



全国应用型高等院校（高职高专）土建类“十三五”规划教材

隧道工程

主编 王博



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



全国应用型高等院校（高职高专）土建类“十三五”规划教材

隧道工程

主编 王博



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书按照《公路隧道设计规范》(JTG D70—2014)、《公路隧道施工技术规范》(JTG F60—2009)、《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)等规范标准进行编写。本书主要包括10章,分别为隧道工程概论、隧道结构、隧道工程勘测、围岩分类及围岩压力、隧道工程施工放样、隧道施工机械、隧道施工、浅埋暗挖法施工、盾构法施工、顶管法施工。本书涉及的专业知识广,实践性和法规性强,结合实际综合应用有关的学科的基本理论和知识,采用新技术和现代科学成果,解决生产实际问题。

本书可作为市政工程、公路工程、矿建工程、铁道工程、水利水电工程、城市地下工程、岩土工程等专业的教学用书,以及相关专业设计、施工、科研、管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程 / 王博主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017.1

全国应用型高等院校(高职高专)土建类“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5170-5109-1

I. ①隧… II. ①王… III. ①隧道工程—高等职业教育—教材 IV. ①U45

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第324228号

书 名	全国应用型高等院校(高职高专)土建类“十三五”规划教材 隧道工程 SUIDAO GONGCHENG
作 者	主编 王博
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9.75印张 208千字
版 次	2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

《隧道工程》为全国应用型高等院校（高职高专）土建类“十三五”规划教材之一，本书按照《公路隧道设计规范》（JTG D70—2014）、《公路隧道施工技术规范》（JTG F60—2009）、《公路工程技术标准》（JTG B01—2014）等规范标准进行编写。本书注重基本概念，强调基本原理，重视理论与工程实践的结合，充分反映隧道工程建设中的新技术和新方法。通过本书的学习，学生将会掌握隧道的设计方法及内容，以及浅埋暗挖法的基本要领，熟悉交通隧道勘察设计的过程和隧道的主要施工方法与内容，了解我国隧道及隧道工程技术发展的现状与趋势，学会综合应用有关的学科的基本理论和知识，采用新技术和现代科学成果，解决生产实际问题，能够为学生毕业后从事隧道工程施工与设计工作以及进一步学习隧道工程的基本理论和技术打下坚实基础。

本书主要包括 10 章，分别为隧道工程概论、隧道结构、隧道工程勘测、围岩分类及围岩压力、隧道工程施工放样、隧道施工机械、隧道施工、浅埋暗挖法施工、盾构法施工、顶管法施工。

本书由宁夏建设职业技术学院王博任主编，并编写了第 1 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第 10 章；宁夏建设职业技术学院申凯凯编写了第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 9 章。

《隧道工程》可作为市政工程、公路工程、矿建工程、铁道工程、水利水电工程、城市地下工程、岩土工程等专业的教学用书，以及相关专业设计、施工、科研、管理人员的参考用书。

限于编者的水平，书中尚有不足之处，恳切希望读者批评指正。

编 者

2016 年 11 月

目 录

前言

第 1 章 隧道工程概论	1
1.1 隧道工程基本概念	1
1.2 隧道工程的种类	2
1.3 隧道工程发展史	7
复习题	11
第 2 章 隧道结构	12
2.1 隧道限界与净空	12
2.2 隧道洞身支护结构	14
2.3 隧道洞门结构	21
2.4 明洞结构	26
复习题	30
第 3 章 隧道工程勘测	31
3.1 隧道工程勘测	31
3.2 隧道位置选择	35
3.3 隧道洞口位置的选定	41
3.4 隧道线路设计	42
复习题	45
第 4 章 围岩分类及围岩压力	46
4.1 隧道围岩的概念与工程性质	46
4.2 围岩的稳定性	48
4.3 围岩分类	50
4.4 围岩压力	54
复习题	58
第 5 章 隧道工程施工放样	59
5.1 隧道施工测量的特点	59
5.2 隧道施工测量的主要内容	60
5.3 隧道洞门施工放样	63

复习题	65
第 6 章 隧道施工机械	67
6.1 凿岩台车	67
6.2 喷锚机械	69
6.3 衬砌模板台车	72
6.4 TBM 全断面隧道掘进机	74
6.5 臂式隧道掘进机	77
复习题	78
第 7 章 隧道施工	80
7.1 隧道施工概述	80
7.2 新奥地利隧道施工法	82
7.3 传统的矿山法	85
7.4 不良地质条件下隧道施工	88
7.5 开挖工艺	100
7.6 隧道支撑及衬砌施工	107
复习题	110
第 8 章 浅埋暗挖法施工	112
8.1 浅埋暗挖法概述	112
8.2 常用的单跨隧道浅埋暗挖方法	112
8.3 城市地铁车站暗挖施工	118
复习题	120
第 9 章 盾构法施工	121
9.1 盾构的分类、特点及适用范围	122
9.2 机械化盾构的主要结构及工作原理	125
9.3 盾构法主要施工工序	131
复习题	135
第 10 章 顶管法施工	136
10.1 顶管法基本概念	136
10.2 顶管施工的分类	137
10.3 顶管机及其选型	138
10.4 工作井及其布置	140
10.5 顶力计算与后背受力计算	142
10.6 顶管施工	143
10.7 管节接缝的防水	145
复习题	146
参考文献	147

学习目标

1. 了解隧道工程中的基本概念及隧道在交通事业中的重要性。
2. 掌握隧道工程的分类。
3. 了解隧道工程的发展史。

能力目标

通过对本章的学习,了解隧道工程相关的基本概念及发展史,掌握隧道工程在交通工程中的重要性,掌握隧道的分类,为以后隧道工程的学习奠定坚实的基础。

1.1 隧道工程基本概念

我国是一个地域辽阔,多山的国家,交通运输发展很快,新修建的铁路、公路为缩短建设里程,改善线路走向及保护环境,那种逢山绕着走、坡陡、曲线半径小的现象将被隧道工程所代替。隧道工程既能保证行车安全又可防止滑坡、泥石流,提高行车速度和安全可靠性,还能与周围环境相协调,保证自然景观的完善。

隧道是一种修建在地下山岭中,两端有出入口,供车辆、行人、水流及管线等通过的工程建筑物。隧道及地下工程的泛指有两方面含义:一方面是指从事研究和建造各种隧道及地下工程的规划、勘测、设计、施工和养护的一门应用科学和工程技术,是土木工程的一个分支;另一方面也指在岩体或土层中修建的通道和各种类型的地下建筑物。

世界各国的经济发展经验表明,快速畅通交通网是经济发展的必不可少的条件。据统计,截至2015年年底,我国高速公路当年新增高速公路里程12212km,我国高速公路总里程已达125373km,公路总里程达到450万km。

在修建隧道时,一般先在地层内挖出具有一定几何形状的“巷道”,如圆形、矩形、马蹄形等。由于地层被挖开后,容易变形、塌落或是有水涌入,所以除了在极为稳固的地层中且没有地下水的地方以外,大都要在巷道的周围修建支护结构,或称之为“衬砌”,以保证使用安全。

以交通为用途的隧道,其两端将自地面引入。隧道端部外露面,一般都修筑为保护洞口和排放挡土的挡土墙式结构,称为“洞门”。此外,为了保证隧道的正常使用,

还需设置一些附属建筑物。例如为工作人员在隧道内进行维修或检查时,能及时避让驶来的列车而在隧道两侧开辟的“避车洞”;为了保证车辆正常运行而设置的照明设施;为了排除隧道内渗入的地下水而设置的防水设备及排水设备;为了净化隧道内车辆所排出的烟尘和有害气体而设置的通风系统等。

1.2 隧道工程的种类

隧道工程的种类繁多,根据不同角度有不同的分类方法。按隧道所处的地质条件,可以分为土质隧道和岩质隧道;按埋置的深度,可以分为浅埋隧道和深埋隧道;按隧道所在位置,可以分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道。这其中分类比较明确的还是按照它的用途划分,通常有以下的分类:

1.2.1 交通隧道

这是隧道中数量最多的一种。它们的作用是提供运输的巷道。其中有:

1. 铁路隧道

我国内陆地区有许多地势起伏、山峦纵横的山区。铁路穿越这些地区时,往往会遇到高程障碍。而铁路限坡平缓,无法拔起需要的高度,同时限于地形又无法绕避,这时,开挖隧道直接穿山而过最为合理。这种方法既可使线路顺直,避免许多无谓的展线,使隧道缩短;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。所以,在铁路线上,尤其是在山区铁路线上,隧道的方案常为人们所选用,修建的数量也越来越多。我国铁路采用隧道克服山区地形的范例很多,例如中国第一条长铁路隧道——西(安)(安)康铁路秦岭隧道。1999年9月6日,秦岭隧道整体贯通,隧道长达18.46km,居当时世界山岭隧道第6位、亚洲第2位。这条隧道的建成在中国铁路建设史上具有划时青藏铁路风火山隧道(图1.1)。它坐落于海拔超过5000m的青藏高原风火山上,轨面海拔标高4905m,全长1338m,全部位于永久性冻土层内,是目前世界上海拔最高的高原永久性冻土隧道代的意义,同时它也是在兰(州)新(疆)线乌鞘岭特长隧道建成前,我国最长的铁路隧道。隧道的长度分类见表1.1。

2. 公路隧道

公路的限制坡度和最小曲线半径都没有铁路那样严格。所以,以往的山区公路为节省工程造价,常常是宁愿绕行,多延长一些距离,而不愿修建费用高昂的隧道。因此,以往公路隧道数量不多。但是,随着社会经济的发展,高速公路逐年增多,它要求线路顺直、平缓、路面宽敞,于是在穿越山区时,也常采用隧道方案。此外,在城市附近,为避免平面交叉,利于高速行驶,也常采用隧道方案(图1.2)。这类隧道在改善公路技术状态和提高运输能力方面起到很好的作用。



图 1.1 青藏铁路风火山隧道



图 1.2 秦岭终南山公路隧道

表 1.1

隧道按长度分类

单位: m

隧道分类	特长隧道	长隧道	中隧道	短隧道
铁路隧道	>10000	$10000\sim3000$	$3000\sim500$	≤ 500
公路隧道	>3000	$3000\sim1000$	$1000\sim250$	≤ 250

3. 地下铁道

地下铁道是解决大城市交通拥挤、车辆堵塞问题,而又能大量快速输送乘客的一种城市轨道交通运输设施(图 1.3)。它可以使很大一部分地面客流转入地下面而不占用地面面积。它没有平面交叉,而各走上下行线,因而可以高速行车,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。在战争时期,还可以起到人防的功能。截至 2014 年年底,全国已有 22 个城市建成地铁 95 条,运营里程达到 2900km。



图 1.3 地铁隧道

4. 水底隧道

当交通线需要横跨河道时,一般可以架桥或是轮渡通过。但是,如果在城市区域内,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,就难以克服这一矛盾。此时,采用水底隧道就可以解决。

胶州湾海底隧道(图 1.4),南接黄岛区的薛家岛街道办事处,北连青岛主城区的团岛,下穿胶州湾湾口海域。隧道全长约 7800m,其中海底段隧道长约 3950m。设双向六车道,设计车速 80km/h。胶州湾隧道处于火山岩及次火山群地带,覆盖层较薄,断裂带密集,共穿越 18 条断层破碎带,断面最大跨度达 28.20m,最深处位于海平面以下 82.81m。路线等级为城市快速路,设计基准期为 100 年。



图 1.4 胶州湾海底隧道



图 1.5 人行地道

5. 人行地道

在城市闹市区中，行人众多，往来交错，而且与车辆混行，偶有不慎便会发生交通事故。在横跨十字路口处，虽然有指示灯和人行横道线，但快速的机动车，也不得不频繁减速，甚至要停车避让。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（图 1.5）。这样可以缓解地面交通互相交叉的繁忙景象，也大大减少了交通事故。

1.2.2 市政隧道

在城市中，为安置各种不同市政设施设置地下孔道，称为市政隧道。城市不断发展，工商各业日趋繁荣，人民生活水平逐步提高，对公用事业的要求也越来越高。许多城市不得不充分利用地下空间，将市政设施安置在地下，既可以不上占用地面面积，又不致扰乱高空位置和损伤市容的整齐。市政隧道有以下类别：

1. 给水隧道

城市自来水管网遍布城市街区，必须有地下孔道来容纳安置，这些地下孔道称为给水隧道，既不占用地面，也避免遭受人为的损坏。

2. 污水隧道

城市污水，除一部分可以净化返用外，仍有大部分的污水需要排放到城市以外的河流中去，这就需要地下的排污隧道。这种隧道可能是本身导流排送，此时隧道的

形状多采用卵形；也可能是在孔道中安放排污管，由管道排污。一般排污隧道的进口处，多设有拦碴格栅，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

城市供给煤气、暖气、热水等，都是把管路放置在地下孔道中，这些地下孔道称为管路隧道。这些隧道经过防漏及保温措施，把能源输送到千家万户。

4. 综合管廊

综合管廊是建于城市地下用于容纳两类及以上城市工程管线的构筑物及附属设施(图 1.6)，即在城市地下建造一个隧道空间，将电力、通信，燃气、供热、给排水等各种工程管线集于一体，设有专门的检修口、吊装口和监测系统，实施统一规划、统一设计、统一建设和管理。综合管廊是保障城市运行的重要基础设施和“生命线”。

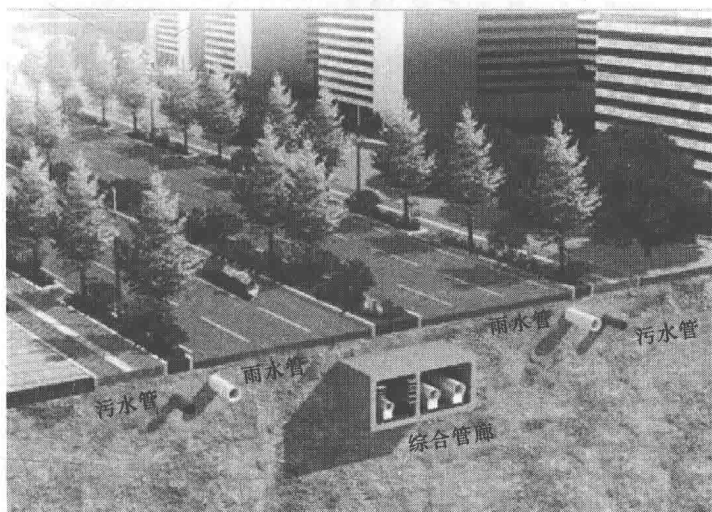


图 1.6 综合管廊

5. 线路隧道

城市中输送电力的电缆以及通信的电缆，都安置在地下孔道中，这些地下孔道称为线路隧道。这些隧道多半是沿着街道两侧附设的，既可以保证不为人们的活动所损伤或破坏，又免得悬挂高空，有碍市容观瞻。

6. 人防隧道

为了战时的防空目的，城市中需要建造人防工程。在受到空袭威胁时，市民可以进入安全的庇护所。人防工程除应设有排水、通风、照明和通讯设备以外，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。

1.2.3 矿山隧道

在矿山开采中，常设一些隧道，从山体以外通向矿床。常见的有运输隧道和通风

隧道。

1. 运输隧道

向山体开凿隧道通到矿床，并逐步开辟巷道，通往各个开采面。前者称为主巷道，为地下矿区的主要出入口和主要的运输干道（图 1.7）。后者分布如树枝状，分向各个采掘面，此种巷道多用临时支撑，仅供作业人员进行开采工作的需要。

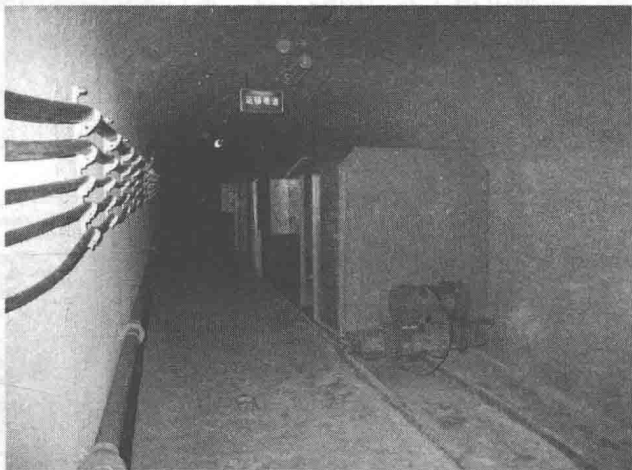


图 1.7 煤矿运输隧道

2. 通风隧道

矿山地下巷道穿过许多地层，将会有多种地下气体涌入巷道中来，再加上采掘机械不断排出废气，还有工作人员呼出气体，使得巷道内空气变得污浊。如果地下气体含有瓦斯，在含量达到一定浓度后，将会发生危险，轻可致人窒息，重则会引起爆炸，所以必须及时把有害气体排除出去。因此需要设置通风巷道，用通风机把污浊空气抽出去，并把新鲜空气补进来（图 1.8）。

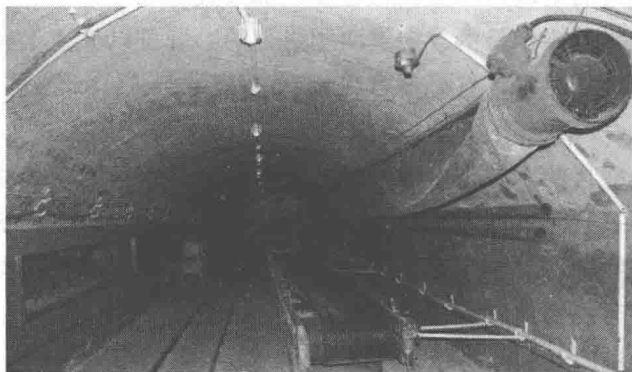


图 1.8 煤矿回风隧道

1.3 隧道工程发展史

1.3.1 世界隧道发展史

早在上古年代,人们就已经会利用天然洞穴作为栖身之所了,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。公元前 2180—2160 年前后,古巴比伦城幼发拉底河下修筑的人行隧道,是迄今已知的最早用于交通通行的隧道,此隧道为砖砌构造物,长 190m,它是奴隶在极危险的作业条件下完成的。在古罗马时代,人们利用棚架支护和卷扬提升方法,开挖了数量较多的军用隧道和水工隧道,开挖方法是火烧开挖面,烧热后急速泼冷水使岩石开裂形成隧道。

现代隧道开挖技术的产生是在火药发明及 19 世纪产业革命后出现的,尤其是铁路的出现对隧道建造起到了很大的推动作用;第一座隧道用蒸汽机车牵引的铁路隧道是 1826—1830 年在英国利物浦至曼彻斯特的铁路线上,全长 1190m。以后又陆续修建了更多的铁路隧道。火药的改进和钻眼工具的创制,使得隧道修建技术水平有了显著提高,其中比较有影响的是 1898 年建成了穿越阿尔卑斯山的辛普朗隧道。在该座隧道中,第一次应用了 TNT 炸药(硝化甘油)和凿岩机。1857—1871 年,建成了连接法国和意大利的仙尼斯山隧道,长 12850m;1971 年日本新干线上修建了大清水隧道,全长 22230m,是当时世界上最长的铁路山岭隧道。



图 1.9 青函海底隧道

除了山区的铁路隧道以外,又发展修建了一些在城市附近跨越河海的水底隧道。美国修建了宾西发亚东河水底隧道,长 7190m;日本修建了新关门隧道,长 18675m,1984 年又建

成了自本州青森至北海道函馆间的青函海底隧道,长 53850m,其中海底部分就有 23300m (图 1.9)。

由于欧洲运输量急剧增长,迫切需要扩大公路网,因而随之出现了不少的公路隧道。奥地利修了阿尔贝格公路隧道,长 13980m;瑞士修了圣哥达公路隧道,长 16285m。目前 10km 以上的公路隧道如表 1.2 所示。

由于城市发展带来的交通繁忙,车辆拥挤,人车混行等状况,以及新开挖工具——盾构的出现,地下铁道随之兴起。1863 年英国伦敦修筑了第一条地下铁道。截至 20 世纪末,全世界共有 43 个国家的 118 座城市建有地铁,总运营里程接近

表 1.2

世界著名隧道

国 家	隧道名称	隧道长度/m	开通时间
挪威	Laerdal	24510	2000
	Gudvanga	11428	1991
	Folgefonn	11130	2001
瑞士	St. Gotthard	16918	1980
奥地利	Arlberg	13972	1978
中国	Qinglin	12900	2003
法国-意大利	Fréjus	12895	1980
	Mont - Blanc	11660	1965
日本	Kan - etsu	11010	1990
	Kan - etsu	10926	1986
	Hida	10750	2010
意大利	Gran Sasso (东向)	10176	1984
	Gran Sasso (西向)	10121	1995
法国	Le Tunnel Est	10000	2004—2006

6000km。地铁线路长度超过 100km 的城市有 13 座，其中纽约和伦敦均超过 400km，巴黎超过 300km，莫斯科和东京超过 200km，而且把地上、地下的交通连接起来，成为城市中的立体交通网。地下隧道的建筑，也越来越规模宏大、雄伟壮观，如德国慕尼黑地下铁道的卡尔广场车站建筑上下深达六层：第一层是人行通道及商店餐厅；二层作为货物仓库；三层、四层为地下停车场，可同时容纳 800 辆汽车；五层、六层才是车站集散厅及车道。

1964 年日本铁路新干线的运营，标志着铁路高速技术进入实用化阶段。高速铁路的发展，必然伴随大量隧道工程的出现，这主要是因为线路的标准必须大大提高，如最小曲线半径在多数情况下都需大于 4000m，线路坡度必须比较平缓等。

1.3.2 中国隧道发展史

我国春秋时代的古籍《左传》中，曾有“隧而相见”的记载，说明当时已经有过通道式的隧道了。三国时期的“官渡之战”中，曹操采用挖掘地道的方式进攻袁绍。封建时期各个朝代的帝王坟墓陵寝均修在地下，如河北满城的汉代王陵、唐朝的帝王墓都是依山为陵；明朝的定陵更是壮丽堂皇，成为今人游览的名胜。17 世纪初宋应星所著《天工开物》是我国有关地下工程方面最早的书籍，它详细记载了竖井采煤法。最早用于交通的隧道为“石门”隧道，位于今陕西省汉中县褒谷口内，建于东汉明帝永平九年。

19 世纪以来，帝国主义争相在我国修建铁路，于是出现了铁路隧道。第一座铁路隧道是清朝在台湾修建的狮球岭隧道，建造时间为 1887—1891 年，轨距 1067mm，长 261.4m，最大埋深 61m，位于台北——基隆线上。而完全由中国人自行设计和修

建的隧道则是 1907 年在京包线上建成的八达岭隧道，它是由我国著名工程师詹天佑主持施工的。

新中国成立前，我国经济不发达，隧道修建得不多（图 1.10）。新中国成立后，隧道建设事业才有了长足的进展。新中国成立之初，处于国民经济恢复时期。在短短的三年内，把全国原有铁路线上被破坏了和发生了病害的所有隧道都一一予以修复。在成渝线上修复了 13 座隧道，在宝天线上改建了 136 座隧道，并完成了



图 1.10 八达岭隧道

天兰线上的 48 座隧道，使当时支离破碎、断断续续的铁路完全修整好，全国铁路畅通无阻。1952 年修建沙丰一线，线路通过险峻的山区，需要修建密集的隧道。该线全长 100.6km，就有 56 座隧道，总延长为 27.03km，占全线长的 27%。稍后，在宝成线上修建了总延长为 84.4km 的 304 座隧道，其中在三个马蹄形和一个“8”字形的复杂展线区段，就集中了 48 座隧道，占全线长的 37.7%，成为以隧道克服山区高程障碍，完成复杂展线的典型范例。

随着时代的发展，修建隧道的技术不断提高，如 20 世纪 50 年代建成的最长隧道是宝成线上的秦岭隧道，长 2363m；上鹰线上的加马石隧道，长 2387m；60 年代建成的最长隧道是川黔线上的凉风垭隧道，长 4270m；70 年代建成的最长隧道是京原线上的驿马岭隧道，长 7032m；到了 80 年代，衡广复线上的大瑶山隧道长度便达到 14295m。90 年代，建成的最长隧道是西康线上的秦岭 I 线隧道，长达 18456m（图 1.11）。截至 2010 年，我国运营铁路隧道的总数达 7573 多座，总延长为 5148km。



图 1.11 秦岭终南山隧道

在克服不良地质的困难条件方面,我国已经取得了修建各种隧道的丰富经验。如海拔 4600~4900m 的高原多年冻土地带的青藏线上修建昆仑山、风火山隧道;在零下 40℃ 的严寒地区修建了枫叶岭隧道;在渝怀线上,克服了 2000m³/h 大量涌水的困难,修建了长 11068m 的圆梁山隧道;在南昆线上,防止了瓦斯量达 60m³/h 的威胁,修建了家竹箐隧道。实践证明,我国已经能够在各种不良地质条件下修建隧道。

近十多年来,随着我国的高速公路或高等级公路建设的快速发展,公路隧道的建造也取得了迅猛发展(表 1.3),每年几乎都有数十座的隧道建成。

表 1.3 已建成的 3km 以上的著名公路隧道

隧道名称	隧道长度/m	营运条件
大溪岭隧道	4100	双向、双车道
二郎山隧道	4160	单向、双车道
华莹山隧道	4770	单向、双车道
鹧鸪山隧道	4400	单向、双车道
木鱼槽隧道	3600	双向、双车道
八达岭隧道	3455	双向、双车道
真武山隧道(重庆)	3100	单向、双车道
中梁山隧道(重庆)	3165	单向、双车道
牛郎河隧道	3920	单向、双车道
猫狸岭隧道	3600	单向、双车道
秦岭终南山隧道	18100	双洞、单向、双车道

在隧道施工机械化方面,早已抛弃了原始的人工开凿方法,机械钻孔已由人力持钻进到支腿架钻改为应用大型全液压的钻孔台车。修建衬砌开始由砖石垒砌,进而用混凝土就地模筑,混凝土泵送,再然后采用喷射混凝土的柔性衬砌,目前已普遍推广使用双层复合式衬砌。开挖程序开始由小导坑超前,进而采用少分块的大断面开挖;从木支撑、钢木支撑,进而采用锚杆支撑。施工方法上,从矿山法逐步过渡到新奥法,以量测信息指导并调整施工。1990 年代中期,又引进全断面掘进机(Tunnel Boring Machine,简称 TBM)用于西康线的秦岭隧道(长 18.5km)施工中(图 1.12)。而在广州、上海、南京、深圳等城市的地下铁道建造中,已普遍开始使用机械化盾构。

目前隧道工程需要解决的难题如下:

- (1) 隧道围岩力学性质与围岩破坏的关系。
- (2) 计算模型和计算理论如何与实际相符。
- (3) 施工技术水平与经济效益的提高。
- (4) 隧道设计施工管理水平与经济效益的提高。

国外隧道工程施工水平比我国先进,主要是隧道工程施工方法比较先进,机械

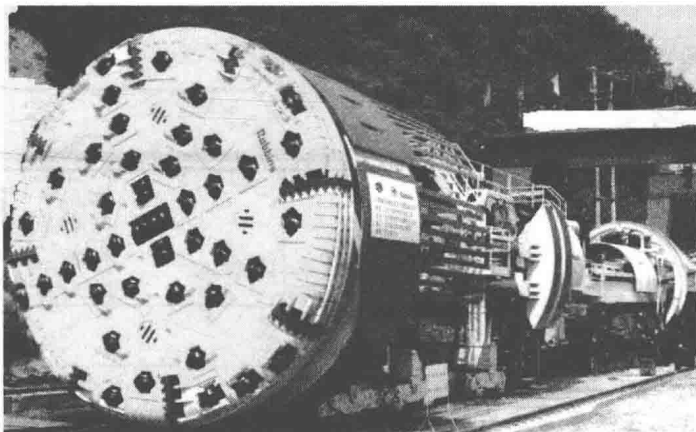


图 1.12 全断面掘进机

化、自动化程度比较高，建设速度快。新奥法施工、无轨运输、无爆法隧道掘进等都比我国发展得早。现阶段隧道地质的超前预测、地质灾害监测和警报等在我国的发展也相对比较落后，因此必须加快我国隧道工程施工水平的提高，争取在短时间内赶超国际水平。

复 习 题

1. 简述隧道的概念及其在交通事业中的地位。
2. 隧道按其用途可以分为哪几类？
3. 简述隧道的发展历程。