

高等学校土木工程专业系列教材

隧道工程

● 彭立敏 刘小兵 主编

SUIDAO GONGCHENG



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

高等学校土木工程专业系列教材

隧道工程

彭立敏 刘小兵 主编

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程/彭立敏,刘小兵主编. —长沙:中南大学出版社,2009
普通高等学校土木工程专业规划教材
ISBN 978 - 7 - 81105 - 844 - 4

I. 隧... II. ①彭... ②刘... III. 隧道工程—高等学校—教材
IV. U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 128611 号

隧道工程

彭立敏 刘小兵 主编

☐责任编辑 刘 辉
☐责任印制 文桂武
☐出版发行 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482
☐印 装 国防科大印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 21.25 ☐字数 512 千字
☐版 次 2009 年 9 月第 1 版 ☐2009 年 9 月第 1 次印刷
☐书 号 ISBN 978 - 7 - 81105 - 844 - 4
☐定 价 45.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

高等学校土木工程专业系列教材

编审委员会

主 任 曾庆元 院士

委 员 (以姓氏笔画排序)

方理刚	王桂尧	刘 杰	刘朝晖
刘锡军	刘 静	吕 昀	任伯帜
阮 波	李九苏	李朝奎	余志武
沈小雄	张向京	杨建军	杨伟军
周志刚	周建普	周殿铭	钟新谷
贺跃光	郭少华	徐林荣	高文毅
唐依民	桂 岚	黄立奎	蒋隆敏
彭立敏	韩用顺	谭海洋	戴公连
戴 伟			

出版说明

为了适应培养 21 世纪复合型、应用型创新人才的需要,结合我国高等院校教学的现状,立足培养学生能跟上国际经济的发展水平,按照教育部最新制定的教学大纲,遵循“学科属性及好教好学”原则,中南大学出版社组织专家教授编写了这套“高等院校人才土木工程专业系列教材”。

土木工程专业作为我国高等院校的专业设置仅十年之久,它是我国高等教育专业设置调整后的一个新兴专业,土木工程专业与建筑工程、交通土建和岩土工程等传统专业相比,在培养目标、教学内容和教学方法上都有较大的区别,以“厚基础、宽口径、强能力”作为学生培养目标,理论阐述以“必需、够用”为原则,侧重定性分析和实际工程应用。

鉴于我国行业技术标准和规范不统一的现状,大部分高校将土木工程专业分为几个专业方向或课程群组织教学,本套教材是在调查十几所高校多年教学实践的基础上进行编写,编委会成员均为长期从事专业教学的资深教师,具有丰富的教学经验和科研水平。本套教材具有以下特点:

1. 以理论“必需、够用”为原则,以工程实际应用为重点

改变了过于注重知训传授和科学体系严密性的传统教学思想,注重应用型人才培养的特点,结合现行的人才培养计划,做到理论阐述以“必需、够用”为原则,侧重定性分析及其在工程中的应用,充分利用多媒体教学的特点,扩充工程信息量,培养学生的工程概念。

2. 注重培养对象终身发展的需要

土木工程领域范围广,行业标准多,本教材注重专业基础理论与规范的关系,重点阐述规范编制的基本理论、方法和原则,适当介绍土木工程领域的新知识、新技术及其发展趋势,以适应学生今后职业生涯发展的需要。

3. 文字教材和多媒体教学相结合

随着多媒体教学的发展和应用,综合多媒体教学在教学中的优势,提高教学效率,在编写文字教材的同时,配套编写多媒体教案和相关计算软件,使学生适应现代计算技术和提高学生自我训练的能力。

4. 编写严谨规范,语言通俗易懂

根据我国土木工程最新设计与施工规范、规程和技术标准编写,体现了当前我国土木工程施工技术与管理水平,内容精练、叙述严谨。采取逻辑关系严谨、循序渐进的编写思路,深入浅出,图文并茂,文字表达通俗易懂。

希望本系列教材的出版,能促进土木工程专业的教材建设,为培养符合市场需要的高水平人才起到积极推动作用。

内 容 提 要

• • • • •

本书较系统地介绍了山岭交通隧道的勘测设计、主体建筑与附属建筑、围岩分类与围岩压力、衬砌结构的设计与计算、隧道施工方法与工艺、新奥法理论与技术、高速铁路隧道的基本知识、隧道的营运管理与养护维修等。

本书主要是作为普通高等学校土木工程专业选修隧道与地下工程方向的教材，还可用作从事隧道与地下工程的设计、施工和科学研究的专业技术人员、大专院校师生、短训班学员的参考书。

再版前言

我国是一个多山地带国家,由于隧道有缩短线路长度、提高道路的可靠性和安全性,以及在国防意义上的隐蔽性等优点,因此,我国的隧道工程一直比较发达,至今隧道总长度居世界第一。与此同时,我国当前正在进行大规模的基础建设,可以预见在未来的几十年内中国必将修建大量的铁路、公路、市政交通隧道。

从20世纪90年代中期开始,我国高校的学科专业设置已经过了几次大的调整和合并。与此同时,隧道工程在设计理论、施工技术等诸多方面都比十多年前有了较大的发展,这些新的理论与技术发展亦应及时反映在教材中。本教材便是根据我国本科专业实施通才教育和隧道工程的发展实际状况,重新进行编写,以便对专业知识进行充实和更新,使之适应新的经济建设形势条件下对隧道工程人才培养的要求。

隧道工程所涉及的技术领域很广泛,本书以中华人民共和国铁路与公路行业标准为主要依据,就国内外交通隧道工程的发展、勘察、结构设计与计算、施工方法与工艺、新奥法理论与技术、营运管理与养护维修等方面,均作了比较全面系统的介绍。尤其是目前在交通隧道工程建设方面的一些新技术和新发展亦做了专门介绍,如全断面隧道掘进机技术、高速铁路隧道、新型隧道结构类型等。

本书由中南大学的彭立敏和刘小兵两位主编,参加编写的有彭立敏(绪论、第2章、第9章、第11章、第12章、附录和第3章第2节部分内容);刘小兵(第1章、第3章、第6章、第10章、第13章);施成华(第5章、第7章);王薇(第4章、第8章)。全书由彭立敏负责定稿。

本书主要是作为普通高等学校土木工程专业选修隧道与地下工程方向的教科书。它还可用作从事隧道与地下工程的设计、施工和科学研究的专业技术人员、大专院校师生、短训班学员的参考书。

本书于2003年第一次出版。本次再版时除对各章的文字内容进行校订处,根据近些年隧道工程的理论与技术进展,对部分内容做了增减,如统一了公路与铁道围岩的分级标准、增加了隧道工程风险管理与评估、喷锚支护与监控量测的新技术等。

编者

2009年6月

目 录

0 绪 论	(1)
0.1 隧道工程的基本概念	(1)
0.2 隧道的种类及其作用	(1)
0.3 世界隧道工程的历史发展简况	(3)
0.4 我国隧道工程的发展	(5)
第1章 隧道工程勘测设计	(8)
1.1 隧道工程勘测	(8)
1.2 隧道位置选择	(12)
1.3 隧道洞口位置的选定	(21)
1.4 隧道线路设计	(22)
第2章 隧道主体建筑结构	(27)
2.1 隧道限界与净空	(27)
2.2 隧道衬砌断面设计	(33)
2.3 隧道洞身支护结构	(39)
2.4 隧道洞门结构	(45)
2.5 明洞结构	(50)
第3章 隧道附属建筑	(55)
3.1 铁路隧道附属建筑	(55)
3.2 公路隧道附属建筑	(60)
3.3 隧道防排水设施	(68)
第4章 围岩分类及围岩压力	(73)
4.1 隧道围岩的概念与工程性质	(73)
4.2 围岩的稳定性	(76)
4.3 围岩分类	(79)
4.4 围岩压力	(85)

第5章 隧道支护结构的计算	(102)
5.1 隧道结构体系的计算模型	(102)
5.2 结构力学方法	(104)
5.3 岩体力学方法	(120)
5.4 隧道洞门计算	(126)
5.5 隧道抗震计算	(132)
第6章 隧道施工方法	(136)
6.1 概述	(136)
6.2 新奥法施工方法	(137)
6.3 传统矿山法	(144)
6.4 洞口段施工方法	(146)
6.5 明洞施工方法	(148)
6.6 辅助施工措施	(149)
6.7 特殊地质地段的隧道施工	(155)
6.8 隧道施工过程中发生塌方的处理	(166)
第7章 隧道钻爆法施工作业	(169)
7.1 钻爆开挖	(169)
7.2 装碴与运输	(186)
7.3 隧道支护技术	(192)
7.4 隧道衬砌结构的防水	(196)
第8章 隧道施工辅助作业	(200)
8.1 隧道施工的辅助导坑	(200)
8.2 施工通风与防尘	(204)
8.3 压缩空气供应	(209)
8.4 施工供水与排水	(211)
8.5 施工供电与照明	(215)
第9章 新奥法	(218)
9.1 新奥法的基本概念	(218)
9.2 隧道施工过程的力学解析与分析	(219)
9.3 新奥法的施工技术	(231)
9.4 新奥法的监控量测	(246)
第10章 隧道掘进机施工	(254)
10.1 概述	(254)

10.2	掘进机的类型与构造	(256)
10.3	掘进机的施工	(263)
10.4	与掘进机施工配套的支护型式	(266)
第 11 章	高速铁路的隧道工程	(270)
11.1	国内外高速铁路隧道发展概况	(270)
11.2	高速铁路隧道的空气动力学问题	(272)
11.3	高速铁路隧道的横断面	(275)
11.4	减少隧道空气动力效应的工程对策	(281)
第 12 章	隧道施工组织与管理	(286)
12.1	施工准备	(286)
12.2	施工组织设计	(287)
12.3	施工场地布置	(289)
12.4	施工进度计划	(290)
12.5	隧道施工风险管理简介	(299)
第 13 章	隧道的营运与养护维修	(304)
13.1	隧道营运管理与养护意义	(304)
13.2	隧道的营运管理	(304)
13.3	隧道的防灾	(309)
13.4	隧道的养护与维修	(314)
附录 1	隧道围岩的物理力学指标参考值	(325)
附录 2	隧道喷锚支护与复合式衬砌设计参数	(327)
参考文献		(329)

绪 论

0.1 隧道工程的基本概念

隧道(tunnel)是一种修建在地下,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(tunnel and underground engineering)的泛指有两方面的含义: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。

在修建隧道时,一般先在地层内挖出具有一定几何形状的“坑道”,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,大都要在坑道的周围修建支护结构,或称之为“衬砌”,以保证使用安全。衬砌的形状和尺寸,应能使结构受力状态最为合理,既不浪费又能稳固。

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流水的挡土墙式结构,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: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与排水设备;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;为防止车辆在隧道内发生火灾而设置的消防与报警设备等。

0.2 隧道的种类及其作用

隧道的种类繁多,不同角度有不同的分类方法。从隧道所处的地质条件来分,可以分为土质隧道和石质隧道;从埋置的深度来分,可以分为浅埋隧道和深埋隧道;从隧道所在位置来分,可以分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道。分类比较明确的还是按照它的用途划分,可以有以下的分类:

0.2.1 交通隧道

这是隧道中最多种的一种。它们的作用是提供运输的孔道。其中又可分为如下几种:

(1) 铁路隧道。

我国内地有许多地势起伏、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,开挖隧道直接穿山最为合理,它既可使线路顺直,避免许多无谓的展线,缩短线路,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

形的范例是很多的,例如,川黔线上的凉风垭隧道,使跨越分水岭时,拔起高度小、展线短、线路顺直、造价也低;越岭高度降低了 96 m、线路缩短了 14.7 km,并避免了不良地质区域。宝成线宝鸡至秦岭一段线路上就密集地设有 48 座隧道,总延长为 17.1 km,占线路总延长的 37.75%。而正在建造的宜万铁路,隧道所占比率达 60%。由此可以想见,隧道在山区铁路线上所起的作用。

(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,也不愿修建费用高昂的隧道。因此,过去公路隧道为数不多。但是,随着社会生产的发展,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,利于高速行车,也常采用隧道方案。这类隧道在改善公路技术标准和提高运输能力方面起到了很重要的作用。

以上铁路与公路隧道按长度的分类如表 0-1 所示。

表 0-1 铁路与公路隧道按长度分类

隧道分类	特长隧道	长隧道	中隧道	短隧道
铁路隧道长度(m)	>10 000	10 000 ~ 3 000	3 000 ~ 500	≤500
公路隧道长度(m)	>3 000	3 000 ~ 1 000	1 000 ~ 500	≤500

(3) 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,而又能大量快速运送乘客的一种城市轨道交通设施。它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。在战时,还可以起到人防的功能。迄今为止,我国内地已有北京、上海、广州、深圳、天津、南京六座城市有地下铁道在营运,它们为改善城市交通状况、减少交通事故起到了有力的作用。

(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。它不但避免了风暴天气轮渡中断的情况,而且在战时不致暴露交通设施的目标,是国防上的较好选择。我国上海横跨黄浦江,全长 2 793 m 的越江水底隧道,把黄浦江两岸的交通连接起来。1993 年建成的广州珠江水底隧道,属我国第一条采用沉埋法修建的隧道(地铁与公交、市政管道共用,长 1.23 km),1995 年又在宁波甬江建成了第二条沉管水底隧道(高速公路,长 1.019 km)。

(5) 人行地道。

城市闹区中,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。在十字路口处,即使有交通指示灯和人行横道线,但机动车也不得不频频地减速甚至要停车避让行人。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。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。

0.2.2 水工隧道

它是水利与发电枢纽的一个重要组成部分。水工隧道有引水隧道、尾水隧道、导流隧道或泄洪隧道、排沙隧道。

0.2.3 市政隧道

它是城市中,为安置各种不同市政设施的地下孔道。由于城市不断发展,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。许多城市不得不利用地下空间,把它们安置在地下,既不占用地面面积,又不致扰乱高空位置和损伤市容的整齐。市政隧道有给水隧道、污水隧道、管路隧道、线路隧道、人防隧道。

0.2.4 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,其中有运输巷道、给水隧道、通风隧道。

0.3 世界隧道工程的历史发展简况

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,并且逐步会自己挖掘类似天然洞穴的窑洞来居住。公元前 2180—前 2160 年前后,在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的隧道,为砖砌构造物,长 190 m,它是奴隶在极危险的作业条件下完成的。公元前后的古罗马时代,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,开挖方法是用火烧开挖面,烧热后急速泼冷水使岩石开裂而形成。

现代隧道开挖技术的产生是在火药的发明和 19 世纪的产业革命后出现的,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 1 190 m。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发明,促使隧道的修建技术有了显著的提高,其中比较有影响的是 1898 年建成了穿越阿尔卑斯山的辛普郎隧道。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 年间,建成了连接法国和意大利的仙尼斯山隧道,长为 12 850 m;1899 年意大利又修建了辛普伦隧道,长达 19 700 m,1971 年日本新干线上修建了大清水隧道,全长 22 230 m,是目前世界上最长的铁路山岭隧道。

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。美国修建了宾夕法尼亚东河水底隧道,长为 7 190 m;日本修建了新关门隧道,长达 18 675 m。1984 年又建成了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,也是世界上最长的铁路隧道。此外,比较著名的还有 1991 年建成通车的英法海峡隧道,长 50.50 km。

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,长为 13 980 m;瑞士修了圣哥达公路隧道,长为 16 285 m。目

前 10 km 以上的公路隧道如表 0-2 所示。

表 0-2 世界上 10 km 以上的公路隧道

国家	隧道名称	隧道长度(m)	开通年代
挪威	Laerdal	24 510	2000
中国	Zhongnanshan	18 020	2007
瑞士	St. Gotthard	16 918	1980
奥地利	Arlberg	13 972	1978
中国	Qinling	12 900	2003
法国-意大利	Fréjus	12 895	1980
中国台湾	Pinglin	12 900	2003
中国	Maijishan	12 290	2009
法国-意大利	Mont - Blanc	11 660	1965
挪威	Gudvanga	11 428	1991
中国	Baojiashan	11 200	2009
挪威	Folgefonn	11 130	2001
日本	Kan - etsu	11 010	1990
日本	Kan - etsu	10 926	1986
日本	Hida	10 750	2010
中国	Yanmenguan	10 358	2005
意大利	Gran Sasso(东向)	10 176	1984
意大利	Gran Sasso(西向)	10 121	1995
法国	Le Tunnel Est	10 000	2004—2006

自从城市发展以来,城区交通繁忙,车辆拥挤,人车混行,安全难保,而因新开挖工具——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 世纪末期,全世界共有 43 个国家的 117 座城市建有地铁,总运营里程接近 6 000 km。地铁线路长度超过 100 km 的城市有 13 座,其中纽约和伦敦均超过 400 km,巴黎超过 300 km,莫斯科和东京超过 200 km。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。地下铁道的建筑,也一天比一天规模宏大、雄伟壮观。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。华盛顿的地下铁道已经用电脑指挥和控制列车运行。时速最高的是旧金山的地下铁道,平均时速为 80 km/h,最高可达 120 km/h。最大客运量是莫斯科地下铁道,1977 年统计年运送 21.6 亿人次。

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 4 000 m, 线路坡度必须比较平缓等。像日本新建成的 5 条新干线中, 隧道的工程量便相当可观。北陆新干线轻井—长野段, 长 83.6 km, 隧道约占 44%; 东北新干线宫内—八户段, 长 60.0 km, 隧道约占 85%; 九州新干线八代—西鹿儿岛段, 长 1 211.2 km, 隧道约占 70%。在这些线路上也出现了几座长隧道, 如岩手隧道长 25.8 km, 紫尾山隧道长 10.0 km 等。德国于 20 世纪 80 年代初期动工修建的汉诺威兹堡新干线, 长 327 km, 隧道总延长达 118 km, 占线路长度的 37%。另一条从曼海姆到斯图加特的线路, 长 100 km, 隧道约占 30%。

1974 年成立的国际隧道协会(ITA), 每年轮流在不同国家召开一次年会, 为各国的隧道专家学者切磋交流有关隧道的各种问题提供了一个重要平台。

0.4 我国隧道工程的发展

0.4.1 隧道工程的历史

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记载最早的书籍, 它详细描述了竖井采煤法。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, 建于东汉明帝永华九年。

19 世纪以来, 西方列强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中国台湾修建的狮球岭隧道, 建造时间为 1887—1891 年, 轨距 1 067 m, 长 261.4 m, 最大埋深 61 m, 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, 我国经济不发达, 隧道修建得不多。新中国成立后, 隧道建设事业才有了长足的进展。尤其是技术有了飞跃的进步, 隧道的修建才得到蓬勃地发展。

0.4.2 新中国成立以来隧道工程的发展和成就

新中国成立之初, 处于国民经济恢复时期。在短短的 3 年内, 把全国原有铁路线上被破坏了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, 并完成了天兰线上的 48 座隧道的整治, 把当时支离破碎、断断续续的铁路完全修整好, 使全国铁路畅通无阻。

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 100.6 km, 就有 56 座隧道, 总延长为 27.03 km, 占全线长的 27%。稍后, 在宝成线上修建了总延长为 84.4 km 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 37.75%, 成为以隧道克服山区高程障碍、完成复杂展线的典型范例。

以后, 随着时代的发展, 修建隧道的技术不断提高, 建成的隧道一个比一个长, 一个比一个质量好。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 2 363 m; 上鹰线上的加马石隧道长为 2 387 m; 60 年代建成的最长隧道是川黔线上的凉风垭隧道, 长为 4 270

m; 70 年代建成的最长隧道是京原线上的驿马岭隧道, 长为 7 032 m; 到了 80 年代, 衡广复线上的大瑶山隧道长度达到了 14 295 m。20 世纪初, 建成的最长隧道是西康线上的秦岭 I 线隧道, 长达 18 456 m。目前我国最长的铁路隧道是宝兰复线上的乌鞘岭隧道, 长 20.05 km。截至 2005 年, 我国运营铁路隧道的总数达 7 538 座, 总延长 4 134 km, 其中 10 km 以上的主要隧道如表 0-3 所示。

表 0-3 中国铁路 10 km 以上隧道一览表

序号	隧道名称	所在线路	隧道长度(m)	建成年月	备注
1	乌鞘岭	兰新线	20 050	2006.08	双线
2	秦岭 I 线	西康	18 456	2000.05	
3	大瑶山	衡广复线	14 294	1987.12	双线
4	野山关 II 线	宜万线	13 798	2008.05	
5	霞浦	温福专线	13 099	2008.01	
6	长梁山	朔黄	12 782	2000.03	
7	东秦岭	西安南京	12 668	2007.01	
8	园梁山	渝怀线	11 068	2004.07	
9	鸡面山	温福线	10 000	2009.05	
10	武隆	渝怀线	9 418	2003.03	

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。如在海拔 4 600 ~ 4 900 m 的高原多年冻土地带的青藏线上修建的昆仑山、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 2 000 m³/h 大量涌水的困难, 修建了园梁山隧道(11 068 m); 在南昆线上, 防止了瓦斯量达 60 m³/h 的威胁, 修成了家竹箐隧道。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, 每年几乎都有数十座以上的隧道建成。截至 2008 年, 我国已建成 5 426 座公路隧道, 总长度 3 186 km, 长度超过 5 000 m 以上的已有 20 多座(不包括在建隧道)。其中, 比较著名的有: 秦岭—终南山隧道, 长 18 020 m 多, 是我国目前最长的公路隧道; 上海至瑞丽高速公路湖南境内的邵阳至怀化段的雪峰山隧道, 长 6 951 m, 于 2007 年建成; 川藏公路的二郎山隧道, 长 4 160 m, 海拔标高达 2 200 m, 是目前我国已建成的海拔最高的隧道。

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, 20 世纪 80 年代在大瑶山隧道施工中开始应用大型全液压的钻孔台车。修建衬砌已由砖石垒砌, 进而用混凝土就地模筑, 混凝土泵送, 又进而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。开挖程序已由小导坑超前, 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, 从传统矿山法逐步过渡到新奥法, 以量测信息指导并调整施工。20 世纪 90 年代中期, 又引进全断面掘进机(tunnel boring machine——TBM)用于西康线的秦岭隧道施工中。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。

在隧道工程的理论方面,分析结构内力的方法,已经从结构力学计算转到以矩阵分析的方式用电子计算机计算,并进一步用有限元方法进行分析;从把地层压力视为外力荷载,到把围岩和支护结构组成受力统一体系的共同作用理论;从过去认为地层岩体为松散介质,进而考虑岩体的弹性、塑性和黏性,以及各种性质的转变,拟出各种能进一步体现岩性的模型,进行受力的分析。

隧道工程发展的近期,除了以交通为目的的隧道以外,又扩大到其他多方面用途的地下工程。由于地下建筑物不占地面面积,具有抗震稳定性,国防上有隐蔽性等优点,于是充分利用地下空间的途径逐渐为人们所重视。在工业方面建成了许多地下仓库、地下工厂、地下电站、地下武器库、地下停车场、地下粮仓等。在人民生活方面,建造了形成网络的防空洞、地下影院、地下招待所、地下游乐场、地下体育中心、地下街、地下餐厅、地下会堂、地下战备医院和地下养殖场等。到目前为止,地下工程发展已经渗透到国民经济的各个部门中,成为人们活动的又一层世界。

最后应该指出,尽管近年来隧道工程已经取得了一定的成就和相应的发展,但是还存在着许多问题和缺点。从总体来看,隧道结构还比较粗大厚实,施工环境还很恶劣,工人劳动强度还很大,工程进度不快和工程造价较高。具体说,截至目前,我们对围岩的性质还没有深入地摸清楚,对计算模型的选用和计算理论还不完全符合实际,施工技术水平和管理工作还比较落后,人力和物力的消耗和浪费较大,所有这些都有待隧道工作者去研究和解决。今后应当加强隧道环境和地质的现场量测及实验室的试验,以便对各种不同性质的围岩能拟出较为符合实际的计算模型和计算理论;施工方面要进一步提高开挖技术和支护方法,配备完善的施工机械,从目前的半机械化程度,提高到全机械化,再进一步达到洞内无人,洞外遥控的高度安全化;要提倡采用科学的管理方法,用调查的信息,制订施工计划,又用实测信息反馈,不断调整计划达到最优方案,使之实现质量高、速度快、浪费少、造价低的目的。

思考题

1. 隧道按使用功能分类时有哪些?
2. 交通山岭隧道的主要功能及特点。