



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材

高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

隧道工程

(铁道工程专业方向适用)

宋玉香 刘勇 主编
景诗庭 主审

中国建筑工业出版社

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

隧道工程

(铁道工程专业方向适用)

宋玉香 刘 勇 主编
景诗庭 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程/宋玉香,刘勇主编. —北京:中国建筑业出版社,2017.10

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材.
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)(铁道工程专业方向适用)

ISBN 978-7-112-21152-4

I. ①隧… II. ①宋… ②刘… 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 205956 号

本书为住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材,主要根据高等学校土木工程学科专业指导委员会制定颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写。

本书以铁路隧道工程为主,介绍了隧道工程的基本概念、基本理论和施工方法。全书共分 11 章,主要包括:绪论、隧道工程地质环境及围岩分级、隧道工程勘测设计、隧道结构构造、隧道支护结构设计、隧道施工方法、隧道钻爆法施工技术、隧道其他施工方法、隧道施工辅助作业、防火疏散救援及通风设计、隧道衬砌结构养护维修等。

本书可作为高等学校土木工程专业铁道工程方向教材,也可供从事隧道工程设计、施工、研究的工程技术人员参考使用。

本书作者制作了教学课件,有需要的任课老师可以发送邮件至:jiangongkejian@163.com 免费索取。

* * *

责任编辑:吉万旺 王 跃

责任校对:李欣慰 王雪竹

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

隧道工程

(铁道工程专业方向适用)

宋玉香 刘 勇 主编

景诗庭 主审

*

中国建筑业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:19 字数:396 千字

2018 年 1 月第一版 2018 年 1 月第一次印刷

定价:42.00 元(赠课件)

ISBN 978-7-112-21152-4

(30798)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本系列教材编审委员会名单

主 任：李国强

常务副主任：何若全 沈元勤 高延伟

副 主 任：叶列平 郑健龙 高 波 魏庆朝 戚大庆

委 员：（按拼音排序）

陈昌富	陈德伟	丁南宏	高 辉	高 亮	桂 岚
何 川	黄晓明	金伟良	李 诚	李传习	李宏男
李建峰	刘建坤	刘泉声	刘伟军	罗晓辉	沈明荣
宋玉香	王 跃	王连俊	武 贵	肖 宏	徐 蓉
徐秀丽	许 明	许建聪	杨伟军	易思蓉	于安林
岳祖润	赵宪忠				

组 织 单 位：高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社

出版说明

近年来,高等学校土木工程学科专业教学指导委员会根据其研究、指导、咨询、服务的宗旨,在全国开展了土木工程学科教育教学情况的调研。结果显示,全国土木工程教育情况在2000年以后发生了很大变化,主要表现在:一是教学规模不断扩大,据统计,目前我国有超过400余所院校开设了土木工程专业,有一半以上是2000年以后才开设此专业的,大众化教育面临许多新的形势和任务;二是学生的就业岗位发生了很大变化,土木工程专业本科毕业生中90%以上在施工、监理、管理等部门就业,在高等院校、研究设计单位工作的本科生越来越少;三是由于用人单位性质不同、规模不同、毕业生岗位不同,多样化人才的需求愈加明显。土木工程专业教指委根据教育部印发的《高等学校理工科本科指导性专业规范研制要求》,在住房和城乡建设部的统一部署下,开展了专业规范的研制工作,并于2011年由中国建筑工业出版社正式出版了土建学科各专业第一本专业规范——《高等学校土木工程本科指导性专业规范》。为紧密结合此次专业规范的实施,土木工程教指委组织全国优秀作者按照专业规范编写了《高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(专业基础课)》。本套专业基础课教材共20本,已于2012年底前全部出版。教材的内容满足了建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程和铁道工程四个主要专业方向核心知识(专业基础必需知识)的基本需求,为后续专业方向的知识扩展奠定了一个很好的基础。

为更好地宣传、贯彻专业规范精神,土木工程教指委组织专家于2012年在全国二十多个省、市开展了专业规范宣讲活动,并组织开展了按照专业规范编写《高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(专业课)》的工作。教指委安排了叶列平、郑健龙、高波和魏庆朝四位委员分别担任建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程和铁道工程四个专业方向教材编写的牵头人。于2012年12月在长沙理工大学召开了本套教材的编写工作会议。会议对主编提交的编写大纲进行了充分的讨论,为与先期出版的专业基础课教材更好地衔接,要求每本教材主编充分了解前期已经出版的20种专业基础课教材的主要内容和特色,与之合理衔接与配套、共同反映专业规范的内涵和实质。此次共规划了四个专业方向29种专业课教材。为保证教材质量,系列教材编审委员会邀请了相关领域专家对每本教材进行审稿。

本系列规划教材贯彻了专业规范的有关要求,对土木工程专业教学的改革和实践具有较强的指导性。2016年,本套教材整体被评为《住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》,请各位主编及有关单位根据《住房和城乡建设部关于印发高等教育职业教育土建类学科专业“十三五”规划教材选题的通知》要求,高度重视土建类学科专业教材建设工作,做好规划教材的编写、出版和使用,为提高土建类高等教育教学质量和人才培养质量做出贡献。在本系列规划教材的编写过程中得到了住房和城乡建设部人事司及主编所在学校 and 单位的大力支持,在此一并表示感谢。希望使用本系列规划教材的广大读者提出宝贵意见和建议,以便我们在重印再版时得以改进和完善。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社

前 言

我国的隧道建设正面临着一个新的发展时期,近年来,随着高速铁路、公路和城市市政工程的建设,促进了隧道工程技术的发展。我国在隧道工程的设计理论及方法、施工方法及施工工艺等方面积累了丰富的工程实践经验,开展了大量的研究工作,取得了许多科技成果。本教材力求反映铁路隧道领域最新的科学技术成就、介绍国内外成功的经验和先进的理论及方法,并且以最新的相关工程技术标准、规范为依据,阐述隧道工程中的关键技术。

本教材以铁路隧道为主,主要介绍隧道工程的基本概念、基本理论和施工方法,使读者掌握隧道工程的特点及技术要点,并能应用所学知识、参照有关规范,从事隧道工程方面的技术工作,分析和解决隧道工程中的问题。

本教材理论与实践并重,经典理论、方法与现代新技术、新方法相结合,引导学生掌握理论知识,注重解决实际工程技术问题能力的培养。本教材内容丰富、信息量大、知识结构系统。

本教材共11章,第1、5、6章由宋玉香编写;第2、7、8章由刘勇编写;第3、9、10、11章由韩石编写,第4章由李新志编写。本教材由宋玉香负责统稿和审定,由景诗庭负责主审。

限于水平有限,时间仓促,本教材如有不妥之处,恳请专家和读者批评指正。

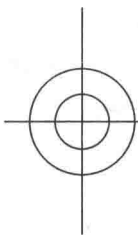
目 录

第1章 绪论	1	3.1.4 气象调查	31
本章知识点	1	3.2 隧道位置的选择	31
1.1 隧道的概念及种类	1	3.2.1 越岭线上隧道位置的选择	32
1.1.1 隧道的概念	1	3.2.2 河谷线上隧道位置的选择	33
1.1.2 隧道的分类	1	3.2.3 地质条件对隧道位置的影响	34
1.2 我国隧道工程的发展	4	3.3 隧道洞口位置的选择	37
1.2.1 隧道工程的现状	4	3.3.1 选择洞口位置的原则	37
1.2.2 我国隧道工程的发展前景	6	3.3.2 洞口平面及纵断面设计	39
小结及学习指导	7	3.4 隧道平、纵断面设计	41
思考题与习题	7	3.4.1 隧道平面设计	42
第2章 隧道工程地质环境及围岩		3.4.2 隧道纵断面设计	42
分级	8	小结及学习指导	46
本章知识点	8	思考题与习题	46
2.1 隧道围岩的概念	8	第4章 隧道结构构造	47
2.2 岩体的基本工程性质	8	本章知识点	47
2.2.1 岩体的变形特性	9	4.1 隧道限界与净空	47
2.2.2 岩体的强度	11	4.1.1 直线隧道净空	47
2.2.3 岩体的初始应力状态	13	4.1.2 曲线隧道净空加宽	52
2.3 围岩的稳定性	14	4.1.3 曲线隧道与直线隧道衬砌的衔接	
2.3.1 研究围岩稳定性的意义	14	方法	56
2.3.2 影响围岩稳定性的因素	14	4.2 隧道支护结构断面设计	57
2.4 隧道围岩分级	17	4.2.1 内轮廓线	57
2.4.1 概述	17	4.2.2 截面厚度	59
2.4.2 围岩分级方法	17	4.3 隧道洞身支护结构	59
2.4.3 我国铁路隧道围岩分级方法	20	4.3.1 整体式混凝土衬砌	59
小结及学习指导	27	4.3.2 装配式衬砌	61
思考题与习题	27	4.3.3 锚喷式衬砌	61
第3章 隧道工程勘测设计	28	4.3.4 复合式衬砌	61
本章知识点	28	4.4 洞门与明洞	65
3.1 隧道工程勘测	28	4.4.1 洞门	65
3.1.1 自然地理概况调查	29	4.4.2 明洞	68
3.1.2 地质调查	30	4.5 附属建筑物	70
3.1.3 环境调查	30	4.5.1 避车洞	70

4.5.2 防排水设施	72	6.2 新奥法的基本概念	115
小结及学习指导	74	6.2.1 新奥法的概念	115
思考题与习题	75	6.2.2 新奥法施工程序	116
第5章 隧道支护结构设计	76	6.2.3 新奥法施工的基本原则	117
本章知识点	76	6.3 隧道开挖方法	117
5.1 隧道支护体系的计算模型	76	6.3.1 全断面开挖法	118
5.1.1 隧道工程的受力特点	76	6.3.2 台阶开挖法	120
5.1.2 隧道结构体系的计算模型	77	6.3.3 分部开挖法	127
5.2 围岩压力	78	6.4 隧道洞口工程施工	132
5.2.1 围岩压力及其分类	78	6.4.1 洞口地段的一般概念	132
5.2.2 影响围岩压力的因素	79	6.4.2 进洞方法	133
5.2.3 围岩松动压力的形成和确定 方法	79	6.4.3 边、仰坡开挖及防护	134
5.2.4 确定围岩松动压力的方法	80	6.4.4 洞门施工	135
5.3 结构力学方法	88	6.4.5 明洞及缓冲结构施工	136
5.3.1 基本原理	88	小结及学习指导	138
5.3.2 隧道支护结构受力变形特点	89	思考题与习题	138
5.3.3 隧道支护结构承受的作用 (荷载)	90	第7章 隧道钻爆法施工技术	139
5.3.4 隧道支护结构的计算方法	91	本章知识点	139
5.3.5 支护结构截面强度检算	92	7.1 围岩预支护(预加固)	139
5.4 岩体力学方法	93	7.1.1 超前锚杆	140
5.4.1 岩体力学分析的思路	94	7.1.2 管棚	141
5.4.2 数值法	95	7.1.3 超前注浆小导管	142
5.4.3 收敛—约束法	100	7.1.4 超前深孔围幕注浆	144
5.4.4 剪切滑移破坏法	102	7.1.5 水平旋喷预支护	146
5.5 信息反馈方法及经验方法	104	7.1.6 机械预切槽法	146
5.5.1 信息反馈方法的设计流程	105	7.2 隧道爆破施工	147
5.5.2 信息反馈方法	105	7.2.1 隧道工程常用的炸药	148
5.5.3 经验设计法	107	7.2.2 起爆材料(系统)	149
小结及学习指导	110	7.2.3 炮眼布置	151
思考题与习题	111	7.2.4 隧道爆破的参数设计	155
第6章 隧道施工方法	112	7.2.5 周边眼的控制爆破	159
本章知识点	112	7.2.6 钻爆施工	161
6.1 隧道施工方法概述	112	7.3 装渣与运输	162
6.1.1 隧道工程的特点	112	7.3.1 装渣	163
6.1.2 隧道施工方法及其选择	113	7.3.2 运输	165
6.1.3 隧道施工的基本理念	114	7.4 初期支护	168
6.1.4 山岭隧道的常规施工方法	115	7.4.1 初期支护的基本概念	168
		7.4.2 喷射混凝土	169
		7.4.3 锚杆	175

7.4.4 钢架	179	8.3.3 围护结构的支撑体系	234
7.5 监控量测与数据分析	182	8.3.4 基坑土方开挖	235
7.5.1 监控量测设计	182	8.4 沉管法施工	236
7.5.2 现场监控量测	185	8.4.1 干坞修筑和管段制作	237
7.5.3 监测数据的处理分析与反馈 ...	191	8.4.2 基槽开挖	238
7.6 结构防排水施工	193	8.4.3 管段浮运与沉放	238
7.6.1 隧道防水施工流程	194	8.4.4 管段水下连接	240
7.6.2 结构防水板施工	195	8.4.5 基础处理	241
7.6.3 止水带及止水条	196	8.4.6 基础回填	242
7.7 二次衬砌	200	小结及学习指导	242
7.7.1 二次衬砌施工方法	200	思考题与习题	242
7.7.2 模板类型	200	第9章 隧道施工辅助作业	243
7.7.3 衬砌施工准备工作	201	本章知识点	243
7.7.4 混凝土的灌注、养护与拆模 ...	203	9.1 隧道施工通风	243
7.7.5 压浆、仰拱和底板	204	9.1.1 施工通风的必要性	243
7.8 辅助坑道	204	9.1.2 通风方式	243
7.8.1 横洞	204	9.1.3 通风计算	245
7.8.2 平行导坑	205	9.1.4 防尘措施	249
7.8.3 斜井	206	9.2 施工供水	249
7.8.4 竖井	209	9.2.1 水质要求	250
小结及学习指导	210	9.2.2 用水量估算	250
思考题与习题	210	9.2.3 供水方式	250
第8章 隧道其他施工方法	211	9.2.4 供水管道布置	250
本章知识点	211	9.3 隧道供电照明	251
8.1 隧道掘进机(TBM)施工	211	9.3.1 施工供电	251
8.1.1 隧道掘进机施工法概述	211	9.3.2 施工照明	254
8.1.2 掘进机类型	212	9.3.3 安全用电	255
8.1.3 开敞式掘进机基本构造	213	小结及学习指导	256
8.1.4 掘进	217	思考题与习题	256
8.1.5 掘进机施工配套的支护形式 ...	219	第10章 防灾疏散救援及通风设计 ...	257
8.1.6 不良地质地段施工	220	本章知识点	257
8.2 盾构法施工	220	10.1 铁路隧道灾害类型及特征	257
8.2.1 盾构机的主要类型与结构	221	10.1.1 隧道灾害类型	257
8.2.2 盾构机机型的选择	225	10.1.2 铁路隧道灾害的特征	258
8.2.3 盾构法施工技术	226	10.1.3 铁路隧道的主要灾害及 后果	258
8.2.4 盾构管片衬砌	228	10.2 隧道防灾疏散救援设施结构 形式	260
8.3 明挖法施工概要	232	10.2.1 铁路隧道紧急救援站结构	
8.3.1 放坡开挖	232		
8.3.2 围护结构及地下连续墙	234		

形式	260	11.2 隧道衬砌结构状态评估	276
10.2.2 紧急出口结构形式	262	11.2.1 隧道劣化等级划分	276
10.2.3 避难所结构形式	263	11.2.2 衬砌裂损劣化等级评定	276
10.3 隧道防灾疏散救援工程		11.2.3 衬砌渗漏水劣化等级评定 ...	277
设计	264	11.2.4 衬砌冻害劣化等级评定	278
10.3.1 防灾疏散救援工程设计		11.2.5 衬砌材料劣化等级评定	278
原则	264	11.3 隧道衬砌结构物的劣化现象和	
10.3.2 铁路隧道紧急救援站结构		原因	278
设计	264	11.3.1 混凝土结构物的劣化现象和	
10.4 隧道通风设计	267	原因	278
10.4.1 运营通风和防灾通风设计		11.3.2 隧道结构物的劣化现象和	
原则	267	原因	279
10.4.2 通风方案	267	11.4 隧道维修技术	284
10.4.3 防灾通风	269	11.4.1 衬砌渗漏水整治	284
小结及学习指导	269	11.4.2 衬砌裂损整治	286
思考题与习题	270	11.4.3 衬砌背后空洞整治	286
第11章 隧道衬砌结构养护维修	271	11.4.4 基底下沉及翻浆冒泥整治 ...	287
本章知识点	271	11.4.5 隧道底鼓整治	289
11.1 隧道状态检测	271	小结及学习指导	291
11.1.1 隧道结构状态检测	271	思考题与习题	291
11.1.2 隧道状态检测的内容与		参考文献	293
方法	272		



第1章

绪 论

本章知识点

知识点：隧道的概念，隧道的种类，我国隧道工程的发展情况。

重 点：隧道的概念，隧道的种类。

难 点：隧道的种类。

1.1 隧道的概念及种类

1.1.1 隧道的概念

隧道是人类利用地下空间的一种形式，是埋置于地层中，有出口通向地面，供车辆、行人、水流及管线等通过的工程建筑物。1970年国际经济合作与发展组织的隧道会议综合了各种因素，对隧道的定义为：“以某种用途、在地面下用任何方法按规定形状和尺寸修筑的断面积大于 2m^2 的洞室。”

1.1.2 隧道的分类

隧道的种类繁多，从不同的角度来区分，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；从隧道所在的位置来分，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使用目的来划分，可以有以下的分类：

1. 交通隧道

这是隧道中数量最多的一种，其作用是提供运输的孔道。交通隧道包括：

(1) 铁路隧道：铁路隧道是专供火车行驶的通道。铁路穿越山区时，往往会遇到高程障碍。而铁路限坡平缓，不能随意拔起高度，同时，限于地形又无法绕避时，需要修建隧道以克服高程或平面障碍。隧道既可使线路顺直、路程缩短；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。所以，在铁路线上尤其是在山区地形，修建隧道的范例是很多的，例如，川黔线上的凉风垭隧道，使线路跨越分水岭时，拔起高度小、展线短、线路顺直、造价低，越岭高度降低了96m，线路长度缩短了14.7km，避开了不良地质区域。

(2) 公路隧道：公路隧道是专供汽车行驶的通道。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，过去在山区修建公路时为节省工程造价，常常是宁愿绕行，而不愿修建费用昂贵的隧道，因此，过去公路隧道为数不多。但是，随着社会经济的发展，高速公路逐渐出现，它要求线路顺直、平缓、路面宽敞，故穿越山区时，如今也常采用隧道方案。此外，在城市附近，为避免平面交叉，利于高速行车，也常采用隧道方式通过。目前，公路隧道逐渐多起来。

铁路隧道与公路隧道按长度的分类如表 1-1 所示。

铁路与公路隧道按长度分类 (m)

表 1-1

隧道分类	短隧道	中隧道	长隧道	特长隧道
铁路隧道长度	≤ 500	500~3000	3000~10000	> 10000
公路隧道长度	≤ 500	500~1000	1000~3000	> 3000

(3) 地下铁道：地下铁道是修建于城市地层中，解决大城市中交通拥挤、车辆堵塞等问题，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入地下，提高行车速度，且可缩短车次的间隔时间，节省乘车时间，从而便利了乘客的活动。在战争时，还可以起到人防的作用。

(4) 航运隧道：航运隧道是专供轮船行驶的通道。当运河需要越过山岭时，克服高程障碍成为十分困难的问题，一般需要绕行很长的途程。如果层层设立船闸则建设投资很大，运转和维修的费用也很高，而且延误过往船只很多时间；如果修建航运隧道，把山岭两边的河道沟通起来，既可以缩短航程，又可以省掉船闸的费用，迅速而顺直地驶过，大为改善了航运条件。

(5) 人行地道：人行地道是专供行人通过的通道。城市闹市区，行人众多，往来交错，而且与车辆混行，稍有不慎便会发生交通事故。在横跨繁忙道路处，虽然有指示灯和人行横道线，但快速的机动车也不得不频频减速，甚至要停车避让。为了提高交通运送能力且减少交通事故，除架设街心高架桥以外，也可修建人行地道。这样不仅可以缓解地面交通互相交叉的繁忙现象，也大大减少了交通事故发生的概率。

2. 水工隧道

这是水利枢纽的一个重要组成部分。水工隧道包括：

(1) 引水隧道：是将水引入水电站的发电机组或调动水资源而修建的孔道。它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满水因而全部内壁都承受水压，有的只是部分过水，其内部还受大气压力，故分别称之为有压隧道和无压隧道。

(2) 尾水隧道：是运送发电机组所排废水的隧道。

(3) 导流隧道或泄洪隧道：是水利工程中一个重要组成部分，为疏导水流或水库容量超限后泄洪修建的隧道。

(4) 排沙隧道：用来冲刷水库中淤积的泥沙而修建的隧道，作用是把泥

沙裹带送出水库。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。

3. 市政隧道

这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,把市政设施安置在地下,既不占用地面面积,又不需高空敷设,改善了市容市貌。市政隧道包括:

(1) 给水隧道:给水隧道是为城市自来水管网系统铺设修建的隧道。

(2) 污水隧道:污水隧道是为城市污水排送系统修建的隧道。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,供给煤气、暖气、热水等,都是把管路放置在地下孔道中。经过防漏及保温措施,把这些能源送到居民家中去。

(4) 线路隧道:线路隧道是为电力和通信系统修建的隧道。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。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。这些地下孔道多半是沿着街道两侧敷设的。

现代城市改建和新建城市,在城市布局 and 规划中,一般将以上四种市政管道建成一个共用的大隧道,称为“共同管沟”。共同管沟是现代化城市基础设施科学规划的标志和发展方向,是利用城市地下空间的科学手段。

(5) 人防隧道:为了战时的防空目的而修建防空避难隧道,是人防工程的重要组成部分。在受到空袭威胁时,市民可以进入安全的蔽护所。人防工程除应设有排水、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。同时要做到多口联通、互相贯穿,在紧急时刻,可以随时找到出口。

4. 矿山隧道

在矿山开采中,需修建隧道从山体以外通向矿床,将开采的矿石运输出来,主要是为采矿服务。矿山隧道包括:

(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,仅满足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: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,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。轻则致人窒息,重则引起爆炸,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。

1.2 我国隧道工程的发展

1.2.1 隧道工程的现状

我国春秋时代的古籍《左传》中,曾有“遂而相见”的记载,说明当时已经有通道式的隧道了。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世纪初宋应星著的《天工开物》中详细描述了竖井采煤法,成为我国最早有关地下工程方面记载的书籍。最早用于交通的隧道为建于东汉明帝永华九年,位于今陕西省汉中市褒谷口内的“石门”隧道。

我国现代隧道工程的历史是从1890年在台湾基隆至新竹窄轨铁路上建成的216m长的狮球岭隧道开始的,这是我国最早修建的一条铁路隧道。

1908年,由杰出的工程师詹天佑博士主持修建的位于京张铁路上长1091m的八达岭隧道,在中国近代隧道修建史上写下了重要的一页。民国时期(1912~1949年),我国共兴建铁路隧道427座,总长度113.881km。这一时期的隧道主要分布在东北地区。

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的所有隧道都予以修复,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。

20世纪50年代初修建的沙丰一线全长100.6km,有隧道56座,总延长27.03km,占全线长的27%。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。

之后,随着修建隧道技术的不断提高,隧道的长度不断得到突破,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度为2363m,上鹰线上的夹马石隧道长度为2387m;20世纪60年代建成的最长隧道为川黔线上的凉风垭隧道,长度为4270m;20世纪70年代建成的最长隧道是京原线上的驿马岭隧道,长度为7032m;20世纪80年代,衡广复线上的大瑶山隧道长度达到了14295m;2000年建成西康线上的秦岭Ⅰ线隧道长度为18456m;2006年建成的宝兰复线上的乌鞘岭隧道长度为20050m。截至2015年底,运营最长的铁路山岭隧道是太行山隧道,长27848m;运营最长的水下隧道是狮子洋隧道,长10800m;在建最长的铁路隧道为关角隧道,长32645m;规划中待建最长铁路隧道为高黎贡山隧道,长34538m。据有关部门统计,到2015年底,我国已经通车运营的铁路隧道达13000km,在建铁路隧道约8000km,正在建

设和规划的铁路隧道约 10000km, 预计到 2030 年中国铁路隧道总长将突破 30000km。同为 2015 年底, 我国运营的高速铁路已超过 19000km, 其中高速铁路隧道约 3200km, 是国外高铁运营隧道的两倍多, 预计我国高速铁路隧道总长将突破 10000km。中国已经成为名副其实的隧道大国、隧道强国。

近年来, 随着我国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。截至 2013 年底, 我国大陆有公路隧道 11359 座, 总长 9605.6km。目前运营最长的公路隧道为秦岭终南山隧道, 长 18020m; 其次为麦积山隧道, 长 12286m; 第三位为包家山隧道, 长 11193m。

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经验。如在海拔 4600~4900m 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 -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; 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。

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发展到支腿架钻, 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, 进而用泵送混凝土就地模筑, 又发展到采用喷混凝土的柔性支护, 目前已普遍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; 从钢木支撑进而发展到采用锚喷支护。施工方法上, 从传统矿山法已经逐步过渡到新奥法, 以量测信息指导并调整施工。20 世纪 90 年代, 引进全断面掘进机 TBM (Tunnel Boring Machine) 用于西康线的秦岭隧道施工中。目前, 盾构与 TBM 技术在国内 (除贵阳外) 的所有地铁工程中得到了广泛应用。

自 20 世纪 70 年代末以来, 我国引进和推广了“新奥法”, 在实践和创新中, 对“新奥法”的改进和创新也做了大量工作, 并建立了具有我国特色的工程技术系统, 如浅埋暗挖法等。

下穿江河及湖泊的各类用途的隧道已有十多条, 例如已经建设完成通车的胶州湾海底隧道和翔安海底隧道等, 另外横穿台湾海峡连接大陆与台湾的海底隧道以及横穿琼州海峡连接大陆与海南岛的海底隧道正在研究之中。这些伟大的工程, 足以显示中国隧道光辉的历程和美好的发展前景。

为解决近些年城市出现车辆拥堵和雾霾等城市生态环境问题, 城市轨道交通作为绿色交通, 得到了城市建设者的青睐, 地下铁道发展迅猛。截至 2015 年底, 中国大陆已有 26 个城市开通了地铁, 拥有 116 条运营线路, 总里程达 3618km; 其中地铁 2658km, 占 73.4%, 其余为轻轨、单轨等。预计“十三五”末, 全国运营线路将超过 6000km, 一二线城市的城市轨道交通将成为城市公共交通的主体。

我国的铁路特别是高速铁路的发展方兴未艾。铁路隧道的设计标准还有优化空间; 实现隧道施工机械化、工厂化、标准化、信息化的目标还要继续努力; 工程质量控制体系、安全保障体系、后期运营维护体系等还需进一步

完善。隧道科技工作者要利用创新思维研究解决隧道建设中的新问题,力争在理论上有新突破,施工方法上有创新发展,工艺技术上有新成果,建设管理和运营维护上有新探索。

1.2.2 我国隧道工程的发展前景

随着我国经济的持续发展,综合国力不断增强,高新技术不断涌现,我国隧道发展前景是非常广阔的,同时隧道的发展也是我国国民经济发展、国家西部大开发战略、开展通海战略的迫切需要。交通设施、水电工程越来越成为制约一个地区经济发展的瓶颈所在。

在铁路隧道方面,随着高速铁路的发展,高速铁路隧道将成为铁路隧道建设主体。相对普通铁路隧道,高速铁路隧道工程由于其拆迁工程量小、环境影响小、建设用地少、对城市干扰小、结构安全可靠等优点,越来越得到建设和运营单位的重视,采用高速铁路隧道工程,可以大大提高高速铁路线路的标准,降低高速铁路选线的难度。

高速铁路在穿越城市或居民密集区,通过通航标准较高的江河、海湾,地形复杂山区的越岭工程等,采用隧道工程具有较多的优势。正在建设和即将建设的高铁隧道数量巨大:仅对云桂、兰渝、成兰、贵广、成贵5条线路的统计就表明,平均隧线比高达61%,最大达72%,新增里程1895km。跨区际的快速通道:南宁至广州(南广)铁路,贵阳至广州(贵广)铁路,兰州至成都(兰渝)铁路,昆明至南宁(云桂)铁路等重要省会或重大城市之间,已经或即将建成200km及以上的客运专线或城际铁路。

在公路隧道方面,随着我国高速公路干线网的不断完善,特别是向我国西部多山地区的不断延伸,海南岛与陆地的跨海延伸,以及辽东半岛、胶东半岛之间的跨海连接,崇明岛与上海之间等长江沿线的地下连接等都需要巨大的隧道工程来支撑,随着西部的开发,我国公路隧道的单体长度及数量记录,都将不断被刷新。在跨海、跨江隧道方面,目前我国国内已对琼州海峡隧道完成了可行性研究,不少有识人士已提出了跨越渤海湾连接辽东与胶州半岛的南桥北隧固定联络通道,跨越长江入海口连接上海—崇明—启东的江底隧道,甚至提出了兴建台湾海峡隧道的设想。

在水电隧道方面,随着以世纪工程三峡水利水电工程等一大批大型、超大型水电工程项目的实施与完成,我国在深埋、长大隧道及大跨度地下厂房的设计与施工能力上,都已经或将要达到世界先进水平,随着我国西部大开发的进行,雅鲁藏布江、金沙江等水力资源丰富的江河上梯级电站建设,我国水利水电隧道的建设也将进入全新的发展时期。

在城市地下工程方面,各种用途的地下工程的大力发展,能够有效地缓解经济发展,特别是城市发展与我国土地资源紧张的矛盾。据气象卫星遥感资料判断和测算,1986~1996年间,全国31个特大城市城区实际占地规模扩大50.2%,但城市不能无限制的蔓延扩张,只能走内涵式集约发展道路。充分利用城市地下资源,建设各类地下工程是城市经济高速发展的客观需要,

另外,设计与施工技术的发展也为其提供了充分的技术保障,目前,我国沿海地区人均国民生产总值已超过 1000 美元,达到发达国家地下空间开发、地下工程建设高潮时的标准,所以,我国地下工程的建设,特别是东部经济发达地区和大中城市,将迎来建设高潮,同时也为土木工程施工企业带来了无限商机。

总之,当前我国隧道工程在铁路和公路交通工程领域、水利水电工程领域、城市轨道交通、城市市政领域等相关行业迎来了建设高峰时期,正处于高速发展阶段,成为推动我国经济发展的重要动力。

小结及学习指导

本章重点介绍隧道的概念和种类、我国隧道工程的发展情况。

通过本章的学习,要求掌握隧道的概念、隧道工程的种类以及各类隧道工程的特点。

思考题与习题

1-1 简述隧道的定义。

1-2 隧道工程主要有哪几种分类方法?

1-3 按使用目的划分,隧道如何分类?