



普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

隧道工程

主编 王长柏 汪鹏程
主审 庞建勇



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

隧道工程

主 编 王长柏 汪鹏程
副主编 蔡海兵 游 敏
主 审 庞建勇



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程/王长柏,汪鹏程主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.4
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材
ISBN 978-7-307-12877-4

I. 隧… II. ①王… ②汪… 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(2014)第 036083 号

责任编辑:余 梦 责任校对:李嘉琪 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:湖北黄冈市新华印刷有限责任公司

开本:850×1168 1/16 印张:17 字数:465 千字

版次:2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷

ISBN 978-7-307-12877-4 定价:33.00 元



版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

编审委员会

(按姓氏笔画排名)

顾 问:干 洪 朱大勇 任伟新 张伟林 程 桦 颜事龙

主 任 委 员:丁克伟 徐 颖 高 飞

副主任委员:戈海玉 方达宪 孙 强 杨智良 陆 峰 胡晓军

殷和平 黄 伟

委 员:马芹永 王 睿 王长柏 王佐才 韦 璐 方诗圣

白立华 刘运林 关 群 苏少卿 李长花 李栋伟

杨兴荣 杨树萍 肖峻峰 何夕平 何芝仙 沈小璞

张 洵 张 速 张广锋 陈 燕 邵 艳 林 雨

周 安 赵 青 荣传新 姚传勤 姚直书 袁文华

钱德玲 倪修全 郭建营 黄云峰 彭曙光 雷庆关

总责任编辑:曲生伟

秘 书 长:蔡 巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。


本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录www.stmpress.cn下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

前言

本书为住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会“2013年度高等教育教学改革项目土木工程专业卓越计划专项”立项课题成果之一,同时被评为2013年度省级规划教材。

“隧道工程”属于土木工程专业的主干课程,其授课对象覆盖土木工程(包括道路与桥梁工程、岩土与地下工程、矿山建设工程、建筑工程方向)、城市地下与空间工程、铁道工程、工程力学等专业。本课程系统地讲授了交通隧道工程的设计、施工与运营管理等方面的理论、方法与相关知识。通过本课程的学习,学生应掌握有关交通隧道的勘察、设计和构造原理,以及计算理论和计算方法;熟悉有关施工方面的知识,力求将隧道工程基本概念、设计与施工等内容有机地融为一体,使学生在学完这门课程后对交通隧道工程各个方面的知识有比较全面、系统、深入的了解,具备从事隧道工程的设计、施工、管理的基本知识和能力,具有初步研究开发的能力以及初步解决各类围岩隧道中遇到的较复杂问题的能力。

本书是按照高等学校土木工程学科专业指导委员会颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》教学基本要求,根据新形势下教育改革趋势和土木工程类院校的教学特点,结合编写组教师的长期教学经验编写而成的。本书在内容上注重与后续课程的衔接,将对后续课程影响不大或重复的内容进行了适当的压缩和精简,突出重点内容。在理论上力求简明,强调培养学生的工程计算能力和分析问题能力。

本书由安徽理工大学王长柏、合肥工业大学汪鹏程担任主编;安徽理工大学蔡海兵、安徽建筑大学游敏担任副主编;安徽工程大学王昌胜担任参编。

具体编写分工为:

安徽理工大学,王长柏(前言、第1章、第5章、第6章);

安徽建筑大学,游敏(第2章、第4章);

安徽工程大学,王昌胜(第3章、第10章);

合肥工业大学,汪鹏程(第7章、第8章);

安徽理工大学,蔡海兵(第9章、第11章)。

安徽理工大学庞建勇教授担任本书主审,并对本书的编写提出了许多宝贵的建议,特致谢意。同时,对安徽理工大学徐颖教授、马芹永教授在本书的编写过程中给予的关心和帮助表示谢意。

在本书的编写过程中引用了较多的参考书籍和文献,在此,谨向这些文献资料的作者表示衷心的感谢!

由于编者的水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者和各位同行、专家批评指正。

编者
2013年12月

目录

1 绪论	(1)
1.1 隧道工程基本概念	(2)
1.2 隧道的分类及其作用	(2)
1.3 隧道工程发展概况	(5)
1.4 现代隧道发展的特点	(8)
知识归纳	(9)
独立思考	(9)
参考文献	(10)
2 隧道工程勘测设计	(11)
2.1 隧道工程勘测	(12)
2.2 隧道选址	(15)
2.3 隧道的几何设计	(19)
2.4 隧道断面设计	(21)
2.5 道路隧道勘测设计文件的内容和组成	(26)
知识归纳	(28)
独立思考	(29)
参考文献	(29)
3 隧道结构构造及附属建筑物	(30)
3.1 洞身衬砌与洞口构造	(31)
3.2 明洞	(41)
3.3 隧道内装、顶棚及路面	(45)
3.4 隧道附属设施	(47)
3.5 隧道防排水设施	(51)
知识归纳	(54)
独立思考	(54)
参考文献	(55)
4 隧道围岩分级和围岩压力	(56)
4.1 概述	(57)
4.2 隧道围岩的工程性质	(57)
4.3 围岩的稳定性	(60)
4.4 隧道围岩分级及其应用	(63)
4.5 围岩压力的确定	(73)
知识归纳	(81)
独立思考	(82)
参考文献	(82)

5 隧道支护结构的计算	(83)
5.1 概述.....	(84)
5.2 荷载结构法.....	(88)
5.3 地层结构法.....	(99)
知识归纳.....	(116)
独立思考.....	(117)
参考文献.....	(117)
6 隧道的锚喷支护	(118)
6.1 隧道支护理论的发展.....	(119)
6.2 锚喷支护的特点.....	(120)
6.3 锚喷支护设计原则和方法.....	(122)
6.4 锚喷支护设计.....	(126)
6.5 锚喷支护施工原则及质量控制.....	(130)
知识归纳.....	(136)
独立思考.....	(136)
参考文献.....	(136)
7 隧道施工方法	(137)
7.1 概述.....	(138)
7.2 矿山法施工.....	(138)
7.3 明挖法施工.....	(153)
7.4 TBM法——掘进机施工.....	(155)
7.5 盾构法施工.....	(158)
7.6 沉管法施工.....	(163)
7.7 不良和特殊地质地段的隧道施工.....	(170)
知识归纳.....	(178)
独立思考.....	(179)
参考文献.....	(179)
8 隧道防水及排水	(180)
8.1 概述.....	(181)
8.2 隧道防水系统.....	(181)
8.3 隧道的排水系统.....	(193)
8.4 隧道工程防排水施工.....	(198)
知识归纳.....	(202)
独立思考.....	(202)
参考文献.....	(202)
9 隧道工程施工监测技术	(203)
9.1 隧道工程监测的目的.....	(204)
9.2 隧道工程的监测内容.....	(204)
9.3 隧道工程的监测方法.....	(205)
9.4 监测数据的分析.....	(218)
9.5 监测信息的反馈.....	(221)

知识归纳·····	(223)
独立思考·····	(223)
参考文献·····	(223)
10 隧道运营通风与照明 ·····	(224)
10.1 隧道通风方式·····	(225)
10.2 隧道通风设计·····	(228)
10.3 照明基础·····	(229)
10.4 隧道照明的标准和要求·····	(234)
10.5 隧道照明设计·····	(240)
知识归纳·····	(247)
独立思考·····	(247)
参考文献·····	(247)
11 隧道运营管理与养护 ·····	(248)
11.1 概述·····	(249)
11.2 隧道的运营管理·····	(249)
11.3 隧道的防灾·····	(251)
11.4 隧道的养护与维修·····	(254)
知识归纳·····	(259)
独立思考·····	(259)
参考文献·····	(260)

绪 论

课前导读

▽ 内容提要

本章主要内容包括隧道工程的基本概念、分类及隧道工程的发展特点。本章的教学重点为隧道工程的分类及现代隧道发展的特点。

▽ 能力要求

通过本章的学习，学生应掌握隧道工程的基本概念，了解隧道的分类及其作用，熟悉现代隧道发展的特点。

1.1 隧道工程基本概念

隧道是指修建在地下,两端有出入口,供交通立体化、穿山越岭、地下通道、越江、过海、管道运输、电缆地下化、水利工程等使用的工程建筑物。

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,因为地层被挖开后,容易变形、塌落或有水涌入,所以除了在极为稳固的地层中且没有地下水的地方以外,大多都需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,一般都修筑成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 隧道的分类及其作用

隧道的种类繁多,从不同角度考虑有不同的分类方法。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。比较明确的分类还是按照它的用途来划分,具体分为以下几类。

1.2.1 交通隧道

这是隧道中为数最多的一种。它们的作用是提供运输的通道。交通隧道又分为以下几类。

(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而过最为合理。它既可使线路顺直,避免许多无谓的展线,使线路里程缩短,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。因此,在铁路线上,尤其是在山区铁路线上,隧道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,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,线路长度缩短了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%。宜万铁路,隧道所占比重达60%。由此可见,隧道在山区铁路线上所起的作用相当重要。

(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。以往的山区公路为了节省工程造价,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,随着社会生产力的发展,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。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。

以上铁路与公路隧道按长度的分类见表1-1。

表 1-1 铁路与公路隧道按长度分类 (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	10000~3000	3000~500	≤500
公路隧道	>3000	3000~1000	1000~250	≤250

(3) 地下铁道

地下铁道是既能解决大城市中交通拥挤、车辆堵塞问题,又能大量快速输送乘客的一种城市轨道交通运输设施。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,而是各走上下行线,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。在战争时期,它还可以起到人防工程的功能。迄今为止,我国的北京、上海、广州、天津等多个城市已有地下铁道在营运,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,一般可以架桥或是采用轮渡通过。但是,如果在城市区域内,河道通航需要较高的净空,若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问题。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 2793 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,是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,全长 1238.5 m),1995 年又在宁波甬江建成了第二条沉管水底隧道(高速公路,全长 1019 m)。

(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。在横跨十字路口处,虽有指示灯和人行横道线,但快速的机动车,也不得不频频地减速,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。这样可以缓解地面交通的压力,同时也能减少交通事故。

1.2.2 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

引水隧道是为将水引入水电站的发电机组或调动水资源而修建的孔道。引水隧道引入的水是水电站的发电机组的动力资源,引水隧道作为引水的建筑工程,一般是要求内壁承压,但有时只是部分过水,内壁受大气压力而水压较小,甚至无水压,故有有压隧道和无压隧道之分。

(2) 尾水隧道

尾水隧道是为将水电站发电机组排出的废水送出去而修建的隧道。

(3) 导流隧道或泄洪隧道

导流隧道或泄洪隧道是为水利工程中疏导水流并补充溢洪道流量超限后的泄洪而修建的隧道,是水利工程的一个重要建筑,其作用主要是泄洪。

(4) 排沙隧道

排沙隧道是用来冲刷水库中淤积的泥沙而修建的隧道。它是水库建筑物的一个组成部分,其作用是利于排沙隧道把泥沙裹带送出水库。排沙隧道也在检查或修理时,用来放空水库里的水。

1.2.3 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,把各类市政设施安置在地下,既不占用地面面积,又不致扰乱高空位置和损害市容。其主要类型如下。

(1) 给水隧道

给水隧道是为城市自来水管网铺设系统修建的隧道。在城市中,给水管路有序合理地规划和布置与人们生活和生产息息相关,是城市市政基础设施的重要任务,要求不破坏市容景观,不占用地面,避免遭受人为的损坏。因此,修建地下孔道来容纳安置这些管道是一种合理的选择。

(2) 污水隧道

污水隧道是为城市污水排送系统修建的隧道。城市的污水,除部分对环境污染严重的采用净化运用或排放外,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。这种隧道一般采用本身导流排送,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。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

管路隧道是为城市能源供给(煤气、暖气、热水等)系统修建的隧道。城市中的管路隧道是把输送能源的管路放置修建在地下孔道中,经过防漏及保温措施处理,能源就能安全地输送到生产和居家的目的地。

(4) 线路隧道

线路隧道是为电力和通信系统修建的隧道。在城市中,为了保证电力电缆和通信电缆不被人们的活动所损伤或破坏,避免其悬挂于高空影响市容景观,通常修建专门的地下孔道安置它们。

在现代化的城市中,一般将以上四种具有共性的市政隧道,按城市的布局和规划,建成一个共用隧道,称为“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

人防隧道是为战时的防空目的而修建的防空避难隧道。城市中建造人防工程,是为了预防战争空袭的需要。人防工程是在紧急情况下,人们避难所用的,因此,在修建时应考虑人们生活环境的一般要求,除应设有排水、通风、照明和通信设备以外,还应考虑贮备饮水、粮食和必要的救护设备。在洞口处还需设置防爆、防冲击波装置等。

1.2.4 矿山隧道

在矿山开采中,为了能从山体以外通向矿床并将开采到的矿石运输出来,需要修建隧道来实现,其主要是为采矿服务的。矿山隧道有下列几种。

(1) 运输巷道

向山体开凿隧道通向矿床,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运输干道。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时使用。

(2) 给水隧道

给水隧道的作用是送入清洁水供采掘机械使用,并将废水及积水通过泵抽排出洞外。

(3) 通风隧道

矿山地下巷道穿过的地层,一般都有地下有害气体涌出,工作人员呼出气体,采掘机械排出废气,使得巷道内空气变得污浊。如果地层中的气体含有瓦斯,将会危及人身安全。因此,为净化巷道的空气,创造好的工作环境,必须设置通风巷道,把有害气体排除出去,补充新鲜空气。

综上所述,隧道工程被广泛应用到许多领域,已经成为国家建设及人民生活和生产的重要组成部分。近年来,我国隧道工程的建设取得了很大的成就,隧道技术有了相当大的发展。但是还存在许多问题和有待研究、提高的地方。具体来说,到目前为止,我们对围岩的性质还只能从定性的角度去衡量,工程应用中偏离较大;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。所有这些都还有待于隧道工作者去研究解决。我们相信,通过我们不懈的努力,勇于实践,不停地探索,我国的隧道建设技术一定会达到世界先进水平。

1.3 隧道工程发展概况

我国人口众多,有关部门正在规划和完善国家高速公路网络,以满足人们出行需要和经济发展。因此,近年来我国公路建设快速发展,由 8.5 万公里高速公路构成的“7918”高速公路网即将形成。由于高速公路线形的技术指标高,当其进入山区或重丘区时,就不可避免地需要采用隧道来穿越山岭。因此,在我国中西部山区修建高速公路,通常桥梁和隧道长度的比例都较高,为 40%~80%,而且建设难度较大。隧道突出的优点在于能够大幅度缩短里程,提高运营效率,例如,成渝高速公路中梁山隧道长 3 km,但却缩短里程 42 km,采用隧道方案节约土地,保护生态环境。

与发达国家相比,我国的公路隧道建设起步较晚,但从 1978 年改革开放起,基础设施建设十分迅速,隧道建设的数量和规模不断扩张。20 世纪 80 年代,首先在我国经济较为发达的东南沿海地区修建了超过 1 km 长的隧道,例如,深圳的梧桐山隧道长度超过 2 km,并首次在国内采用全横向通风技术。20 世纪 90 年代,公路的迅速发展对公路隧道提出了越来越高的要求,隧道建设的意义也越来越多地为人们所认识和重视,公路隧道工程遍布全国各地。同时,施工和管理难度也不断加大,我国早期建成的长度为 3 km 的成渝高速公路中梁山隧道,施工过程中遇到了大量涌水和瓦斯等不良地质问题;超过 4 km 长的川藏公路二郎山隧道,位于高海拔严寒地区,开挖遇到了高地应力和岩爆等问题;我国建成长度最长的秦岭终南山隧道,长度超过 18 km,建设过程中几乎遇到了所有的不良地质类型,在通风和施工环境方面都很有难度。到 2007 年年底,我国已建成公路隧道 4673 座,总长度达 2556 km,近 20 年来隧道建设年增长速度不断刷新。我国修建的部分特长隧道见表 1-2。

表 1-2

我国修建的部分特长公路隧道

序号	隧道名称	长度/m	位置	车道数	通风方式
1	秦岭终南山隧道	18020	陕西	2×2	3 竖井分段纵向式
2	大坪里隧道	12290	甘肃	2×2	2 竖井分段纵向式
3	包家山隧道	11500	陕西	2×2	3 斜井分段纵向式
4	宝塔山隧道	10391	山西	2×2	竖斜井送排式纵向通风
5	泥巴山隧道	9985	四川	2×2	斜井+竖井分段纵向式
6	麻崖子隧道	9000	甘肃	2×2	斜竖井送排+射流风机纵向

续表

序号	隧道名称	长度/m	位置	车道数	通风方式
7	龙潭隧道	8700	湖北	2×2	立坑送排+射流风机纵向式
8	米溪梁隧道	7923	陕西	2×2	左(右)洞单井送排式通风
9	括苍山隧道	7930	浙江	2×2	纵向式+半横流式(排烟)
10	方斗山隧道	7581	重庆	2×2	2斜井送排式纵向通风

随着我国城市化速度的不断推进,特别是山区城市建设的快速扩张,与宽阔的城市主干道对应的隧道必然是大跨度隧道,随着隧道跨度的增加,建设难度和工程造价迅速提高。表 1-3 列出了我国修建的部分大跨度公路隧道。

表 1-3 我国修建的部分大跨度公路隧道

序号	隧道名称	长度/m	位置	车道数×隧道洞数
1	白鹤嘴隧道	1240	重庆	4×2
2	龙头山隧道	1020	广东	4×2
3	万石山隧道	1170	福建	最宽处为 25.89 m 的地下立交
4	大阁山隧道	496	贵州	4×1
5	金州隧道	521	辽宁	4×1
6	雅宝隧道	260	广东	4×2
7	金鸡山隧道	200	福建	4×2(连拱)
8	罗汉山隧道	300	福建	4×2(连拱)
9	魁岐隧道	1596	福建	最宽处为 27.42 m 的地下立交

从 20 世纪 90 年代开始,随着隧道工程施工技术的提高,采用水底隧道连接江河两岸的路线已很常见,例如上海延安东路隧道、广州珠江隧道、南京玄武湖隧道、宁波常洪隧道及厦门海底隧道等水底隧道。表 1-4 列出了部分我国建设的水底隧道。采用隧道下穿江河的方案有较多优点,它既不影响地面景观,又不影响航运,还与两岸道路接线方便。1993 年在广州珠江建成了我国第一条江底沉管隧道,1995 年又在宁波甬江建成了我国第二条江底沉管隧道,这两条沉管隧道的建成为我国后来进一步在长江、黄河以及海峡修建水底沉管隧道积累了丰富经验。我国香港地区穿越维多利亚海湾连接九龙半岛与香港的 5 条通道全部为水底隧道,而没有采用桥梁方案。值得提出的是,采用盾构方法施工的上 海长江隧道长度接近 9 km,双向 6 车道,2004 年 12 月 28 日开工建设,投资 63 亿元,2010 年建成通车;南京长江隧道长度接近 4 km,双向 6 车道,2005 年 9 月 30 日开工建设,投资 30 亿元,2009 年建成通车。可见,水底隧道造价每公里近 8 亿元。

表 1-4 我国修建的部分水底公路隧道

序号	隧道名称	长度/m	位置	车道数	通风方式
1	厦门海底隧道(钻爆)	5960	福建	3×2	竖井送排+射流风机纵向式
2	上海长江隧道(盾构)	8955	上海	3×2	横向式
3	南京长江隧道	3825	江苏	3×2	纵向式

续表

序号	隧道名称	长度/m	位置	车道数	通风方式
4	武汉长江隧道(盾构)	3630	湖北	2×2	横向式
5	上中路隧道(盾构)	2800	上海	2×2	横向式(双层双向)
6	复兴东路隧道(盾构)	2785	上海	3×2	横向式(双层双向)
7	南京玄武湖隧道(盾构)	2660	江苏	3×2	纵向式
8	大连路隧道(盾构)	2566	上海	2×2	横向式
9	外环越江隧道(沉管)	2882	上海	4×2	纵向式
10	珠江隧道(沉管)	1238	广东	3×3	纵向式(道路、铁道并用)
11	宁波常洪隧道(沉管)	1053	浙江	2×1	纵向式

目前世界上已建成公路隧道,最长的是挪威修建的奥尔兰(Aurland Laerdal)公路隧道,长度达24.5 km。世界上长度大于10 km的公路隧道的概况见表1-5。其中通过阿尔卑斯山最高峰连接法国和意大利的勃朗峰(Mt. Blanc)隧道,全长11.6 km,道路宽7.0 m,从顶板到路面高6 m,断面呈马蹄形,衬砌厚80 cm,法国侧入口标高为1274 m,意大利侧标高为1381 m,最大埋深约2500 m,双车道相向运行,最高限速为80 km/h。该隧道于1959年开工,1965年开始运营。

表 1-5 世界各国已建成的长度大于10 km的公路隧道

隧道名称	国家(地区)	长度/m
勃朗峰(Mt. Blanc)	法国—意大利	11600
弗雷儒斯(Frejus)	法国—意大利	12901
圣哥达(St. Gothard)	瑞士	16918
秦岭终南山隧道	中国	18020
大坪里隧道	中国	12290
包家山隧道	中国	11500
宝塔山隧道	中国	10391
阿尔贝格(Arlberg)	奥地利	13927
格兰萨索(Gran Sasso)	意大利	10173
关越 I (Kanetsu)	日本	10920
关越 II (Kanetsu)	日本	11010
居德旺恩(Gudvangen)	挪威	11400
卑尔根(Folgefonn)	挪威	11100
奥尔兰(Aurland Laerdal)	挪威	24500
坪林(Pinglin)	中国台湾	12900
大分县(Hida)	日本	10750

隧道技术的发展表明,今后隧道技术的研究方向为非爆破的机械化施工、合理规划与环境保

护、设计可靠合理、使用安全等方面。我国是人口众多的发展中国家,进入 21 世纪后随着基础设施建设的快速推进和不断完善,经济增长速度快,经济实力不断增强,隧道和桥梁的数量已经跃居世界第一。但是,在施工设备及其自动化方面还有待提高,在隧道施工技术开发研究方面,应在引进国外先进技术的同时,立足于国内技术的开发,提高我国的隧道施工机械装备水平,达到隧道建设过程中尽量少损伤围岩,以提高隧道使用安全度的目的。

在隧道建设和维护技术方面,还有以下若干急需解决的技术问题:

- ① 隧道地质勘察技术、隧道地质超前预报技术、地质类别评判技术等;
- ② 隧道施工工艺、隧道围岩变形自动检测预警技术、机械自动喷射混凝土技术、现场衬砌拼装技术、防排水技术、长竖井施工技术、深水施工技术、富水和软岩隧道的人工冻结施工技术;
- ③ 运营监控技术、高效节能照明技术、最佳自动风机调控技术、静电除尘技术等;
- ④ 隧道安全标准、隧道内交通标志设置技术、隧道灾害检测技术、隧道防渗漏技术、隧道降噪防光污染技术、隧道防火救援救灾逃生技术、隧道灾害处理技术等;
- ⑤ 隧道废气处理技术、废水回收处理技术、隧道区域环境及生态保护技术等。

1.4 现代隧道发展的特点

现代隧道建设发展的特点至少与以下因素有关:

- ① 人类科学技术的进步,尤其是计算机技术和信息技术的快速发展,使得隧道开挖过程的受力能够详细计算和分析,计算和施工控制方法完全与隧道实际施工过程吻合;
- ② 隧道掘进的机械设备不断完善及智能化,可以最大限度地保护围岩的整体性;
- ③ 人类对生态环境保护要求的提高;
- ④ “以人为本”建设理念的深入。

现代隧道发展的特点如下。

(1) 隧道长度越修越长

随着道路等级标准的逐渐提高,隧道设计理论和施工技术的不断改进,公路隧道的修筑长度由 20 世纪的 2~3 km 发展到现在的数十公里。比较著名的有日本的关越隧道(全长 11.06 km)、意大利的勃朗峰隧道(全长 11.6 km)、奥地利的阿尔贝格隧道(全长 13.9 km)、瑞士的圣哥达隧道(全长 16.9 km)、挪威奥尔兰隧道(全长 24.5 km)。我国公路隧道的建设虽然才 20 多年,但是发展很快,比较有代表性的有七道梁隧道(全长 1.56 km)、梧桐山隧道(全长 2.32 km)、上海打浦路隧道(全长 2.76 km)、大溪岭隧道(全长 4.1 km)、二郎山隧道(全长 4.17 km)、秦岭终南山隧道(全长 18.02 km)。这些大型公路隧道的成功修建,除了公路等级标准要求的提高外,新的施工工艺、现代监测技术以及许多成功经验的运用也起着决定性的作用。

(2) 曲线隧道多

在新的隧道设计理论和施工技术推动下,特别是在总结公路隧道运营管理的实践经验后,现代公路隧道的选线已经完全打破了过去的宁直毋弯的规则,曲线隧道逐渐增多,在国外更为多见。例如,奥地利巴拉斯基复线隧道,结合地形和环境条件设计了一段长 1.2 km 的曲线隧道。曲线隧道逐渐增多的原因主要有:

- ① 避开不良地质区域,提高隧道结构安全性;
- ② 限制行车速度,充分保证行车安全;
- ③ 有效控制加速出洞而引起眩光现象,对避免发生交通事故很有帮助。