

# 隧道

何承义 编著

SUIDAO  
GONGCHENG

# 工程



哈尔滨地图出版社

# 隧道工程

## SUIDAO GONGCHENG

何承义 编著

哈尔滨地图出版社  
·哈尔滨·

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程/何承义编著. —哈尔滨:哈尔滨地图出版社,2006.1

ISBN 7-80717-248-7

I.隧... II.何... III.隧道工程 IV.U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 003263 号

哈尔滨地图出版社出版、发行

(地址:哈尔滨市南岗区测绘路2号 邮编:150086)

哈尔滨庆大印刷厂印刷

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:12.875 字数:310 千字

2006年1月第1版 2006年1月第1次印刷

印数:1~500 定价:26.00元

# 前 言

随着我国交通建设的迅猛发展,国家经济实力的逐步提高,可持续发展的理念及环境保护意识的不断增强,地下建筑工程正日益得到应用与重视。从我国准备建设的多条越海通道,到上海、南京、武汉、哈尔滨等城市的穿江(河)道路工程;从各大城市纷纷上马的地铁工程,到公路、铁路建设穿山越河的隧道工程,可以说,20世纪就是地下空间开发利用的时代。

本书从隧道基本概念、种类出发,介绍了交通类隧道设计原则和构造;并结合目前隧道工程建设的情况,重点介绍新奥法、盾构法、沉管法、逆做法等施工方法。内容丰富,信息量大,是工程地质学、结构设计原理、岩土力学、施工技术及各种工程新技术的综合体。在高等院校,《隧道工程》是土木工程、岩土工程学科主要的专业课。本书编写过程中考虑了高等院校的教学需要,尤其是针对土木工程学科道路与桥梁工程专业方向的教学需要。内容全面且注重保证课程理论体系的科学性与专业针对性,而且本书编写中全部依据新“规范”,并突出以培养应用性人才为目标的教改指导思想,极具特色。

本书共五篇:

在第一篇绪论中简单介绍了隧道工程的概况、发展历程及前景。

第二篇为山岭隧道。介绍了山岭地区隧道的设计、构造及施工方法。重点讲述了新奥法的理念与较详尽的施工方法。

第三篇主要介绍了软土隧道中最重要的施工方法——盾构法。编写中以目前最先进的、在我国地铁施工中刚刚采用的土压平衡盾构法为重点。

第四篇为水下隧道。介绍了沉管法的设计与施工,编写中参照了国内外一些最新的资料,力求新颖、先进并较全面。

第五篇为软土隧道的其它施工方法。简单介绍了目前较常采用的一些施工方法,有明挖法、盖挖法、底下连续墙、顶进法。

限于编者学识,书中缺点、错误之处在所难免,敬请有关专家和读者批评指正。

编 者

2006年1月

## 内 容 提 要

本书内容包括山岭、软土、水下隧道工程的构造、设计和施工基本知识,全部按新“规范”编写,同时介绍了较先进的、国内刚兴起的一些隧道构造与施工知识。

本书可作为普通高等院校土木工程道路与桥梁方向本科生使用,也可供土木工程科研、设计、施工、监理等技术人员参考。

## 目 录

## 第一篇 绪 论

第一章 隧道的特点、分类 .....	1
第一节 隧道的定义与分类 .....	2
第二节 隧道的发展历程 .....	4
第二章 隧道及地下工程建设概述 .....	7
第一节 隧道及地下工程建设技术现状 .....	7
第二节 隧道建设中应注意的一些问题 .....	9

## 第二篇 山岭隧道

第一章 隧道勘测及隧道位置的选择 .....	11
第一节 隧道勘测 .....	11
第二节 隧道位置的选择 .....	12
第三节 隧道方案比较 .....	17
第四节 隧道洞口位置的选定 .....	19
第二章 隧道平、纵、横断面设计 .....	21
第一节 隧道平面设计 .....	21
第二节 隧道纵断面设计 .....	22
第三节 隧道横断面设计 .....	24
第三章 隧道结构构造 .....	26
第一节 概述 .....	26
第二节 隧道洞身支护结构的构造 .....	28
第三节 明洞的构造 .....	30
第四节 隧道洞门结构的构造 .....	32
第五节 隧道附属建筑物 .....	35
第四章 隧道工程地质环境 .....	42
第一节 概述 .....	42
第二节 围岩的工程性质 .....	43
第三节 隧道围岩分级及其应用 .....	48
第四节 围岩压力 .....	53
第五章 隧道支护结构设计计算方法的基本原理 .....	58
第一节 概述 .....	58

第二节	围岩的二次应力场和位移场计算 .....	59
第三节	隧道结构体系设计计算方法 .....	66
<b>第六章</b>	<b>山岭隧道施工 .....</b>	<b>70</b>
第一节	概述 .....	70
第二节	新奥法 .....	71
第三节	隧道开挖施工 .....	75
第四节	隧道开挖爆破施工作业 .....	81
第五节	隧道开挖掘进方式与装渣运输 .....	85
第六节	施工支护及施工的辅助办法 .....	88
第七节	隧道施工量测与信息反馈 .....	103

### 第三篇 软土隧道盾构施工法

<b>第一章</b>	<b>概述 .....</b>	<b>108</b>
第一节	盾构法隧道的发展历史 .....	108
第二节	盾构分类、特点与断面形式 .....	109
<b>第二章</b>	<b>盾构构造与选型 .....</b>	<b>115</b>
第一节	盾构的基本构造与参数确定 .....	115
第二节	盾构的选型 .....	117
<b>第三章</b>	<b>土压平衡盾构 .....</b>	<b>121</b>
第一节	概述 .....	121
第二节	土质改良 .....	125
第三节	土压盾构 .....	127
第四节	土压盾构施工 .....	134
第五节	其它盾构施工 .....	139
<b>第四章</b>	<b>管片的制造与施工 .....</b>	<b>142</b>
第一节	概述 .....	142
第二节	管片衬砌的分块与拼装形式 .....	143
第三节	高精度钢筋混凝土管片的制造、拼装 .....	145
第四节	盾构隧道衬砌的防水工艺 .....	149

### 第四篇 水下隧道

<b>第一章</b>	<b>沉管隧道的设计 .....</b>	<b>157</b>
第一节	概述 .....	157
第二节	沉管隧道的设计 .....	159
<b>第二章</b>	<b>沉管隧道的施工 .....</b>	<b>164</b>
第一节	沉管的制作及防水 .....	164
第二节	沉管的放沉施工 .....	173

第五篇 软土隧道的其它施工方法

第一章 软土隧道的其它施工方法.....	182
第一节 明挖隧道.....	182
第二节 盖挖法(深基坑暗挖法).....	185
第三节 地下连续墙施工法.....	188
第四节 下立交隧道顶进施工.....	190
第五节 井点降水.....	193
参考文献.....	195



# 第一篇 绪 论

## 第一章 隧道的特点、分类

我国是一个多山的国家,75%左右的国土是山地或重丘,公路建设中,过去的普遍做法是盘山绕行或切坡深挖。据统计资料,汽车翻越山岭平均时速不足 30 km,不到经济时速的一半,汽车的机械损坏和轮胎磨损极为严重,低等级道路的汽油耗量比高等级公路多 20%~50%;而且,劈山筑路会造成许多高边坡,它严重破坏自然景观,在南方雨量充沛地区还容易造成塌方滑坡和水土流失。因此,为了根除道路病害、保护自然环境,在山区高等级公路建设中必须重视隧道方案,并努力提高公路隧道工程科学技术水平。

公路、市政建设中修建隧道的优越性在于:一是缩短行车里程,节省运费;二是节约能源以及减少汽车损耗;三是节约土地,保护环境;四是行车不受天气影响,提高了行车安全舒适性;五是沟通交通欠发达地区,促进交流,带动经济发展。

我国江河湖海区域辽阔,沿海公路通道规划中常遇到桥梁方案与隧道方案比选的问题,内河的横跨通道也同样遇到这些问题。过去,跨江(海)通道一般只考虑桥梁方案,这对于解决两岸交通发挥了巨大作用,但同时会对航道造成不良影响。相比而言,水下隧道具有不影响航运,不受自然环境影响,能全天候通行,对生态环境干扰影响小,且有一洞多用等优点,其优越性越来越受到广泛重视。

我国水下公路隧道最早修建的首推上海黄浦江隧道,它是 20 世纪 60 年代基于人防战略兴修的。城市建设的发展,人口的增加,跨越水域来往靠摆渡,不仅速度慢,而且渡船容纳的车辆有限,如遇台风、大雾、大雨往往还要停航、停渡,因而使交通受阻。建桥方案会受桥梁净空、净高的要求,需建高桥、大桥、长桥才能满足需要。这样势必占地多,拆迁房屋、管线数量大,城市受噪声、废气、眩光的污染,附近居民深受其害,对环境保护极为不利。而杭州西湖等处修建了多条穿江(湖)隧道,不仅解决了城市中心区人口稠密处两岸居民交通的问题,也使这些地区的原有环境得到了良好的保护。

1863 年英国建成第一条地铁线路,1888 年美国建成第一条有轨电车线路,标志着城市交通进入轨道交通时代。经过诞生和初始发展阶段(1863~1924 年)、萎缩阶段(1924~1949 年)、再发展阶段(1949~1969 年)、高速发展阶段(1970 年至今),当今世界各大城市和特大城市都确立了公交优先、轨道交通是公交骨干的政策。

我国近年来经济发展迅速,人口逐渐向城市聚集,人民生活水平不断提高,交通车辆与人们的出行距离与数量不断增大,交通阻塞环境污染等“城市病”日趋严重,地铁与轻轨建设是解救城市公共交通问题的一种有效途径。

目前我国地铁与轻轨有北京、上海、广州、天津、南京、深圳等城市在运营。还有杭州、哈尔

滨、沈阳、成都等城市开始建设,还有许多城市正在筹建。

另外,目前已建成的水工类隧道有三峡工程、小浪底水库等导流隧道;在建的南水北调工程等;人防类地下工程及城市地下空间的利用如地下商场、地下车库、地下仓库等。

## 第一节 隧道的定义与分类

### 一、隧道的定义

狭义定义:用以保持地下空间作为交通孔道的工程建筑物。

广义定义:以某种用途在地面以下以任何方法,按规定形状和尺寸修筑的断面面积大于 $2\text{ m}^2$ 的洞室。按国际隧道协会(ITA)定义隧道的横断面积的大小,划分标准可以分为:极小断面隧道( $2\sim 3\text{ m}^2$ )、小断面隧道( $3\sim 10\text{ m}^2$ )、中等断面隧道( $10\sim 50\text{ m}^2$ )、大断面隧道( $50\sim 100\text{ m}^2$ )和特大断面隧道(大于 $100\text{ m}^2$ )。

### 二、隧道的分类及其作用

按所处的条件可分为:土质隧道、石质隧道。

按隧道的埋置深度可分为:浅埋隧道、深埋隧道。

按所处的地理位置可分为:山岭隧道、水底隧道、城市隧道。

按隧道的用途可分为:交通类隧道(包括公路隧道、铁路隧道、地下铁道、地下人行通道)、水工类隧道(包括引水隧道、导流隧道、泄洪铁道等)、市政类隧道(包括给水隧道、排水隧道、管道隧道)、矿山类隧道(包括采矿巷道、运输巷道)、人防类隧道。

#### (一)交通类隧道

这是隧道中为数最多的一种,作用是提供交通运输和人行的通道,以满足交通线路畅通的要求,一般包括以下几种:

##### 1. 铁路隧道

开挖隧道直接穿山而过,既可使线路顺直,避免许多无谓的展线,使线路缩短,又可以减小坡度,使运营条件得以改善,从而提高牵引定数,多拉快跑。

##### 2. 公路隧道

高速公路对道路的修建技术提出了较高的标准,要求线路顺直、坡度平缓、路面宽敞等。隧道的修建在改善公路技术状态,缩短运行距离,提高运输能力,以及减少事故等方面起到了重要的作用。

公路的限制坡度和限制最小曲线半径都没有铁路那样严格,过去在修建山区公路时为了减少工程造价,常常采取绕行或大填大挖的方案,而不愿采取修建费用昂贵的隧道。但是,随着经济的发展和人们环境保护意识的提高,以及高速度对线路顺直、平缓、路面宽敞等的需求,隧道方案越来越被重视。在城市为避免平面交叉,利于高速行车,为保护环境、景观及一些古建筑也采取修建隧道方案。

##### 3. 水底隧道

当交通线路需要跨越江、河、湖、海、洋时,一般可以选择的方案有架桥、轮渡和隧道。河道

通航需要较高的净空,而桥梁受两端引线高程的限制,一时无法抬起必要的高度时,采用水底隧道。

水底隧道方案的优点是不受气候影响,不影响通航,引道占地少,战时不暴露交通设施目标等,越来越受到人们的青睐。

#### 4. 地下铁道

地下铁道是解决大城市中交通拥挤、车辆堵塞问题,而能大量快速运送乘客的一种城市交通设施。

地下铁道可以使很大一部分地面客流转入地下而不占用地面面积。它没有平面交叉,而各走上下行线,因而可以高速行驶,且可缩短车次间隔时间,节省了乘车时间,便利了乘客的活动。在战时,还可以起到人防的功能。

#### 5. 航运隧道

当运河需要越过分水岭时,克服高程障碍成为十分困难的问题。如果修建航运隧道,把分水岭两边的河道沟通起来,既可以缩短船只航程,又可以省掉船闸的费用,迅速而顺直地驶过,航运条件就大为改善了。

#### 6. 人行地道

为了提高交通运送能力及减少交通事故,除架设街心高跨桥以外,也可以修建人行地道来穿越街道或跨越铁路、高速公路等。这样可以缓解地面交通互相交叉的繁忙景象,少占用地面空间,同时也大大减少了交通事故。

### (二) 水工隧道

水工隧道是水利工程和水力发电枢纽的一个重要组成部分。水工隧道包括以下几种:

1. 引水隧道——进行水资源的调动或把水引入水电站的发电机组,产生动力资源。引水隧道有的内部充水因而内壁承压,有的只是部分过水,因而内部只受大气压力而无水压。分别称之为有压隧道和无压隧道。

2. 排水隧道——它是把发电机组排出的废水送出去的隧道。

3. 导流隧道或泄洪隧道——它是水利工程中的一个重要组成部分。由它疏导水流并补充溢洪道流量超限后的泄洪作用。

4. 排沙隧道——它是用来冲刷水库中淤积的泥沙,把泥沙裹带运出水库。有时也用来放空水库里的水,以便进行库身检查或修理建筑物。

### (三) 市政隧道

市政隧道是城市中安置市政设施的地下孔道。

#### 1. 给水隧道

2. 污水隧道:本身导流排送或由管道排污。一般排污隧道的进口处,多设有拦渣隔栅,把漂浮的杂物拦在隧道之外,不致涌入造成堵塞。

3. 管路隧道:供给煤气、暖气、热水等。

4. 线路隧道:输送电力的电缆以及通讯的电缆,都安置在地下孔道中。

在现代化的城市中,将以上四种具有共性的市政隧道,按城市的布局 and 规划,合建一个大隧道,称之为“共同管沟”。共同管沟是现代城市基础设施科学管理和规划的标志,也是合理利用城市地下空间的科学手段,是城市市政隧道规划与修建发展的方向。

5. 人防隧道:为战时的防空目的而修建的防空避难隧道。人防隧道内除应设有排水、通风、照明和通讯设备以外,还应考虑储备饮水、粮食和必要的救护设备,此外在洞口处还需设置各种防爆装置,以阻止冲击波的侵入。同时,要做到多口联通、互相贯穿,在紧急时刻,可以随时找到出口。

#### (四) 矿山隧道

在矿山开采中,常设一些为采矿服务的隧道,从山体以外通向矿床,并将开采到的矿石运输出来。

##### 1. 运输巷道

主巷道:向山体开凿通到矿床的隧道,是主要出入口和主要的运输干道。

由主巷道通往各个开采面的巷道,分布如树枝状,分向各个采掘面。此种巷道多用临时支承,仅供作业人员进行开采工作的需要。

2. 给水隧道:送入清洁水为采掘机械使用,并将废水及积水,通过泵抽,排出洞外。

3. 通风隧道:净化巷道中的空气,创造良好的工作环境,用通风机及时把有害气体和污浊空气排除出去,并把新鲜空气补充进来。

#### 三、按行业“规范”规定划分

按照《公路隧道设计规范》JTJ D70—2004 公路隧道按其长度可分为:

$L > 3000$  m 为特长隧道; $3000 \geq L > 1000$  m 为长隧道; $1000 \geq L > 500$  m 为中隧道; $L \leq 500$  m 为短隧道。

按照《铁路隧道设计规范》铁路隧道按其长度可分为:

铁路隧道规定: $L \leq 500$  m 为短隧道; $500 \text{ m} < L \leq 3000$  m 为中长隧道; $3000 \text{ m} < L \leq 10000$  m 为长隧道; $L > 10000$  m 为特长隧道。

隧道长度  $L$  系指两端洞门墙墙面与路面的交线同路线中线交点间的距离。

## 第二节 隧道的发展历程

### 一、隧道工程的历史

隧道的产生和发展是和人类的文明历史发展相呼应的,大致可以分为如下 4 个时代:

1. 原始时代:即人类的出现到纪元前 3000 年的新石器时代,是人类利用隧道来防御自然威胁的穴居时代。人们利用天然洞穴作为栖身之所,并且逐步会在平原地区自己挖掘类似天然洞穴的窑洞来居住。此时的隧道是用兽骨、石器 etc 工具开挖,修筑在可以自身稳定而无需支承的地层中。

2. 远古时代:从纪元前 3000 年到 5 世纪,即所谓的文明黎明时代,是为生活和军事防御目的而利用隧道的时代。这个时代隧道的开发技术形成了现代隧道开发技术的基础。

3. 中世纪时代:约从 5 世纪到 14 世纪的 1000 年左右。这个时期正是欧洲文明的低潮期,建设技术发展缓慢,隧道技术没有显著的进步,但由于对底下铜、铁等矿产资源的需要,开始了矿石开采。

4. 近代和现代:即从 16 世纪以后的产业革命开始。这个时期由于炸药的发明和应用,加速了隧道技术的发展。如有益矿物的开采、灌溉、运河、公路和铁路隧道的修建,以及随着城市的发展修建地下铁道、上下水道等,使得隧道的技术得到极大的发展,其应用范围迅速扩大。

据现有资料记载,世界上最早的隧道是公元前 2200 年,巴比伦国王为连结宫殿和神殿而修建的隧道。我国最早的交通隧道是位于陕西汉中县的“石门”隧道,建于公元 66 年,是供马车和行人通行的。

我国第一座铁路隧道修建在台湾,是基隆到台南的铁路线上一座长仅 261 m 的窄轨净空隧道。1907 年在京包线上修建了八达岭隧道。这是由我国铁路工程界最早的工程师詹天佑主持施工的。

## 二、建国以来隧道工程的发展和成就

铁路隧道到 20 世纪末 1998 年就已经运营 6 800 余座,长达 3 667 km,在襄渝线隧道长度占该铁路线总长的 30%,成昆线隧道长度占该铁路线总长的 31.6%,西康线隧道长度占该铁路线总长的 50.42%。10 km 以上的长大隧道有:西安安康线上的 18 456 m 的秦岭隧道、142 954 m 的大瑶山隧道、12 668 m 的东秦岭隧道,兰武二线上 20 050 m 的乌梢岭隧道。

公路隧道建设:建国后 30 年所修建的公路等级均较低,线形指标要求不高。20 世纪 50 年代,我国仅有公路隧道 30 多座,总长约 2 500 m,且单洞长度都很短。六七十年代,我国干线公路上曾修建了一些百米以上的隧道,但标准也很低。进入 80 年代,公路隧道的发展逐渐加快,具有代表性的工程有深圳梧桐山隧道和珠海板樟山隧道,福建鼓山隧道和马尾隧道,甘肃七道梁隧道等。到 1990 年底,我国建成的千米以上隧道已有十余座。在大型公路隧道建设中,技术也随着不断提高,并学习和引进了很多国外先进技术。福建鼓山隧道,洞内设有照明、吸音、防潮、通讯、防火等装置和闭路电视监控及雷达测速系统,这是我国第一座现代化的公路隧道。为适应公路隧道建设的发展,八九十年代,交通部组织编写了公路隧道的设计、施工、通风照明设计、养护技术等规范,对我国公路隧道建设起到了促进与推动作用。“八五”至“九五”期间是我国公路隧道建设迅速发展的时期。经过这十年的建设,公路隧道的勘察、设计、施工和营运等一系列技术日益成熟。“九五”期间新建隧道 504 座,27.8 万延米。还建成了多座特长或宽体平坦隧道,如中梁山隧道(3 100 m×2)、缙云山隧道(2 450 m×2)、大溪岭隧道(4 116 m×2)、二郎山隧道(4 200 m×2)、飞鸾岭隧道、真武山隧道等。据不完全统计,我国已建成公路隧道 1 684 座以上,总里程 628 km 以上。

目前,公路隧道的单洞长度越来越长,修建技术与营运技术日趋复杂。如福建美孤岭隧道(5 300 m×2),湖南雪峰山隧道(约 7 000 m×2)、四川泥巴山隧道(约 8 000 m×2)、陕西秦峰终南山隧道(约 18 400 m×2),以及沈大高速公路 8 车道超扁平大断面隧道等。10 km 以上的长大隧道有:21 km 的秦岭公路隧道(双座)、14.7 km 的锦屏公路隧道(双座)等。

## 三、国外隧道的发展情况

1988 年日本修成了位于本州和北海道两大岛之间横跨津轻海峡的铁路干线上的青函隧道,全长 53 850 m。

自本州青森至北海道的函馆间的青函海底隧道,长达 53 850 m,海底部分就有 23 300 m。这是目前世界上最长的水底隧道。

挪威正在修建的 Aurland-Laerdal 公路隧道,长度达 24 500 m。这是目前已建成的最长

的公路隧道。

德国慕尼黑地下铁道的卡尔广场车站建筑就上下深达六层:第一层是人行通道及商店餐厅;二层作为货栈及仓库;三、四层为地下停车场,可同时容纳 800 辆汽车;五、六层才是车站集散厅及车道。

英吉利海峡隧道。从英国多佛尔穿越多佛尔海峡至法国桑加特的海底复线电力牵引铁路隧道。全长 49.6 km,海底部分长 37.5 km。建于 1987 年 9 月至 1992 年 12 月。

英吉利海峡隧道由两座平行的直径为 7.6 m 的行车隧道和一座直径为 4.8 m 的辅助隧道组成,大部分隧道位于不透水的白垩泥灰岩中,海底段覆盖层平均厚度为 40 m,离海平面约 100 m。设计行车速度为 140 km/h,各种客货汽车由专用平台车组成的列车运过隧道。整个工程耗资 80 亿英镑(118.4 亿美元),全部由股票和 209 家银行贷款解决。由 TML 集团设计和施工。运营约 12~15 年可收回全部投资。

目前世界最长的隧道是在建的瑞士 Gotthard 隧道,全长  $2 \times 57$  km。

## 第二章 隧道及地下工程建设概述

### 第一节 隧道及地下工程建设技术现状

#### 一、目前我国隧道建设技术现状

##### 1. 岩土隧道施工技术

钻爆法施工月进尺可达 500 m, 已经达到世界较先进水平。不良地质隧道如富水断层破碎地质、流沙地质、岩溶地质、高地应力岩爆及挤压大变形地质、煤系地层、湿陷黄土地质隧道建设也已经达到较先进的水平。

##### 2. 设计理论

隧道由于处于地下, 与地面结构所处环境不同, 其处于岩石中既受周围岩石地层(通常称为围岩)荷载作用又受围岩的约束有利作用。

目前的设计理论有: 荷载—结构、地层—结构、收敛—约束、经验类比等, 针对不同的条件采用相应的设计理论。

##### 3. 施工方法

主要有明挖、暗挖、盾构、掘进机、盖挖、顶进、沉埋法。

##### 4. 全断面隧道掘进机(TBM)方法

由于全断面隧道掘进机具有施工速度快、隧道成型好、机械化程度高以及对周边环境影响小等优点, 已成为国外隧道开挖普遍采用的方法。世界上第一台 TBM 是 1851 年由美国的 Charles Wilson 开发的, 并于 1852 年在马萨诸塞州的 Hoosac 铁路隧道中进行了试验掘进, 但那时掘进速度非常慢, 低于钻爆开挖方法的速度。目前, 我国在铁路隧道、水工隧洞中使用过 TBM, 在公路隧道方面实践还较少。

##### 5. 盾构掘进机的方法

这种掘进机适用于软土、淤泥地层, 一般多用于沿海冲积层地层中开挖隧道。目前最成功的范例是日本东京湾海底公路隧道, 该隧道采用直径 14.14 m 巨大泥水型盾构机掘进, 隧道长约 9.5 km, 隧道外径 13.9 km, 为 3 管 6 车道, 海底埋深为 50~60 m, 海底高水压达 5~6 kgf/cm<sup>2</sup>, 该工程在长距离掘进、高水压对接、防海水腐蚀、抗地震接头、止水接头、防地基沉降、防上浮、巨大断面稳定掘进管理等若干方面取得了优秀技术成果。

我国采用盾构机方法的隧道有上海延安东路隧道 1, 2 号线和打浦路隧道(均穿越黄浦江)等。

##### 6. 沉管隧道的方法

方法是预先在岸上形成干船坞,厂制成作为隧道主体的一段段箱结构(一般箱体长度为80~120 m,断面为矩形),箱体两端先临时密封,然后放水进入干船坞内,箱体上浮拖运至海(河)面设计这种轴线处,对箱体两侧附箱注水,使其下沉,沉放至已预先疏通好的海(河)床设计标高处,然后与先行沉放的箱体进行对接,施作止水工程,将每段箱体连接起来,并打开箱体临时密封门,从而形成水下沉管隧道。

目前,国外在江河湖海修建通道时广泛采取水下沉管隧道的方式,已是较为成熟的技术。我国台湾省于1984年建成了高雄海底沉管隧道;香港已在维多利亚港建成了三条海底沉管隧道。目前,由我国交通部海上救助打捞局继香港东区沉管隧道建成以后,现又在施工西区沉管隧道。1994年广州珠海公路、地铁合用的沉管隧道建成通车;1995年又建成了宁波甬江沉管公路隧道,质量均很好,做到滴水不漏。珠江隧道的五节管段(每节宽33 m,高8 m,长90~110 m,三孔,全长457 m)的浮运、沉放和安装,仅用了不到4个月时间。甬江水下隧道攻克了沉降不均的软土地基,有严重回淤,流急、漩涡和越江输油管等十分困难的环境条件,使我国沉管技术又上了一个新的台阶。

我国现已创造性地应用暗挖、盾构和沉管三种基本施工方法,建成了5条水下隧道,质量都达到了优良。但是,总体来说我国的水下隧道修筑技术水平还落后。

## 二、目前我国公路隧道技术概况与发展趋势

### 1. 复合式柔性衬砌设计技术

自L. 缪勒(奥地利人)提出以充分发挥围岩山体自承载能力为基本原理,以锚喷支护及复合柔性衬砌为主要特征的新奥法(New Austrian Tunneling Method)以来,隧道工程学从理论、设计到施工发生了一场革命,它改变了过去按围岩荷载全部作用于衬砌上来进行设计和施工的传统思想,在工程造价、工程进度及施工管理等诸多方面都带来极大的效益。目前,新奥法在国外许多国家被广泛应用于隧道工程中。复合柔性衬砌设计技术及基于现场施工监控和信息反馈解析(也称信息设计)的围岩稳定分析技术是新奥法的核心和关键,各国专家更着力加以研究。

### 2. 围岩稳定监测与信息反馈技术

由于岩土材料物理特性和力学特性非常复杂,本构关系式复杂,用解析手段预测隧道等地下结构物的力学动态,所含的力学参数越多,这些参数不管是采用室内试验还是现场测试都是非常困难的。由于岩土的非连续介质特性,即使通过一些较先进的手段能测得这些参数,其解析结果与实际状态往往也有较大差异。通过施工现场开挖过程中,及时地对围岩变形进行量测,然后以这些位移量测信息为依据,反演计算围岩物理力学参数,在此基础上重新评价隧道结构的事前设计,确定更符合围岩动态的支护参数。将此过程称为反分析过程,或信息化设计。

### 3. 扁平大断面公路隧道设计与施工技术

随着6车道高速公路的增多,我国大断面(3车道)公路隧道建设了广东大宝山隧道、靠椅山隧道、深圳大梅沙隧道、重庆铁山坪隧道、真武山隧道等。由于3车道公路隧道的断面积比双车道大得多,例如,日本第二东(京)名(古屋)公路3车道隧道的断面积为113~170 m<sup>2</sup>,比一般双车道的85 m<sup>2</sup>大1.5~2.0倍。近期规划的3车道公路隧道,为适应140 km/h高速行车速度的要求,其断面积达170~200 m<sup>2</sup>,局部断面达230 m<sup>2</sup>的超大断面,开挖宽度达23 m。英



法海峽隧道分叉处断面的开挖宽度达 21.2 m,开挖高度达 15.4 m,开挖断面积为 252.2 m<sup>2</sup>。因此,在隧道位置的选定、隧道断面形式、隧道衬砌结构、施工方法、初期支护结构模式、参数等,都要加以深入地研究。

#### 4. 近距离双设隧道设计与施工技术

由于公路平面线形的要求或征地等外界条件的制约,有时难以将双洞按规范设计成分离式独立隧道,而不得不形成距离双设隧道。近距离双设隧道一般可分为以下 3 种情况:

(1) 并行双洞,即双洞按左右平行或上下平行设置。

(2) 交叉双洞,即双洞在立面上按一定交角设置。

(3) 连拱双洞,即双洞按左右平行且共用中壁设置,双洞呈连体状。当双洞中轴距离为开挖洞宽的 2(地层作为完全弹性体的情况)~5 倍(软弱地层的情况)时,可作为相互不受影响的独立双洞考虑。然而,近距离隧道则由于施工原因会受到应力再分配的相互影响。

### 三、存在的主要技术问题

据最近一份调研报告表明,全国公路隧道设计与施工按新奥法实施者不到 70%,新技术应用率较低,建成后隧道渗漏水较严重,造成洞内设施及衬砌结构破坏,返修率高。个别隧道建成仅 3 年左右就要重新加固衬砌,还重新设置防、排水设施。由于技术落后,建设费用和维修费用相当高。另外,5 000 m 长以上隧道的营运通风等技术问题没有根本解决,制约了高等级公路的发展。

公路隧道多采取双洞 4 车道,加上路缘、余宽、检修道,内空建筑宽度一般在 9.25~10.50 m 之间,属于大断面隧道;近年来,随着交通量增大和等级提高,许多省份开始采取双洞 6 车道的跨度(甚至双洞 8 车道),这种高宽比为 0.6 左右的扁平状大断面隧道在设计与施工中受力较为复杂,结构与围岩及地下水的相互作用问题,开挖过程中的力学问题(亦称施工力学)等一直是前沿课题。

公路隧道既是道路构造物又是地下工程,它涉及结构、岩土、地下水、空气动力、光学、消防、交通工程、自动控制和工程机械等多种学科,其技术属复合技术。

目前公路隧道存在的主要工程技术问题有:设计中,由于荷载不明且围岩参数不清,喷锚支护和二次衬砌设计参数采取工程类比或套用规范,容易与实际山体情况不符合;防排水技术落后隧道渗漏水严重;施工中围岩动态信息反馈技术差,预报准确率低,喷射混凝土回弹率高(严重时达 65%);营运通风、照明、防灾等设施工程设计水平较低,缺乏综合性考虑;隧道内交通监测与控制水平落后,交通监控设备多为进口,这方面影响了我国公路隧道的发展;水底隧道技术还有待开发。

## 第二节 隧道建设中应注意的一些问题

### 一、隧道内环境对路面结构与材料的影响

隧道内是一个相对封闭、空间狭小的管状环境。隧道内没有隧道外的日晒雨淋气候,一般夏季隧道内比洞外气温低,冬季气温较洞外高,全年气温相对稳定,温度变化幅度小,温差小;