



世纪高等教育土木工程系列规划教材

隧道工程

第2版

陈秋南 安永林 李松 主编

Tunnel Engineering



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

隧道工程

第②版

主 编 陈秋南 安永林 李 松
副主编 包 太 徐泽沛
参 编 胡 兴 王小敏 周训华 黄胜平



机械工业出版社

本书根据教育部土木工程专业的课程设置指导意见以及 JTG B01—2014《公路工程技术标准》、JTG D70—2004《公路隧道设计规范》、JTG/T D70—2010《公路隧道设计细则》等相关规范,并结合编写人员多年的教学 and 实践经验编写而成。本书主要内容包括:绪论、隧道工程的勘测设计、隧道主体及附属建筑结构、隧道围岩分级及围岩压力、隧道支护结构计算、隧道施工方法、隧道工程设计中的有限元方法、隧道施工组织设计、隧道运营管理与养护及典型隧道工程简介。为满足课程设计、毕业设计及工程设计的需要,附录补充了隧道洞门、初期支护和二次衬砌的设计验算实例。

本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业隧道工程课程的教材,也可供从事隧道及地下工程设计和施工的专业技术人员及科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程/陈秋南,安永林,李松主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2017.7

21世纪高等教育土木工程系列规划教材
ISBN 978-7-111-56923-7

I. ①隧… II. ①陈… ②安… ③李… III. ①隧道工程—高等学校—教材 IV. ①U45

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第114343号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:马军平 责任编辑:马军平

责任校对:刘岚 封面设计:张静

责任印制:常天培

涿州市京南印刷厂印刷

2017年7月第2版第1次印刷

184mm×260mm·18印张·434千字

标准书号:ISBN 978-7-111-56923-7

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

《隧道工程》2008年初版，至今重印多次。目前，隧道工程的设计理论、施工方法、施工工艺及相关研究等有很大发展，相关规范也已做了修正。为了使教材内容反映学科的最新成果，更好地满足教学需要，编写人员认真听取了部分老师和学生对本书的反馈意见，针对本书存在的不足，参照最新规范、技术规程、细则以及相关文献资料，进行了重新编写和修订。

本次修订工作不仅限于用新规范代替旧规范，还力图按教材应有的要求和工程实际要求修改，更加突出课程的基本要求和应用型人才培养的要求。考虑到铁路建设发展的快速，特别是高速铁路的飞速发展，在第1版以公路隧道为主的基础上，补充了高速铁路隧道的相关知识。第2版主要对以下内容进行了重新编写和修订：增加了我国新建成的特长隧道的介绍，补充了高速铁路隧道的发展概况；修正公路隧道建筑限界；补充了高速铁路隧道洞门形式、底部结构及附属建筑设施，修改了通风照明的大部分内容；补充了隧道支护体系的形成过程及计算模式，增加了初期支护的剪切滑移法验算、洞门的验算；补充了隧道施工方法及其选择因素。为了满足课程设计、毕业设计以及工程设计科研的需要，附录补充了隧道洞门、初期支护和二次衬砌的设计验算实例。

第2版在内容安排上遵循了第1版的基本框架结构，全书仍为10章：第1章由湖南科技大学陈秋南、安永林、李松重新编写和修订，第2章由湖南科技大学陈秋南、李松重新编写和修订，第3章由长沙理工大学徐泽沛和湖南科技大学安永林重新编写和修订，第4章由陈秋南、李松和贵州省交通规划勘察设计研究院周训华重新编写和修订，第5章由贵州大学包太和湖南科技大学安永林重新编写和修订，第6章由安永林和长沙理工大学徐泽沛重新编写和修订，第7章由贵州大学胡兴重新编写和修订，第8章由陈秋南、李松重新编写和修订，第9章由贵州大学王小敏重新编写和修订，第10章由徐泽沛重新编写和修订，附录中隧道洞门、初期支护和二次衬砌的设计验算实例由安永林补充，湖南科技大学黄胜平等参与了部分章节的编写和修订，全书由湖南科技大学陈秋南和安永林统稿。

本书在重新编写和修订过程中，参考了部分国内外已有专著、文章、规范、细则等的成果，部分图片来源于网络和隧道科研现场，在此向作者及相关人士表示感谢；部分学校的老师对本书的修改提出了宝贵的意见，在此也一并表示感谢。

限于编者水平，修订过程中的疏漏之处在所难免，敬请各位同仁、专家以及读者提出宝贵的意见和建议，以便本书在下一次修订时完善。联系人的电子邮箱：aylcsu@163.com。

第1版前言

本书是根据教育部土木工程专业的课程设置指导意见及 JTG D70—2004《公路隧道设计规范》、JTG D20—2006《公路路线设计规范》，并结合编写人员多年的教学和实践经验编写而成，是普通高等院校土木工程专业的专业课教材。本书系统地介绍了隧道勘测选址、线路和纵横断面设计、隧道主体及附属建筑结构的形成、隧道围岩分级、衬砌结构的种类和计算方法、隧道的施工方法等基础知识和基本理论。

在本书编写过程中，除强调反映本学科的传统知识外，力求反映国内外隧道工程设计理论和方法的发展水平，如对隧道施工的数值分析方法、新奥法和典型隧道的设计和施工工艺等做了简单的介绍，同时力求做到编写内容比较全面，既能满足普通高等院校的教学要求，又能供从事隧道及地下工程设计和施工的专业技术人员及科研人员自学和参考。

本书由湖南科技大学陈秋南任主编，贵州大学包太、长沙理工大学徐泽沛任副主编。编写分工：湖南科技大学陈秋南编写第1、2、8章；贵州省交通规划勘察设计研究院周训华编写第4章；贵州大学包太编写第5章；长沙理工大学徐泽沛编写第3、6、10章；贵州大学胡兴编写第7章；贵州大学王小敏编写第9章；湖南科技大学黄胜平、周国华等参与了部分章节的编写和校稿。

本书由陈秋南统稿，重庆大学博士生导师张永兴教授审阅了本书，提出了许多宝贵的意见和建议，在此谨表谢意。

本书在编写过程中得到了重庆大学靳小光博士后、王桂林博士以及其他许多兄弟院校、科研院所的老师以及公路、铁路设计和施工单位的关心与支持，提出了许多宝贵意见，同时也参考了国内外许多前辈和同行的著作，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不足和错误之处，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 绪论 1

- 1.1 隧道工程的基本概念 1
- 1.2 隧道的分类及其作用 1
- 1.3 隧道工程的发展趋势 7
- 1.4 我国高速铁路隧道发展概况 8
- 思考题 9

第2章 隧道工程的勘测设计 10

- 2.1 隧道的工程调查 10
- 2.2 隧道位置选择 15
- 2.3 隧道线路设计 21
- 2.4 隧道横断面设计 25
- 2.5 隧道勘测设计文件的内容和组成 31
- 思考题 33

第3章 隧道主体及附属建筑结构 34

- 3.1 隧道衬砌材料与构造 34
- 3.2 隧道洞身衬砌结构 36
- 3.3 隧道洞门结构 39
- 3.4 隧道明洞结构 42
- 3.5 隧道附属建筑设施 45
- 3.6 隧道防排水设施 65
- 3.7 高速铁路隧道底部结构及附属建筑设施 71
- 思考题 73

第4章 隧道围岩分级及围岩压力 74

- 4.1 岩石的地质特征 74
- 4.2 岩石的物理、力学性质 77

4.3 隧道围岩分级	85
4.4 围岩压力计算	92
思考题	98
第5章 隧道支护结构计算	99
5.1 隧道支护体系的形成过程及计算模式	99
5.2 隧道施工过程的力学特性	101
5.3 隧道衬砌受力计算	107
5.4 半衬砌结构计算	111
5.5 直墙式衬砌结构计算	116
5.6 曲墙式衬砌结构计算	121
5.7 初期支护的剪切滑移法验算	126
5.8 衬砌截面强度验算	130
5.9 隧道洞门验算	131
思考题	136
第6章 隧道施工方法	137
6.1 隧道施工特点及施工方法	137
6.2 传统矿山法	140
6.3 新奥法	142
6.4 新奥法的施工技术	148
6.5 洞口段及明洞施工方法	156
6.6 辅助施工方法	158
6.7 特殊地质地段的施工方法	162
6.8 钻爆开挖和装渣运输	173
6.9 隧道支护施工	181
6.10 隧道掘进机施工	186
6.11 隧道施工现场监控量测	191
思考题	202
第7章 隧道工程设计中的有限元方法	203
7.1 概述	203
7.2 有限元法基础	205
7.3 隧道围岩弹塑性有限元分析	210
7.4 工程实例分析	215
思考题	220
第8章 隧道施工组织设计	221
8.1 隧道施工组织设计的准备工作	221
8.2 隧道施工组织设计	222
8.3 隧道施工进度计划	225
8.4 隧道施工组织设计文件组成	231

思考题	231
第 9 章 隧道运营管理与养护	232
9.1 隧道运营管理与养护的意义	232
9.2 隧道养护的一般规定	235
9.3 公路隧道运营阶段交通监控与管理	245
思考题	247
第 10 章 典型隧道工程简介	248
10.1 概述	248
10.2 连拱隧道	249
10.3 小净距隧道	253
10.4 长大隧道	257
思考题	264
附录	265
附录 1 隧道洞门设计验算实例	265
附录 2 隧道初期支护设计验算实例	269
附录 3 隧道二次衬砌设计验算实例	271
参考文献	278

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，目前隧道总长度居世界第一。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我国必将修建大量的铁路隧道、公路隧道、市政交通隧道、地铁隧道，在水电工程和调水工程中也必将修建数百条深长隧洞，在海绵城市建设和地下综合管廊建设中，隧道工程也会更多的涌现。21世纪是隧道及地下空间大发展的年代。

1.1 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、水流及管线等通行的工程建筑物。1970年OECD(世界经济合作与发展组织)隧道会议从技术方面将隧道定义为：以任何方式修建，最终使用于地表以下的条形建筑物，其空洞内部净空断面在 2m^2 以上者均为隧道。隧道工程(Tunnel Engineering)包含两方面的含义，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；另一方面是指在岩体或土层中修建的通道和各种类型的地下建筑物。

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设备及排水设备；为了净化隧道内车辆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，不同角度有不同的分类方法。按隧道所处地层，可以分为土质隧道和石质隧道；按埋置的深度，可以分为浅埋隧道和深埋隧道；按断面形式，可分为圆形、马蹄形、矩形隧道等；按隧道所在位置，可分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道。按国际隧道协会(ITA)定义的断面数值划分标准，可分为特大断面(100m^2 以上)、大断面($50\sim 100\text{m}^2$)、中等断面($10\sim 50\text{m}^2$)、小断面($3\sim 10\text{m}^2$)、极小断面(3m^2 以下)。通常按用途分类比较明确。

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孔道。

(1) 铁路隧道 从1888年我国台湾省修建第一条狮球岭铁路隧道(图1-1)至今,隧道建设有近130年的历史。20世纪50年代初,限于当时技术水平,采用迂回展线来克服地形障碍,宝成铁路翻越秦岭的一段线路采用短小隧道群,在该段路上有34座隧道(图1-2),最长的秦岭隧道长仅2363m。我国修建10km以上长度的隧道是从14.295km长的双线隧道——大瑶山隧道(图1-3)开始的,施工中采用凿岩台车、衬砌模板台车和高效能的装运工具等机具配套作业,实现全断面开挖。20世纪90年代末,在西(安)

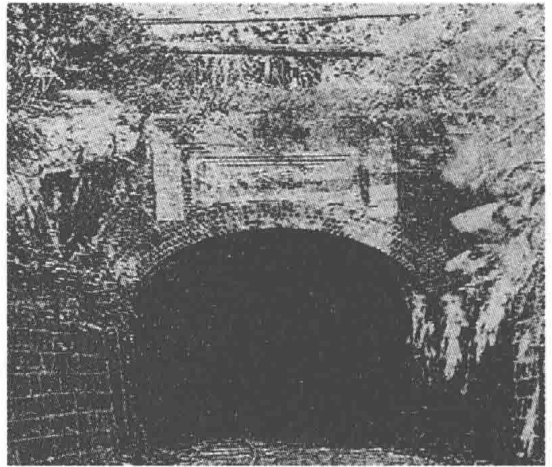


图1-1 狮球岭隧道

(安)康铁路上采用全断面掘进机等现代隧道施工机械修建18.456km长的秦岭隧道。该隧道的建成标志我国已经掌握现代隧道修建技术。

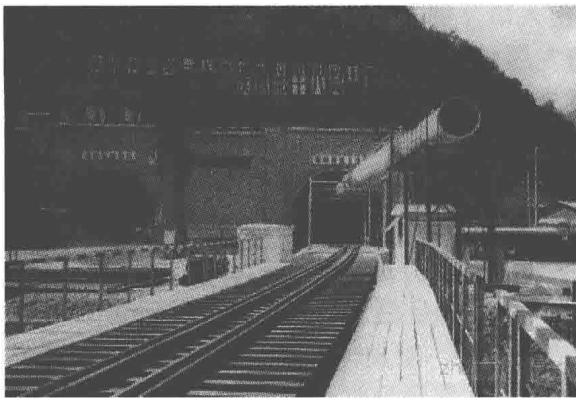


图1-2 秦岭隧道

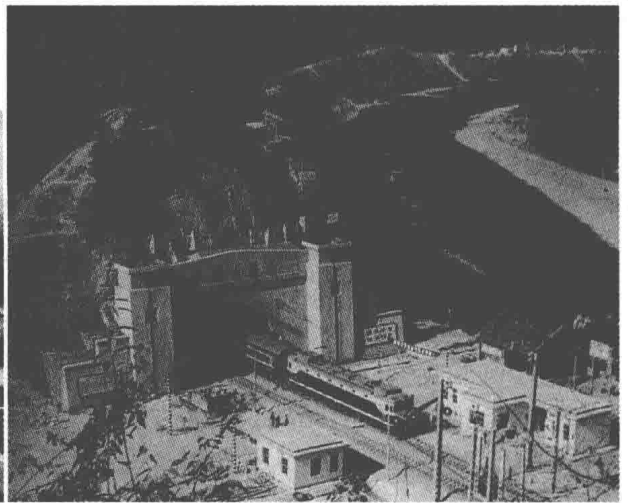


图1-3 大瑶山隧道

近10年来我国修建了大量的铁路工程,南昆铁路全长898.7km,隧道263座,总长195.363km,占线路总长的21.7%;渝怀铁路全长625km,桥隧562座,其中隧道长241km,占线路总长的38.56%。表1-1所示为我国部分15km以上的铁路隧道。

表1-1 我国铁路15km以上的隧道一览

序号	隧道名称	所在线路	隧道长度/m	建成年月	备注
1	新关角隧道	青藏铁路西格复线	32605	2012	双洞单线
2	西秦岭隧道	兰渝铁路	28236	2013	双洞单线
3	太行山隧道	石太高铁	27848	2007	双洞单线
4	戴云山隧道	向莆铁路	27558	2014	双洞单线
5	中天山隧道	南疆铁路	22452	2012	双洞单线
6	青云山隧道	向莆铁路	22175	2012	双洞单线

(续)

序号	隧道名称	所在线路	隧道长度/m	建成年月	备注
7	高盖山隧道	向莆铁路	21104	2010.6	双洞单线
8	吕梁山隧道	太中银铁路	20785	2009.9	双洞单线
9	乌鞘岭	兰新	20050	2006.6	双洞单线
10	木寨岭隧道(右洞)	兰渝铁路	19068	2014	双洞单线
11	木寨岭隧道(左洞)	兰渝铁路	19025	2013	双洞单线
12	秦岭Ⅰ线	西康	18456	2000.5	单洞单线
13	南太行山隧道	山西中南部铁路	18125	2014	双洞单线
14	雪峰山隧道	向莆铁路	17842	2012	双洞单线
15	高盖山隧道	向莆铁路	17612	2012	双洞单线
16	石羊山隧道(左洞)	大瑞铁路	17590	2010	双洞单线
17	石羊山隧道(右洞)	大瑞铁路	17590	2014	双洞单线
18	永寿梁隧道	西平铁路	17159	2012.6	双洞单线
19	哈达铺隧道	兰渝铁路	16591	2013.7	双洞单线
20	太岳山隧道	山西中南部铁路	16194	2014	单洞双线
21	大阪山隧道	兰新铁路第二双线	15918	2014	单洞双线
22	象山隧道(右洞)	龙厦铁路	15917	2012	双洞单线
23	象山隧道(左洞)	龙厦铁路	15898	2011.5	双洞单线
24	二青山隧道	太兴铁路	15851	2013	单洞双线
25	黑山隧道	兰渝铁路	15764	2014	双洞单线
26	戴云山隧道	向莆铁路	15623	2013	双洞单线
27	六狼山	准朔铁路	15175	2011.12	单洞单线

(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,在经济不发达年代,为节省工程造价,山区公路多修建盘山公路穿越山岭,延长公路距离,而不愿修建费用高昂的隧道。随着经济的高速发展,高速公路不断涌现。它要求线路顺直、平缓、路面宽敞,因此在穿越山区时,常采用隧道方案,缩短运行距离。图1-4所示为秦岭终南山公路隧道。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状态和提高运输能力方面起到了很好的作用。全球10km以上的部分公路隧道见表1-2。



图1-4 秦岭终南山公路隧道

表 1-2 世界上 10km 以上的公路隧道

国家或地区	隧道名称	隧道长度/m	开通年代
挪威	Laerdal	24510	2000
瑞士	St. Gotthard	16918	1980
奥地利	Arlberg	13972	1978
中国	秦岭	18020	2006
中国	上海长江隧道	10300	2009
中国	包家山隧道	11200	2009
中国	西山隧道	13600	2013
中国	泥巴山隧道	10004	2011
中国	麦积山隧道	12290	2009
中国	宝塔山隧道	10200	2011
中国台湾	雪山	12900	2006
法国-意大利	Fréjus	12895	1980
法国-意大利	Mont-Blanc	11660	1965
挪威	Gudvanga	11428	1991
挪威	Folgefonn	11130	2001
日本	Kan-etsu	11010	1990
日本	Kan-etsu	10926	1986
日本	Hida	10750	2010
意大利	Gran Sasso (东向)	10176	1984
意大利	Gran Sasso (西向)	10121	1995
法国	Le Tunnel Est	10000	2004 ~ 2006

铁路与公路隧道按长度分类见表 1-3。

表 1-3 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/m	> 10000	10000 ~ 3000	3000 ~ 500	≤ 500
公路隧道/m	> 3000	3000 ~ 1000	1000 ~ 500	≤ 500

(3) 地下铁道 自 1863 年伦敦建成世界上第一条地下铁道以来, 世界各大城市的地下铁道有了很大发展, 特别是近 50 年来, 地下铁道已经成为城市交通的重要组成部分。地下铁道是大量快速输送乘客的一种城市轨道交通运输设施, 能缓解和解决大城市中交通拥挤、车辆堵塞问题。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。地下铁道是现代化的交通工具, 具有运送能力大、运行速度快、准点、安全、成本低和环境污染小等优点, 节省了乘车时间, 便利了乘客的活动。地下铁道在地下构成独立的线路图, 不受地面交通干扰。在战时, 还可以起到人防的功能。迄今为止, 我国已有北京、上海、广州、天津、深圳等多座城市有地下铁道在营运, 它们为改善城市交通状况、减少交通事故起了重要作用。图 1-5 所示为长沙地铁 2 号线橘子洲站。

(4) 水底隧道 交通线路横跨江、河道时, 可以采用架桥、轮渡或修建海底隧道通过。

但架桥受净空、战争的限制和约束,轮渡又受天气影响和通行量限制,采用水底隧道可以较好地解决上述问题。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。我国自20世纪60年代开始研究用盾构法修建黄浦江水底隧道,并于80年代建成通车。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,长1.23km);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1.019km);京沪高速铁路在跨越长江时,也采用了长16.674km的沉管隧道方案。图1-6所示为长沙营盘路过江隧道。



图1-5 长沙地铁2号线橘子洲站

(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。修建航运隧道,可以把分水岭两边的河道沟通起来,减少绕行距离,既可以缩短航程,又可以节省修建多级船闸的费用,河道顺直,大大改善了航运条件。

(6) 人行地道 在城市闹市区中,需要穿越车辆密集的道路、高速公路、高速铁路以及交通事故易发路段时,通常采用修建人行地道的办法缓解地面交通压力,避免或减少交通事故。

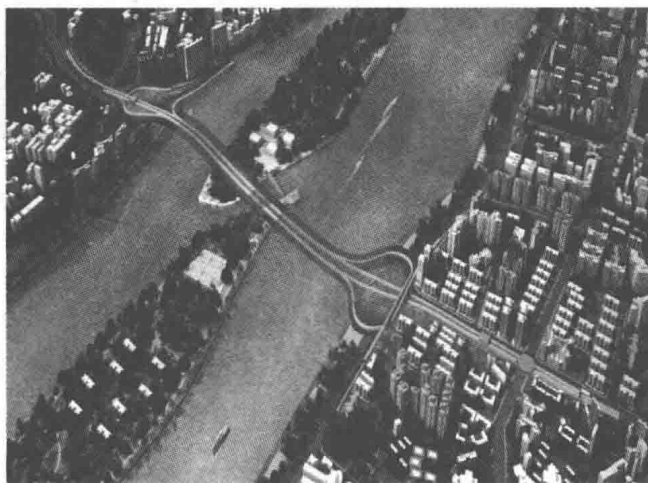


图1-6 长沙营盘路过江隧道

2. 市政隧道

在城市中为规划安置各种不同市政设施而在地面以下修建的各种地下孔道称为市政隧道。它与城镇居民的工作、生产和生活有着密切联系,是城市的生命线工程。它既可以充分利用地下空间,又不致扰乱高空位置和破坏市容的整齐。市政隧道类型有:

(1) 给水隧道 为满足城市自来水管网系统需要而修建的隧道,它既不占用地面,也避免遭受人为的损坏。

(2) 污水隧道 城市中有大量的人口和工厂,每天需要排放大量的生活污水和工业废水,这些污废水需要排放到污水处理中心进行集中处理,这就需要有地下的排污隧道。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。

(3) 管路、线路隧道 城市中的煤气、暖气、热水等都是通过埋在地下管路隧道,经过防漏及保温措施处理,把这些能源送到城市居民家中去,确保居民生活正常进行。输送电

力的电缆以及通信的电缆，都安置在地下孔道中，称为线路隧道，这样既可以保证电缆不为人们的活动所损伤或破坏，又免得高空悬挂，有碍市容市貌。线路多半是沿着街道两侧附设的。

在当今现代化的城市中，把上述四种具有共性的地下管道（隧道），按城市规划总体要求，建成一个共用地下孔道，简称“城市共同沟”（图 1-7）。



图 1-7 地下综合管廊（城市共同沟）

(4) 人防隧道 为了战时的防空目的，城市中需要建造人防隧道。在受到空袭威胁时，市民可以进入安全的庇护所。人防隧道除应设有排水、通风、照明和通信设备以外，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，并要做到多口联通、互相贯穿，在紧急时刻，可以随时找到出口。

3. 水工隧道

它是水利枢纽的一个重要组成部分。水工隧道有：

(1) 引水隧道 引水隧道是将河流或水库中的水引入带动水电站的发电机组运转产生动力资源的孔道。引水隧道有内壁承压的称有压隧道；有的只是部分过水，内部水压小且只受大气压力的称无压隧道。

(2) 尾水隧道 尾水隧道是水电站把发电机组排出的废水送出去的孔道。

(3) 排沙隧道 排沙隧道是用来冲刷水库中淤积的泥沙，把泥沙裹带送出水库大坝的孔道。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。

(4) 导流隧道或泄洪隧道 导流隧道或泄洪隧道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，如举世瞩目的三峡工程即建有导流隧道。

4. 矿山隧道（巷道）

在矿山开采中，从山体以外修建一些隧道（巷道）通向矿床而进行开采活动，达到采矿作业的目的。

(1) 运输巷道 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。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。

(2) 给水隧道 送入清洁水为采掘机械使用，并通过泵及时将废水及积水排出洞外的通道。

(3) 通风隧道 矿山地下巷道穿过各种地层，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，在瓦斯含量达到一定数值后，将会发生危险，轻者致人窒息，重则引起爆炸。因此，必须及时把有害气体排除出去。采用通风机把矿山下巷道中污浊空气抽出去，并把新鲜空气补进来的通道称为通风隧道。通风隧道既可以利用原有巷道，也可以单独修建。

1.3 隧道工程的发展趋势

隧道工程是一门古老的学科，几千年前人类就掌握了开挖隧道的技术。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。第一座隧道是用蒸汽机车牵引的铁路隧道，建于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，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年建成的穿越阿尔卑斯山的辛普郎隧道。在该座隧道中，第一次应用了硝化甘油炸药和凿岩机。1857—1871年间，建成了连接法国和意大利的仙尼斯山隧道，长为12850m；1989年意大利又修建了辛普伦隧道，长达19700m；1971年日本新干线上修建了大清水隧道，全长22230m，是目前世界上最长的铁路山岭隧道。

隧道工程又是一门快速发展中的年轻科学，因为近40多年来随着长大隧道和特殊地质状况隧道的增多、综合机械化施工技术的采用和相关学科的发展，现代隧道设计、施工理念和方法发生了重大变化和改观。如新奥法施工理念的提出和应用，以可靠度理论为基础的概率极限状态设计法引入隧道结构计算，使得隧道设计、施工理论不断得到补充和完善。

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。如已经通车的海拔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，修建了园梁山隧道（11068m）；在南昆线上，防止了瓦斯量达60m³/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。

我国隧道施工机械化水平也已得到进一步提高。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。修建衬砌由最初的砖石垒砌，进而混凝土就地模筑，混凝土泵送，又进而采用喷射混凝土的柔性衬砌，到目前已普遍推广使用的双层复合式衬砌。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（长18.5km）施工，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。

隧道工程的理论分析和计算水平得到完善和提高。分析隧道结构内力的方法，已经从结

构力学计算转到以矩阵分析的方式用计算机计算,并进一步应用有限元、数值流形等方法进行分析;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。

隧道工程还要进一步做好地质勘测和发展完善地质超前预报技术。由于隧道工程穿越的地质条件复杂,有许多不可预见的因素,其建筑风险比地面工程大,地质勘测时隧道预算、选线就显得极为重要。超前投入地质勘测资金是为了减少隧道工程建设阶段的资金投入和施工中的风险。地质雷达和 TSP 超前探测技术取得了良好的工程效果,今后不仅要完善超前探测仪器的性能,而且要进一步提高超前预报地质条件的判释水平。

应当指出,尽管近年来隧道工程建设取得了一定的成就,但是还存在着许多问题和不足。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,环境保护意识不强,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了解,计算模型的选用和计算的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,大量的隧道工程仍旧依靠经验设计和施工,人力和物力的消耗和浪费较大。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,再用实测信息反馈,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。

1.4 我国高速铁路隧道发展概况

高速行车是铁路现代化的重要标志。国际铁路联盟将通过改造原有线路(直线化、轨距标准化),使营运速率达到每小时 200km 以上的铁路称为高速铁路;或者专门修建新的“高速新线”,使营运速率达到每小时 250km 以上的铁路系统。

我国高速铁路发展大致可以分为两个阶段:第一阶段,1990 年至 2007 年,期间全国铁路五次大提速,技术上对引进的德、日、法高速动车组进行了消化吸收;第二阶段,2008 年至今,以《中国高速列车自主创新联合行动计划》的启动实施为标志,高铁产业进入自主创新的阶段。

从 2004 年 9 月启动遂渝铁路无砟轨道试验段设计和工程试验,我国高速铁路和铁路客运专线进入实施阶段,并延续至今。2008 年 4 月合宁铁路客运专线的开通运营标志着我国高速铁路进入实现阶段。目前,我国黄土地区、寒冷地区、沿海地区、越岭山区等均修建了高速铁路,以高速铁路为主骨架的快速铁路网将基本建成,建成了世界最长的高速铁路,总规模达 4 万 km 以上,其中高速铁路通车里程达到 1.9 万 km。“四纵四横”高铁主骨架基本建成,在区际运输中发挥着重要作用。“四纵”高铁,已开通运营了京沪高铁、京广高铁、京哈高铁、上海—杭州—宁波—福州—深圳快速铁路等,并加快建设京沈高铁;“四横”高铁,已开通运营郑州—西安—宝鸡、杭州—长沙—贵阳—昆明、南京—合肥—武汉—重庆、胶济客专、石太高铁等,加快建设济南—石家庄、徐州—郑州、宝鸡—兰州高铁等。

特别一提的是,在2010年12月3日,国产“和谐号”CRH380A动车组在京沪高速铁路联调联试中创出时速486.1km的纪录。2016年7月15日,我国自行设计研制、全面拥有自主知识产权的两列中国标准动车组“金凤凰”和“蓝海豚”以超过420km的时速在郑徐线上交会而过,相对时度超过840km。这一试验的成功,标志着我国已全面掌握高速铁路核心技术,高铁动车组技术实现全面自主化,中国高铁总体技术水平跻身世界先进行列,部分技术达到世界领先水平,对打造中国标准动车组品牌,助力中国高铁“走出去”具有重要意义。

“十三五”期间,我国高速铁路仍将保持快速发展,规划贯通哈尔滨至北京至香港(澳门)、连云港至乌鲁木齐、广州至昆明高速铁路通道,建设北京至台北、呼和浩特至南宁、北京至昆明、宁夏银川至海口、青岛至银川、兰州至广州、北京至兰州、重庆至厦门等高速铁路通道,拓展区域连接线。高速铁路营业里程将达到3万km,覆盖80%以上的大城市。

高速铁路行车速度快,对基础设施要求高,线路最小曲线半径大,所以必然会出现大量的隧道工程,而且隧道的长度会大大增加,如石太客运专线太行山隧道(27.839km)、合武铁路大别山隧道(10.5km)、武广客运专线新大瑶山隧道(10.08km)。

高速铁路隧道因有空气动力学的影响、开挖断面大等特点,因此其一般有以下特征:

1) 隧道一般采用双线单洞形式,隧道断面大,双线隧道最大开挖面积超过 160m^2 ,隧道断面根据隧道建筑限界、股道数及线间距、隧道设备空间、预留空间、机车车辆类型及其密封性、缓解空气动力学效应必需的断面积确定,其中缓解空气动力学效应必需的断面积起控制作用。

2) 隧道设计考虑列车通过隧道时压力变化、微气压波、会车时的压力变化、纵坡对压力变化的影响、旅客乘坐舒适度和对旅客健康损害等空气动力学作用及措施。

3) 根据隧道洞口环境条件、隧道空气动力学分析、防噪声措施和洞口设计,确定隧道洞口缓冲结构形式和缓冲结构长度,或利用既有辅助坑道缓解微气压波的影响。隧道洞口缓冲结构形式主要有接长明洞和在既有明洞进行空气动力学开孔等形式。

思 考 题

1. 隧道的概念是什么?隧道工程的含义是什么?
2. 隧道的分类及其作用。查阅相关资料,试从修建隧道与环保要求方面分析隧道工程的利弊。
3. 查阅相关资料,浅谈隧道工程现状与发展趋势。
4. 查阅相关资料,简要说明近年来我国在隧道工程方面的突出成就。