Δt ——改正数，以海拔高度计（500公尺是1°，1500公尺是1.6°，2500公尺是3°）；

m ——指定深度，以公尺计；

n ——不变温度的地层的深度，以公尺计；

T ——地温梯度，以温度每变化1°的公尺数计（≈30公尺）。

隧道内部轮廓及净空

隧道内部轮廓的形状及尺寸，首先要依应通过的或应容纳的机车車輛或设备的形状及尺寸来定。

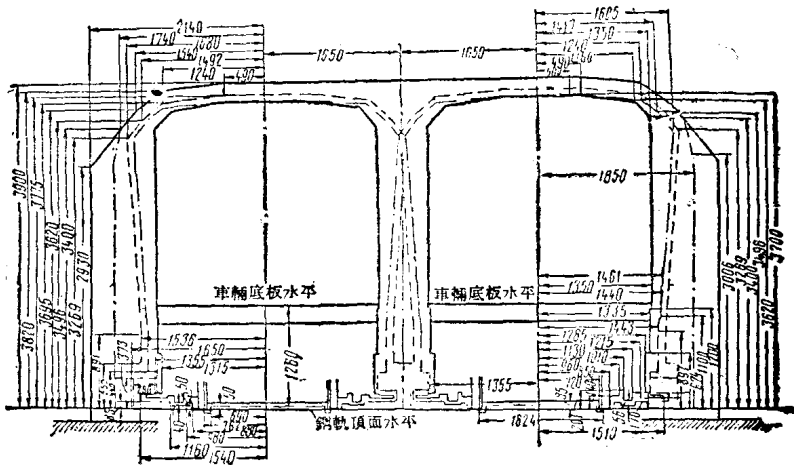
在苏联铁路网中，結構的基本净空图是净空图 2—C（全苏联标准 6435），而在地下铁道——照特殊设计（例如第三图），依据第三图並考虑线路的数目，土壤条件及设计资料来确定隧道的轮廓。

要决定隧道内部轮廓需要注意：

- (甲) 机车車輛和結構净空的要求；
- (乙) 建筑的要求；
- (丙) 经营管理的的要求；
- (丁) 经济上的合理性。

在曲线区段上，线路需要加宽，应依「铁路人员技术手册」第5卷「净

空」篇所列举的数值。



第 3 圖 地下鐵道的淨空圖

隧道選綫

隧道設計应符合敞开区段選綫技術規程提出的所有要求。

按照技術規程，隧道之佈置可与敞开区段的直綫或曲綫佈置相同，於是，敞开区段标准的所有規定，如關於圓曲綫最小半徑，綫和曲綫，相隣曲綫的互相連結，都是完全必須的。

在選擇曲綫半徑时应多注意經營时牽引問題的重要。

隧道入口地点应依岩石的強度及穩定性來決定。

从經濟方面來看，隧道入口地点应大致符合「隧道單位長度單价与在入口處連接隧道的路塹單位長度單价相等」的条件。

在縱斷面上選綫，原則是与敞开区段技術規定和經營时牽引規定相同，但例外的是由於排水的規定，不允許有水平的区段。

影响岩石隧道縱斷面圖的是：

- (甲) 隧道入口處附近的選綫；
- (乙) 地質和水文地質条件；
- (丙) 經營的要求。

隧道可以是單向坡度的或双向坡度的。前者应用於展延綫（螺旋綫及环狀綫），也用於短隧道。后者应用於越嶺区段及水底隧道。

山地隧道中，从山嶺上部穿越而过的叫頂部隧道，而从山嶺下部穿越而

过的叫底部隧道或基部隧道。

为了保证规定重量的列车能通过隧道，应采用较缓和的限制坡度。

缓和限制坡度应在隧道上坡入口外约一列车长度上（但不得小得 900 公尺）施行之，在出隧道之外，在此长度之半的距离内进行之。

隧道中最大允许坡度

$$i_{\text{max}}^T = ki_{\text{pyk}},$$

其中， k ——小于 1 的系数，可从第一表的数值中采用。

系数 K 的数值

第 1 表

| 隧道长度 (公里) | 干隧道及有通风设备的湿隧道 | 无通风设备的湿隧道 |
|--------------|---------------|-----------|
| 0.3到1公里..... | 0.90 | 0.85 |
| 1到3公里..... | 0.85 | —— |
| 3公里以上..... | 0.75 | —— |

地下铁道的隧道直线上最大坡度，照例，允许到 25%，最小坡度是 3%。

在特殊情况下，最大坡度可以到 33%。

在辅助线（连接支线）上，个别地，最大坡度可以采用到 40%，但应该经过有充足根据的比较设计工作。干线最小曲线半径是 400 公尺，个别的，可以用 300 公尺。在辅助支线上，在选线困难的情况下，甚至可以允许有 100 公尺的半径。

隧道衬砌的构造及材料

地下建筑的构造部分

地下建筑的衬砌应能：

- (甲) 保证估开掘岩石的最小尺寸；
- (乙) 要求构造中建筑材料使用最少；
- (丙) 使结构离开建筑限界最小。

这样，就应该研究所有地质及水文地质因素，也要研究模拟的施工方法。

当有静水压力时，应采用坚固的，周围成圆状的封闭式衬砌。

硬质不含水的岩石层的衬砌可以采用非封闭式带有直墙的横断面。

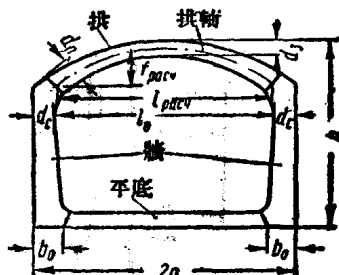
当隧道位置离地面較淺时，用开敞法構築的襯砌可採用長方形狀。

确定襯砌內部輪廓之后，即轉而預拟建筑的各个組成部分的尺寸，因此也确定建筑物的外部輪廓。

礦山法構築的隧道襯砌，主要由拱，边牆，平底或仰拱組成。

这些組成部分(見第4圖)互相連結成
为一个整体結構，並承受所有的作用力。

襯砌用的材料可以是石(片石圬工，料石圬工)磚，片石混凝土，混凝土，鋼筋混凝土，人造石塊，很少用金屬(生鉄及鋼)，而臨時襯砌还可以使用木料。選擇材料应依据当地情形，目的及隧道型式，地質及水文地質条件，預拟隧道建筑的施工方法而定。

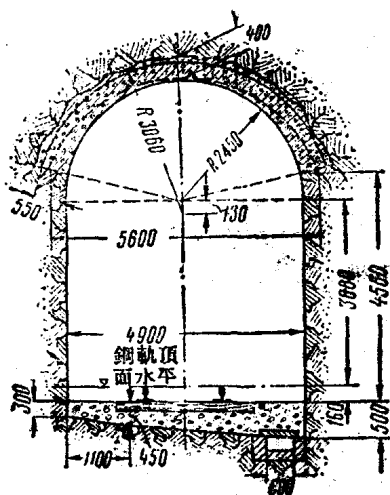


第4圖 襯砌主要組成部分圖

鐵路隧道的襯砌

重型襯砌 在堅實的岩石处使用第5圖所示的襯砌型式。这种型式用於后筑边牆的情形。当有拱無边牆时，襯砌通常筑於虚綫所示輪廓。

岩石强度稍差而有垂直压力时襯砌用馬蹄形(第6圖)。



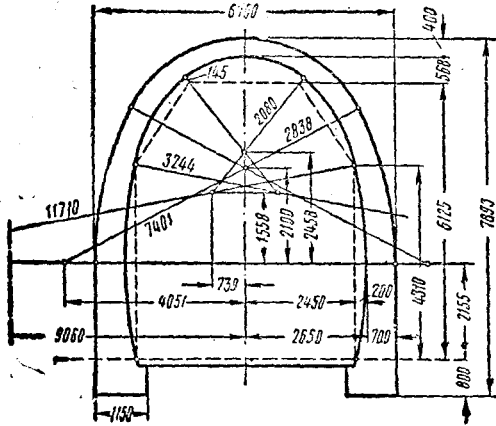
第5圖 硬質岩石的襯砌型式

2公尺，寬2公尺，深1公尺；避車洞——每隔200公尺一个(从隧道一側計算)高2.8公尺，寬0.0公尺，深2.5公尺。隧道入口处作成的特种建筑——

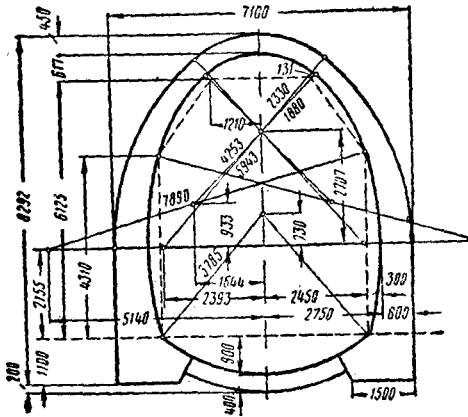
当岩石压力極大时，隧道襯砌应在上面使用尖拱，下面使用仰拱的封閉形(第7圖及第8圖)。隧道遇着軟質岩石时，襯砌需要用封閉形的混凝土或鋼筋混凝土建筑(第9圖)。襯砌型式的基本指标可參看第二表。

当載重不对称时，可使隧道建筑的襯砌保証具有穩定与堅固的不对称的輪廓。

避人洞，避車洞(第10圖)及洞門在襯砌边牆上佈置如象拱一样：避人洞——互相間距高60公尺(从隧道一側計算)，高



第6圖 岩石强度为1.0的襯砌型式



第7圖 岩石强度为2.0的襯砌型式

洞門，其作用：

- (甲) 用御土牆加强入口处，並作合適的建筑方面的加工；
- (乙) 在坚实岩石处只作为入口处的表面裝飾。

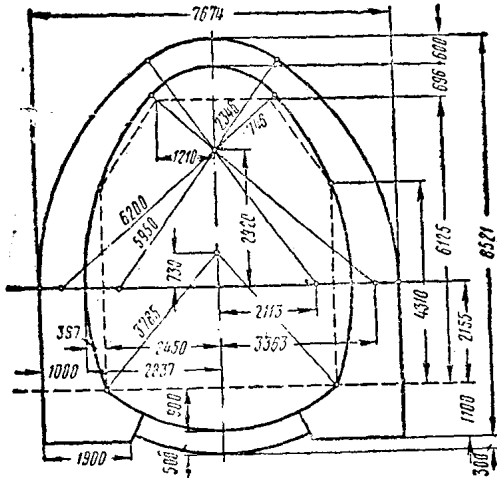
拼装型襯砌 襯砌用的材料是生鉄、鋼、混凝土和鋼筋混凝土。

拼装型襯砌有下列形式：

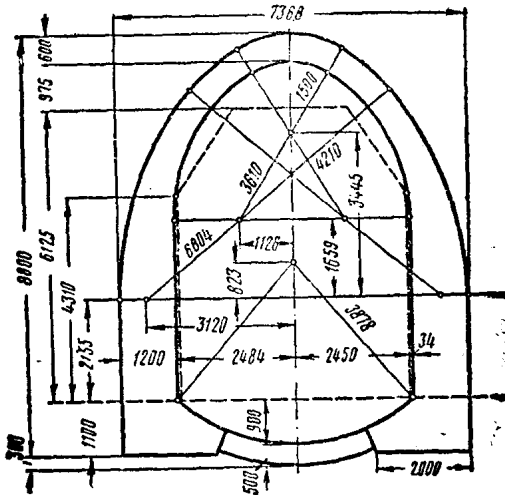
- (甲) 永久的，在建筑过程中，已安置成为完整的形态（生鉄、鋼、鋼

钢筋混凝土)；

(乙) 初期的，在它的防水工程防护下，使其可能施工 (生铁、钢、混凝土块)；



第 8 圖 岩石强度为 1.0 的砌砌型式

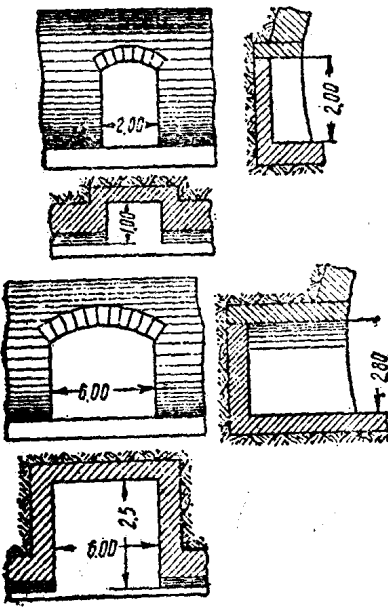


第 9 圖 岩石强度为 0.5 的砌砌型式

單綫隧道的襯砌型式

第2表

| 指 标 | 地 層 及 襯 砌 型 式 | | | |
|-------------------------------|-----------------|---------------|----------------------|-----------------|
| | I (第6圖) | II (第7圖) | III (第8圖) | IV (第9圖) |
| | 坚硬砂質頁岩 | 粘土及砂質粘土頁岩 | 湿 黏 土 | 砂及粘土質砂土 |
| 强度系数 f | 4.0 | 2.0 | 1.0 | 0.5 |
| 密度 γ (噸/立方公尺) | 2.3 | 2.2 | 2.2 | 1.5 |
| 內摩擦角 φ° | 包括可能的滑 动—50° | 包括黏着力 —65° | 20° 包括黏着力 —45° | 30° |
| 土壤压缩系数 k (噸/立方 公尺) | 2×10^4 | 10^4 | 10^4 | 5×10^3 |
| 襯砌与地層間摩擦系数 μ | | | | |
| 体積 (立方公尺) | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.3 |
| 鑿 石 | 45.28 | 50.76 | 56.50 | 55.84 |
| 混 凝 土 | 11.81 | 16.40 | 21.44 | 21.63 |
| 內部容積 (立方公尺) | 31.63 | 34.36 | 35.06 | 34.21 |



第10圖 避人洞与避車洞

(丙) 次期的，在初期襯砌防護下所構築的（生鉄、混凝土、鋼筋混凝土）。

生鉄襯砌由同一尺寸，同一型式，用螺栓連接的環節組成。環節由以螺栓相互連緊的管片組成。全部管片均可互相更換，但主要頂部管片及其相隣兩管片除外。

連接成環節的各管片的邊緣是定形的，環的邊緣是可組合的。

縱向及橫向邊緣的連接表面制成槽形以便連接。

所有管片及環節的連接均用人工螺栓。橫向邊緣的螺栓沿周边用同一距離分佈，以便保證任一相隣環節間的相互位置。

縱向邊緣的螺栓按兩行安裝。

隧道中出水的地方是螺栓孔、接头处及向圍砌外噴注砂浆的孔。为了堵嚴螺栓孔，可在螺栓头及螺帽垫圈下填入特制环形填料（見第11圖）。

接头处的防水性保护了槽狀連接。噴注砂浆孔用金屬螺旋塞子堵住，並在其頸部下放置填料，以便防水。

为了在曲綫区段上建筑隧道，要使用楔形管片或楔狀填物。

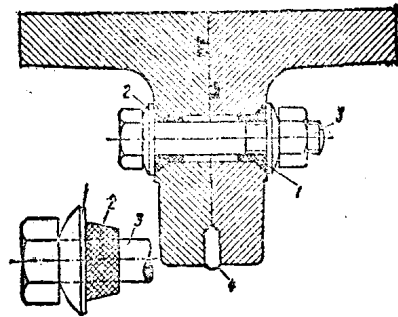
管片的結構見第12圖，它的寬度通常为0.6~1.0公尺。

生鉄管片現虽有過拼裝式結構的試驗，仍需要更進一步的改進。

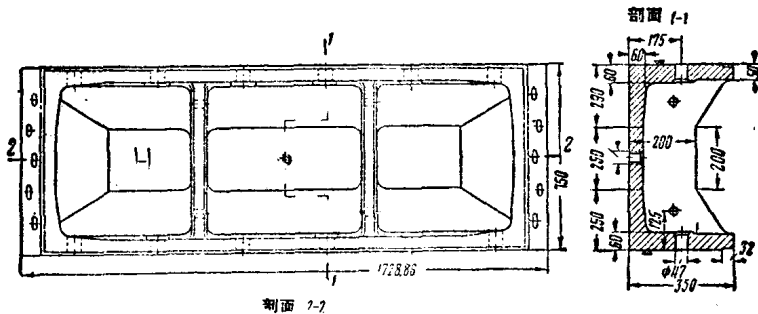
現代的趨勢是使用处理过的生鉄，也用冷鑄鉄，这样可不需要鑄后的加工。

鋼（鑄鋼）管片襯砌也有用於建筑隧道的，主要是用於需要增高立体剛度，强度和防水性的水底隧道。所有連接處用焊接法便可得到这些性質。鋼襯砌的金屬使用量可減低2~2.5倍。

用鉄表面法或在爐內熔融金屬中加以特制添料，可保持金屬抵抗銹蝕的能力。



第11圖 螺栓孔的防水層
1——鋼螺帽墊圈；2——錐形瀝青填料；
3——螺栓；4——密接縫。

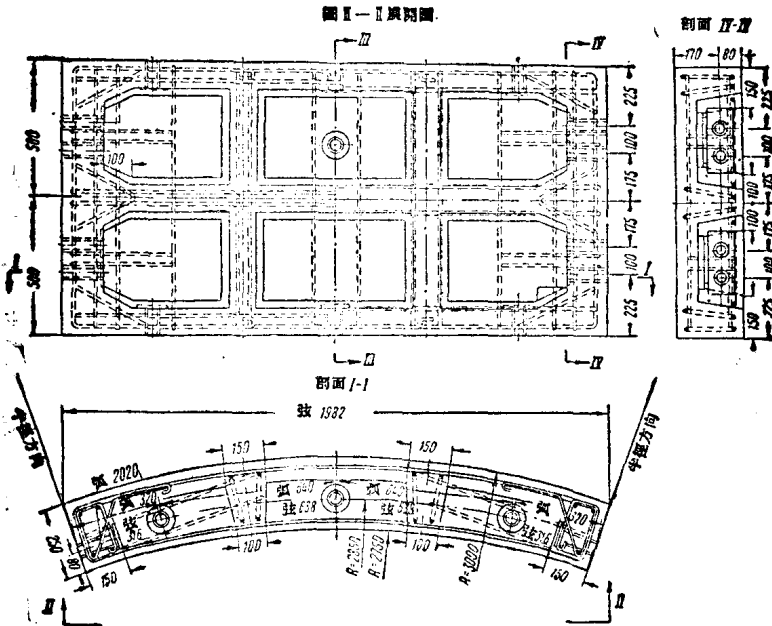


第12圖 管片

也可用焊接及压制管片作襯砌，主要用於初期的襯砌。

鋼筋混凝土管片的襯砌是隧道建築的一種比較新的方式。它與生鐵在形式及拼裝原則上很相似。

某種試驗過的管片型式如第13圖所示。



第13圖 鋼筋混凝土管片

每環節寬1公尺的襯砌由七個普通管片，一個主要頂部管片及其兩個鄰管片組成。每個管片重950公斤，每延長公尺襯砌的總重是9,900公斤。

使用的鋼筋是20~25公厘直徑的圓鋼。

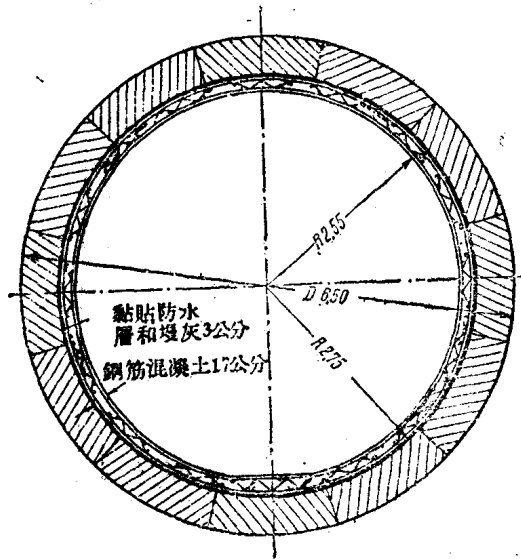
各個管片的連接處及其防水層是這些環節的弱點。

也有用大塊組成的拼裝型鋼筋混凝土襯砌，用接頭連接，這是Г.П.別列節列院士建議的。

混凝土塊作的隧道襯砌是圓筒形，牆由兩層互相相接的圓塊組成（第14圖）。

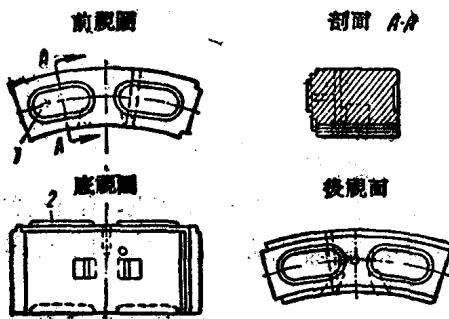
在外面襯砌的保護之下，內殼用鋼筋混凝土制成。

在襯砌的內外層之間，鋪設防水層。襯砌內殼承受靜水壓力，而襯砌外殼承受岩石壓力。



第14圖 混凝土塊的襯砌

在環節中各个混凝土塊由於接縫位於半徑方向和沿環的法向压力的作用而支持着。組成環節的各塊之間的接縫和各環節之間的接縫都用水泥砂漿填滿成為整個的圓筒狀的壳体。每個混凝土塊是環節的 $\frac{1}{n}$ 部分，其中 n 是塊數。



第15圖 混凝土塊

混凝土塊連接成環節是利用凸出部2和凹入部1（第15圖）。

曲線上構築襯砌，可使用與在直線上使用者相同，但為了隧道能勻調的轉彎，應改變支持在鄰環節凸出部上的凹入部的深度。這種混凝土塊需要有工廠的標記。

內部襯砌有兩種類型：支持黏貼防水層的輔助襯砌和基本襯砌。

砌。

第一種類型的鋼筋混凝土襯砌曾在莫斯科地下鐵道的隧道建築中使用；它的厚度是20公分，有兩行鋼筋；它的結構示於第14圖。