



高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

Tunnel Engineering

隧道工程

· 铁道工程方向 ·

主编 彭立敏 王 薇 张运良
主审 刘小兵



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列

隧道工程

主编 彭立敏 王 薇 张运良
主审 刘小兵



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程/彭立敏,王薇,张运良主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.4
高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材
ISBN 978-7-307-12895-8

I. 隧… II. ①彭… ②王… ③张… 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 043317 号

责任编辑:王亚明 郭芳 责任校对:路亚妮 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:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:880×1230 1/16 印张:20.25 字数:646千字

版次:2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷

ISBN 978-7-307-12895-8 定价:41.00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。

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

学术委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:周创兵

副主任委员:方志 叶列平 何若全 沙爱民 范峰 周铁军 魏庆朝

委员:王辉 叶燎原 朱大勇 朱宏平 刘泉声 孙伟民 易思蓉

周云 赵宪忠 赵艳林 姜忻良 彭立敏 程桦 靖洪文

编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:李国强

副主任委员:白国良 刘伯权 李正良 余志武 邹超英 徐礼华 高波

委员:丁克伟 丁建国 马昆林 王成 王湛 王媛 王薇

王广俊 王天稳 王曰国 王月明 王文顺 王代玉 王汝恒

王孟钧 王起才 王晓光 王清标 王震宇 牛荻涛 方俊

龙广成 申爱国 付钢 付厚利 白晓红 冯鹏 曲成平

吕平 朱彦鹏 任伟新 华建民 刘小明 刘庆潭 刘素梅

刘新荣 刘殿忠 闫小青 祁皑 许伟 许程洁 许婷华

阮波 杜咏 李波 李斌 李东平 李远富 李炎锋

李耀庄 杨杨 杨志勇 杨淑娟 吴昊 吴明 吴轶

吴涛 何亚伯 何旭辉 余锋 冷伍明 汪梦甫 宋固全

张红 张纯 张飞涟 张向京 张运良 张学富 张晋元

张望喜 陈辉华 邵永松 岳健广 周天华 郑史雄 郑俊杰

胡世阳 侯建国 姜清辉 娄平 袁广林 桂国庆 贾连光

夏元友 夏军武 钱晓倩 高飞 高玮 郭东军 唐柏鉴

黄华 黄声享 曹平周 康明 阎奇武 董军 蒋刚

韩峰 韩庆华 舒兴平 童小东 童华炜 曾珂 雷宏刚

廖莎 廖海黎 缪宇宁 黎冰 戴公连 戴国亮 魏丽敏

出版技术支持

(按姓氏笔画排名)

项目团队:王睿 白立华 曲生伟 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。

丛书序

土木工程涉及国家的基础设施建设,投入大,带动的行业多。改革开放后,我国国民经济持续稳定增长,其中土建行业的贡献率达到 1/3。随着城市化的发展,这一趋势还将继续呈现增长势头。土木工程行业的发展,极大地推动了土木工程专业教育的发展。目前,我国有 500 余所大学开设土木工程专业,在校生达 40 余万人。

2010 年 6 月,中国工程院和教育部牵头,联合有关部门和行业协(学)会,启动实施“卓越工程师教育培养计划”,以促进我国高等工程教育的改革。其中,“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划”由住房和城乡建设部与教育部组织实施。

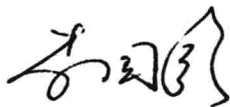
2011 年 9 月,住房和城乡建设部人事司和高等学校土建学科教学指导委员会颁布《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,对土木工程专业的学科基础、培养目标、培养规格、教学内容、课程体系及教学基本条件等提出了指导性要求。

在上述背景下,为满足国家建设对土木工程卓越人才的迫切需求,有效推动各高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,促进高等学校土木工程专业教育改革,2013 年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启动了“高等教育教学改革土木工程专业卓越计划专项”,支持并资助有关高校结合当前土木工程专业高等教育的实际,围绕卓越人才培养目标及模式、实践教学环节、校企合作、课程建设、教学资源建设、师资培养等专业建设中的重点、亟待解决的问题开展研究,以对土木工程专业教育起到引导和示范作用。

为配合土木工程专业实施卓越工程师教育培养计划的教学改革及教学资源建设,由武汉大学发起,联合国内部分土木工程教育专家和企业工程专家,启动了“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材”建设项目。该系列教材贯彻落实《高等学校土木工程本科指导性专业规范》《卓越工程师教育培养计划通用标准》和《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准》,力图以工程实际为背景,以工程技术为主线,着力提升学生的工程素养,培养学生的工程实践能力和工程创新能力。该系列教材的编写人员,大多主持或参加了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的“土木工程专业卓越计划专项”教改项目,因此该系列教材也是“土木工程专业卓越计划专项”的教改成果。

土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,需要校企合作,期望土木工程专业教育专家与工程专家一道,共同为土木工程专业卓越工程师的培养作出贡献!

是以以为序。



2014 年 3 月于同济大学四平路校区

前 言

我国地处多山地带,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,我国仍将会修建大量的铁路、公路、市政交通隧道。

进入 21 世纪以来,隧道工程在设计理论、施工技术等诸多方面都有了很大的发展,这些新的理论与技术发展也应及时反映在教材中。本书是根据我国本科专业实施通才教育和培养 21 世纪复合型、应用型人才的目标,以及隧道工程的实际发展状况进行编写的,对专业知识进行了充实和更新,以使之适应新的经济建设形势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、结构与计算、施工方法与工艺、新奥法理论与技术、全断面隧道掘进机技术、高速铁路隧道、运营管理与养护维修等方面,均作了比较全面系统的介绍。尤其对目前在交通隧道工程建设方面的一些新技术和新发展,均结合典型工程案例进行了专门介绍。

本书在原《隧道工程》教材基础上进行了系统改编。本次改编时除对部分章节的内容进行了整合和删减,以及对隧道围岩分级、全断面隧道掘进机技术、高速铁路隧道、隧道风险评估等内容加以进一步充实和完善外,还增加了对新型隧道结构类型、新意法、隧道衬砌结构检测新方法等知识的介绍。

本书可作为普通高等学校土木工程专业隧道与地下工程方向的教科书,还可用作从事隧道与地下工程设计、施工和科学研究的专业技术人员、高职高专院校师生、短训班学员的参考书。

参加本书编写的人员为:中南大学彭立敏、王薇、张运良。

本书的具体编写分工如下:彭立敏(前言、第 1 章、第 2 章、第 10 章、第 11 章、第 12 章、第 13 章);王薇(第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章);张运良(第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 14 章)。本书由彭立敏、王薇、张运良担任主编。全书最后由彭立敏统一修改定稿。

中南大学刘小兵担任本书主审,详细审阅了编写大纲和全部书稿,并提出了很多宝贵的意见,在此表示感谢。在编写过程中,中南大学土木工程学院隧道工程系的部分研究生参与了书中部分插图的绘制和文字整理工作,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中的错误和不足在所难免,恳请读者批评指正。

特别鸣谢:中铁隧道集团有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司等企业对本书编写工作给予的大力协助。

编 者

2013 年 12 月

目 录

| | | | |
|------------------------------|------|--------------------------|------|
| 1 绪论 | (1) | 3 隧道主体结构 | (29) |
| 1.1 隧道工程的基本概念 | (2) | 3.1 隧道建筑限界与净空 | (30) |
| 1.2 隧道的种类与功能 | (2) | 3.1.1 概述 | (30) |
| 1.2.1 交通隧道 | (2) | 3.1.2 曲线隧道的净空加宽 | (31) |
| 1.2.2 水工隧道 | (3) | 3.2 隧道衬砌断面设计 | (34) |
| 1.2.3 市政隧道 | (3) | 3.2.1 断面设计的基本内容和流程 | (34) |
| 1.2.4 矿山隧道 | (4) | 3.2.2 铁路隧道衬砌断面设计 | (35) |
| 1.3 隧道工程的发展概况 | (4) | 3.2.3 公路隧道衬砌断面设计 | (35) |
| 1.3.1 世界隧道工程的发展概况 | (4) | 3.2.4 衬砌截面厚度 | (35) |
| 1.3.2 我国隧道工程的发展概况 | (6) | 3.3 隧道洞身支护结构 | (36) |
| 1.3.3 隧道工程的未来发展趋势 | (8) | 3.3.1 隧道断面形状 | (36) |
| 知识归纳 | (9) | 3.3.2 洞身衬砌的结构类型 | (36) |
| 独立思考 | (9) | 3.3.3 衬砌材料 | (40) |
| 参考文献 | (9) | 3.4 隧道洞门结构 | (41) |
| 2 隧道工程勘测设计 | (11) | 3.4.1 洞门的作用 | (41) |
| 2.1 隧道工程勘测 | (12) | 3.4.2 洞门的形式 | (41) |
| 2.1.1 自然地理概况调查 | (12) | 3.5 明洞结构 | (43) |
| 2.1.2 地质调查 | (13) | 3.5.1 拱式明洞 | (44) |
| 2.1.3 环境调查 | (14) | 3.5.2 棚式明洞 | (45) |
| 2.1.4 气象调查 | (14) | 知识归纳 | (47) |
| 2.2 隧道位置的选择 | (15) | 独立思考 | (47) |
| 2.2.1 隧道方案之间及其与其他方案的比较 | (15) | 参考文献 | (47) |
| 2.2.2 越岭线上隧道位置的选择 | (16) | 4 隧道附属建筑 | (48) |
| 2.2.3 河谷线隧道位置的选择 | (18) | 4.1 铁路隧道附属建筑 | (49) |
| 2.2.4 按地质条件选择隧道位置 | (20) | 4.1.1 避车洞 | (49) |
| 2.3 隧道洞口位置的选定 | (23) | 4.1.2 电力及通信设施 | (51) |
| 2.3.1 “早进晚出”的原则 | (23) | 4.1.3 运营通风设施 | (51) |
| 2.3.2 对地形和地质条件的考虑 | (24) | 4.2 公路隧道附属建筑 | (53) |
| 2.4 隧道线路设计 | (24) | 4.2.1 安全管理设施 | (53) |
| 2.4.1 隧道线路平面设计 | (25) | 4.2.2 紧急避难设施 | (55) |
| 2.4.2 隧道线路纵断面设计 | (25) | 4.2.3 运营通风设施 | (55) |
| 知识归纳 | (27) | 4.2.4 运营照明设施 | (58) |
| 独立思考 | (28) | 4.2.5 其他及救援设施 | (60) |
| 参考文献 | (28) | 4.3 隧道防排水设施 | (61) |
| | | 4.3.1 治水原则与措施 | (61) |
| | | 4.3.2 隧道内的排水建筑物 | (62) |

| | | | |
|---------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 4.3.3 电缆槽与其他设施预留槽 | 63 | 6.4.2 隧道抗震设计的有关规定 | 118 |
| 知识归纳 | 63 | 6.4.3 地震系数法 | 119 |
| 独立思考 | 63 | 知识归纳 | 120 |
| 参考文献 | 63 | 独立思考 | 121 |
| | | 参考文献 | 121 |
| 5 围岩分级及围岩压力 | 65 | 7 隧道施工方法 | 122 |
| 5.1 隧道围岩的概念与工程性质 | 66 | 7.1 概述 | 123 |
| 5.1.1 隧道围岩的概念 | 66 | 7.1.1 隧道工程的特点 | 123 |
| 5.1.2 围岩的工程性质 | 66 | 7.1.2 隧道施工方法及其选择 | 123 |
| 5.2 围岩的稳定性 | 68 | 7.2 矿山法施工的基本方法 | 124 |
| 5.2.1 研究围岩稳定性的意义 | 68 | 7.2.1 全断面法 | 125 |
| 5.2.2 影响围岩稳定性的因素 | 68 | 7.2.2 台阶法 | 126 |
| 5.2.3 隧道围岩失稳破坏形式 | 71 | 7.2.3 分部开挖法 | 130 |
| 5.3 围岩分级 | 72 | 7.2.4 矿山法施工中可能出现的问题及其对策 | 133 |
| 5.3.1 围岩分级的意义 | 72 | 7.3 洞口段与明洞施工 | 134 |
| 5.3.2 围岩分级的方法 | 72 | 7.3.1 洞口段的概念 | 134 |
| 5.3.3 我国隧道围岩分级的方法 | 75 | 7.3.2 进洞施工方法 | 135 |
| 5.4 围岩压力 | 81 | 7.3.3 明洞施工方法 | 136 |
| 5.4.1 围岩压力的概念与类型 | 81 | 7.4 隧道辅助施工措施 | 136 |
| 5.4.2 影响围岩压力的因素 | 82 | 7.4.1 超前锚杆 | 136 |
| 5.4.3 围岩松动压力的形成 | 82 | 7.4.2 管棚 | 137 |
| 5.4.4 围岩松动压力的确定方法 | 82 | 7.4.3 超前小导管注浆 | 138 |
| 5.4.5 围岩压力的现场量测 | 90 | 7.4.4 钢背板插板法与预衬砌法 | 139 |
| 知识归纳 | 92 | 7.4.5 预注浆加固地层 | 140 |
| 独立思考 | 92 | 7.4.6 地表锚喷预加固 | 142 |
| 参考文献 | 92 | 7.5 特殊地质地段的隧道施工 | 142 |
| 6 隧道衬砌结构的计算 | 93 | 7.5.1 膨胀土围岩 | 143 |
| 6.1 隧道工程的受力特点及隧道结构体系的计算模型 | 94 | 7.5.2 黄土 | 144 |
| 6.1.1 隧道工程的受力特点 | 94 | 7.5.3 溶洞 | 145 |
| 6.1.2 隧道结构体系的计算模型 | 94 | 7.5.4 岩爆 | 147 |
| 6.2 结构力学方法 | 96 | 7.5.5 高地温 | 148 |
| 6.2.1 概述 | 96 | 7.5.6 瓦斯地层 | 149 |
| 6.2.2 隧道衬砌结构计算的矩阵位移法 | 98 | 7.6 隧道施工过程中发生坍方的处理 | 152 |
| 6.2.3 衬砌截面强度检算 | 105 | 7.6.1 发生坍方的原因 | 152 |
| 6.3 岩体力学方法 | 107 | 7.6.2 预防坍方的施工措施 | 153 |
| 6.3.1 解析法 | 107 | 7.6.3 隧道坍方的处理措施 | 153 |
| 6.3.2 数值分析方法 | 112 | 知识归纳 | 154 |
| 6.3.3 特征曲线法 | 115 | 独立思考 | 154 |
| 6.3.4 剪切滑移破坏法 | 115 | 参考文献 | 154 |
| 6.4 隧道抗震计算 | 117 | 8 隧道矿山法施工基本作业 | 156 |
| 6.4.1 隧道抗震计算方法发展概况 | 117 | 8.1 钻爆开挖 | 157 |

| | | | |
|---------------------------------|-------|------------------------------------|-------|
| 8.1.1 爆破破岩作用机理及有关 概念 | (157) | 知识归纳 | (217) |
| 8.1.2 钻孔机具 | (158) | 独立思考 | (218) |
| 8.1.3 爆破材料 | (159) | 参考文献 | (218) |
| 8.1.4 隧道内常用的爆破方法 | (162) | 10 新奥法与新意法 | (219) |
| 8.1.5 隧道爆破开挖中的超挖与 欠挖问题 | (169) | 10.1 新奥法概述 | (220) |
| 8.2 出碴与运输 | (172) | 10.1.1 名称由来与产生的历史 背景 | (220) |
| 8.2.1 装碴 | (173) | 10.1.2 新奥法的基本概念 | (220) |
| 8.2.2 运输 | (174) | 10.1.3 新奥法原理的要点 | (220) |
| 8.2.3 卸碴 | (175) | 10.1.4 新奥法的施工程序与基本 原则 | (221) |
| 8.3 隧道支护技术 | (176) | 10.2 隧道施工过程中围岩与支护 结构的相互作用 | (221) |
| 8.3.1 概述 | (176) | 10.2.1 围岩特性曲线的建立 | (221) |
| 8.3.2 临时支护 | (176) | 10.2.2 支护结构的补给曲线—— 支护特性曲线 | (224) |
| 8.3.3 初期支护 | (177) | 10.2.3 围岩与支护结构平衡状态的 建立 | (225) |
| 8.3.4 二次衬砌 | (187) | 10.3 新奥法的监控量测 | (226) |
| 8.4 衬砌结构的防排水技术 | (190) | 10.3.1 监控量测的目的 | (226) |
| 8.4.1 防水技术 | (190) | 10.3.2 监控量测的基本要求、内容 和方法 | (227) |
| 8.4.2 排水技术 | (195) | 10.3.3 监控量测数据的处理、分析 与应用 | (231) |
| 知识归纳 | (196) | 10.4 新意法简介 | (234) |
| 独立思考 | (197) | 10.4.1 新意法的基本理论 | (234) |
| 参考文献 | (197) | 10.4.2 新意法隧道设计施工的 主要程序 | (235) |
| 9 隧道施工辅助作业 | (198) | 10.4.3 新意法与新奥法的比较 | (236) |
| 9.1 隧道施工的辅助坑道 | (199) | 知识归纳 | (239) |
| 9.1.1 横洞 | (199) | 独立思考 | (239) |
| 9.1.2 平行导坑 | (200) | 参考文献 | (239) |
| 9.1.3 斜井 | (201) | 11 隧道掘进机施工 | (240) |
| 9.1.4 竖井 | (202) | 11.1 概述 | (241) |
| 9.2 施工通风与防尘 | (203) | 11.1.1 掘进机的施工特点 | (241) |
| 9.2.1 施工通风的目的及有关规定 | (203) | 11.1.2 国内外应用概况 | (242) |
| 9.2.2 通风方式 | (204) | 11.2 全断面掘进机的类型与构造 | (242) |
| 9.2.3 通风设计 | (205) | 11.2.1 全断面掘进机的类型与 主体结构 | (242) |
| 9.2.4 防尘 | (208) | 11.2.2 全断面掘进机的掘进系统 | (246) |
| 9.3 压缩空气的供应 | (210) | 11.2.3 全断面掘进机的后部配套 设备 | (247) |
| 9.3.1 供风量的计算 | (210) | 11.3 掘进机施工 | (248) |
| 9.3.2 空压机站 | (211) | | |
| 9.3.3 高压风管管径的选择 | (211) | | |
| 9.3.4 高压风管管路铺设要求 | (212) | | |
| 9.4 施工供水与防排水 | (212) | | |
| 9.4.1 施工供水 | (212) | | |
| 9.4.2 施工防排水 | (213) | | |
| 9.5 供电与照明 | (215) | | |
| 9.5.1 隧道施工供电 | (215) | | |
| 9.5.2 隧道施工照明 | (216) | | |

| | | | |
|---------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| 11.3.1 掘进机破岩机理 | (248) | 13.1.2 现场基本条件及物资准备 ... | (274) |
| 11.3.2 掘进作业 | (249) | 13.2 施工组织设计 | (275) |
| 11.3.3 掘进机的操作控制与管理 ... | (250) | 13.2.1 施工组织设计的内容 | (275) |
| 11.4 与掘进机施工配套的支护形式 ... | (252) | 13.2.2 编制施工组织设计的依据 与程序 | (276) |
| 11.4.1 管片式衬砌 | (252) | 13.3 施工场地布置 | (276) |
| 11.4.2 复合式衬砌 | (252) | 13.3.1 弃碴场地及卸碴道路的 布置 | (277) |
| 知识归纳 | (254) | 13.3.2 大宗材料的堆放场地和料库 的布置 | (277) |
| 独立思考 | (255) | 13.3.3 生产房屋和生产设施的布置 | (277) |
| 参考文献 | (255) | 13.3.4 生活房屋的布置 | (277) |
| 12 高速铁路隧道工程 | (256) | 13.4 施工进度计划 | (278) |
| 12.1 国内外高速铁路隧道发展概况 ... | (257) | 13.4.1 流水作业原理 | (278) |
| 12.2 高速铁路隧道中的空气动力学 问题 | (259) | 13.4.2 施工进度计划的表现形式 ... | (279) |
| 12.2.1 主要空气动力学效应 | (259) | 13.4.3 施工进度计划的编制 | (282) |
| 12.2.2 瞬变压力 | (259) | 13.5 隧道施工风险管理简介 | (285) |
| 12.2.3 微气压波 | (260) | 13.5.1 基本概念 | (285) |
| 12.2.4 高速列车在隧道内的运行 阻力 | (261) | 13.5.2 风险管理的基本原则与 准则 | (286) |
| 12.3 高速铁路隧道的横断面 | (261) | 13.5.3 隧道施工阶段的风险管理 ... | (287) |
| 12.3.1 堵塞比的概念 | (261) | 知识归纳 | (290) |
| 12.3.2 隧道横断面 | (262) | 独立思考 | (290) |
| 12.3.3 隧道衬砌 | (263) | 参考文献 | (291) |
| 12.3.4 国外高速铁路隧道横断面 实例 | (263) | 14 隧道运营管理与养护维修 | (292) |
| 12.4 减小隧道空气动力学效应的工程 对策 | (265) | 14.1 隧道运营管理与养护维修的 意义 | (293) |
| 12.4.1 扩大隧道横断面和减小 堵塞比 | (265) | 14.2 运营隧道检测技术与评估 | (294) |
| 12.4.2 设置洞口缓冲结构 | (265) | 14.2.1 运营隧道的常见病害 | (294) |
| 12.4.3 设置通风竖井 | (268) | 14.2.2 运营隧道检测的内容 | (294) |
| 12.4.4 修建平行辅助隧道 | (268) | 14.2.3 运营隧道检测技术 | (295) |
| 12.4.5 其他措施 | (269) | 14.2.4 运营隧道评估 | (298) |
| 12.5 高速铁路隧道的防灾救援 | (269) | 14.3 隧道的养护与维修 | (300) |
| 12.5.1 隧道防灾救援设计的基本 原则 | (269) | 14.3.1 隧道的检查 | (300) |
| 12.5.2 隧道防火救灾的系统设计 ... | (269) | 14.3.2 裂损衬砌结构的稳定性 分析 | (301) |
| 知识归纳 | (271) | 14.3.3 衬砌裂损原因分析 | (303) |
| 独立思考 | (272) | 14.3.4 隧道的养护与维修 | (304) |
| 参考文献 | (272) | 知识归纳 | (309) |
| 13 隧道施工组织与管理 | (273) | 独立思考 | (310) |
| 13.1 施工准备 | (274) | 参考文献 | (310) |
| 13.1.1 技术准备工作的内容 | (274) | | |

绪 论

课前导读

▽ 内容提要

本章的主要内容包括隧道工程的基本概念，隧道的主要分类与功能，隧道工程的特点，隧道工程的历史发展与技术发展。本章的教学重点为隧道的定义与分类，隧道的主要功能，隧道工程的特点；教学难点为隧道工程的定义与功能。

▽ 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与分类，熟悉隧道的功能与特点，了解隧道工程的历史和技术发展，对隧道工程学科所涵盖的主要内容有基本的认识 and 了解。

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、水流及管线等通过的工程建筑物。在1970年国际经济合作与发展组织(OECD)召开的隧道会议上,综合了各种因素后,对隧道所下的定义为:“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 2 m^2 的洞室。”

广义上,隧道及地下工程(tunnel and underground engineering)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,一般先要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,容易发生变形、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,大都要在坑道周围修建支护结构,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,既不浪费又稳固。

1.2 隧道的种类与功能 >>>

隧道的种类繁多,由不同角度可有不同的分类方法: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。分类比较明确的是按照它的用途所进行的划分,可以分为以下几类。

1.2.1 交通隧道

交通隧道是为数最多的一种隧道。它们的作用是提供运输的孔道。其包括以下几种。

(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,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。这既可使线路顺直,避免许多无谓的展线,使线路缩短;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,在山区铁路线上修建隧道的范例是很多的:川黔线上的凉风垭隧道、成昆线上的沙木拉达隧道、大秦线上的军都山隧道、西康线上的秦岭隧道、朔黄线上的长梁山隧道以及兰新复线上的乌鞘岭隧道等都是著名的越岭隧道,而成昆线上的关村坝隧道、衡广复线上的大瑶山隧道等都是河谷地段截弯取直的良好范例。宝成线上的宝鸡至秦岭一段 45 km 线路上就设有48座隧道,蜿蜒盘旋于秦岭崇山峻岭之中。

(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可以起到很好的作用。

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的分类

| 隧道分类 | 特长隧道 | 长隧道 | 中隧道 | 短隧道 |
|--------|--------|------------|----------|------|
| 铁路隧道/m | >10000 | 3000~10000 | 500~3000 | ≤500 |
| 公路隧道/m | >3000 | 1000~3000 | 250~1000 | ≤250 |

(3) 地下铁道

地下铁道是可以解决大城市中交通拥挤、车辆堵塞问题,又能大量快速运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从而不占用地面面积。它没有平面交叉,各走上下行线,因而可以高速行车,缩短车次间隔时间,从而节省了乘车时间,便利了乘客的活动。在战时,它还可以起到人防工程的功能。随着我国经济的发展和国民收入的持续增加,城市小汽车的拥有量在迅猛增加,以致许多城市干道的交通堵塞状况日益严重,很多路口交通负荷度已经饱和,因此,建设大容量的快速轨道交通包括地铁和轻轨运输是缓解交通紧张状况的有效途径,尤其是在市内,建设地下铁道、向地下发展是今后城市发展的一种趋势。迄今为止,我国内地绝大多数省会城市都已有地下铁道在营运或正在修建,它们为改善城市交通状况、减少交通事故起到了有效的作用。

(4) 水底隧道

当交通线需要横跨河道时,一般可以架桥或是乘轮渡通过。但是,如果在城市区域内,河道通航需要较高的净空,当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这一问题。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,就把黄浦江两岸的交通连接了起来。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、公交与市政管道共用,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);2010 年建成的武汉长江公路隧道为长江上的首座隧道,总长 3630 m,采用盾构法施工,双洞 4 车道;长沙于 2011 建成了第一条穿越湘江的营盘路水下隧道。

(5) 人行地道

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。在十字路口处,会有指示灯和人行横道线,但快速行驶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。这样既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 水工隧道

水工隧道(也称为隧洞)是水利枢纽的一个重要组成部分,根据其用途又可分为以下几种。

(1) 引水隧洞

它把水引入水电站的发电机组,产生动力源。引水隧洞有的全部充水因而内壁承压,有的只是部分过水因而内部承受大气压力和部分水压,分别称之为有压隧道和无压隧道。

(2) 尾水隧洞

它是发电机组的排水通道。

(3) 导流隧洞或泄洪隧洞

它是水利工程中的一个重要组成部分,是疏导水流或水库容量超限后的泄洪通道。

(4) 排沙隧洞

它可用来冲刷水库中淤积的泥沙,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。

1.2.3 市政隧道

市政隧道是城市中为安置各种不同市政设施而修建的地下孔道。城市的不断发展,工商业的日趋繁

荣,人民生活水平的逐步提高,对公用事业的要求越来越高。许多城市不得不利用地下空间,把市政设施安置在地下,这样既不占用地面面积,又不致扰乱高空位置和影响市容。按市政隧道的用途,可有如下几种分类。

(1) 给水隧道

城市自来水管网遍布市区,必须有地下孔道(即给水隧道)来容纳安置这些管道。它既不占用地面,又可避免遭受人为损坏。

(2) 污水隧道

城市污水需要引入到污水处理厂进行净化返用,条件不充分时部分污水还要排放到城市以外。这都需要用到地下的污水隧道。这种隧道可能是自身导流排送,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。一般污水隧道的进口处多设有拦渣隔栅,以把漂浮的杂物拦在隧道之外,不致造成堵塞。

(3) 管路隧道

城市所供煤气、暖气、热水等,一般都是把其管路安置在地下的孔道(即管路隧道)中。采用防漏及保温措施后,把这些能源送到居民家中。

(4) 线路隧道

城市中,输送电力的电缆以及用于通信的电缆,都安置在地下孔道(即线路隧道)中。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。

现实生活中也有将以上四种隧道合建成一个大隧道的情况,称之为共同沟。

(5) 人防隧道

为了实现战时的防空目的,城市中需要建造人防隧道,以在受到空袭威胁时,市民可以进入避难。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,以阻止爆炸冲击波的侵入。同时,要做到多口连通、互相贯穿,以便在紧急时刻可以随时找到出口。

1.2.4 矿山隧道

在矿山开采中,常设一些隧道(也称为巷道),其从山体以外通向矿床。

(1) 运输巷道

矿山开采中,先在山体上开凿隧道通到矿床,然后逐步开辟巷道通往各个开采面。前者称为主巷道,是地下矿区的主要出入口和运输干道;后者分布如树枝状,多用临时支撑,仅供作业人员进行开采工作之用。

(2) 给水巷道

给水巷道的作用是送入清洁水以供采掘机械使用,并将废水及积水通过泵抽排出洞外。

(3) 通风巷道

矿山地下巷道穿过许多地层,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,工作人员不断呼吸,使得巷道内的空气变得污浊。如果地下气体含有瓦斯,含量达到一定浓度后将会发生危险,轻则使人窒息,重则引起爆炸,故必须及时把有害气体排出。因此需要设置通风巷道,用通风机把污浊空气抽出去,并把新鲜空气补给进来。

1.3 隧道工程的发展概况 >>>

1.3.1 世界隧道工程的发展概况

早在上古时代,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挖掘类似天然洞

穴的窑洞用于居住。公元前 2180 年—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。其为砖砌构造物,长 190 m,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,开挖方法是先用火烧开挖面,烧热后急速泼冷水使岩石开裂而形成。

现代隧道开挖技术是在火药的发明和 19 世纪的产业革命后产生的,铁路的出现尤其对隧道的建造起到了很大的推动作用。第一座铁路隧道是 1826—1830 年在英国利物浦至曼彻斯特的铁路线上修筑的,全长 1190 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朗隧道。在该座隧道修建过程中,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峰隧道,长 12850 m;1919 年意大利又修建了辛普伦隧道,长达 19700 m;1971 年在日本新干线上修建了大清水隧道,全长 22230 m,是当时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。20 世纪初,美国修建了宾西发亚东河水底隧道,长为 7190 m;1975 年,日本修建了新关门隧道,长达 18675 m,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,长达 53850 m,海底部分就有 23300 m。这是当时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 年建成通车的英吉利海峡隧道,长 50.50 km。

欧洲运输量的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。奥地利修建了阿尔贝格公路隧道,长 13980 m;瑞士修建了圣哥达公路隧道,长 16285 m。

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。新开挖工具——盾构的出现,使地下铁道随之兴起。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 6000 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。地铁把地上、地下的交通连接起来,使之成为城市中的立体交通网。地下铁道的建筑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上下深达六层。第一层是人行通道及商店餐厅;第二层为货物仓库;第三、四层为地下停车场,可同时容纳 800 辆汽车;第五、六层才是车站集散厅及车道。目前世界各国的地下铁道大多已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 128 km/h。客运量最大的是莫斯科地下铁道,2012 年统计年运送量达 24 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,必然伴随着大量隧道工程的出现,这主要是因为线路标准必须大大提高,如最小曲线半径在多数情况下都需大于 4000 m,线路坡度必须比较平缓等。日本新干线中,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,隧道长度约占 44%;东北新干线宫内—八户段长 60.0 km,隧道长度约占 85%;九州新干线八代—西鹿儿岛段长 1211.2 km,隧道长度约占 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从汉诺威到维尔茨堡新干线长 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,隧道长度约占 30%。

丹麦大海峡隧道(长 8.0 km)等已经引起世界各国的关注。目前,许多国家都在进行海峡隧道的研究和筹建,如白令海峡隧道(俄罗斯—美国)、直布罗陀海峡隧道(西班牙—摩洛哥)、连接意大利本土和西西里岛的墨西拿海峡隧道。表 1-2 中列出了世界已建、待建长度大于 20 km 的隧道。

表 1-2 世界已建、待建长度大于 20 km 的隧道

| 排名 | 隧道名称 | 国家 | 隧道长度/km | 始建时间 | 建成时间 | 隧道形式 |
|----|--------------|---------|---------|------|------|------------|
| 1 | 新圣哥达 | 瑞士 | 57 | 1996 | 2017 | 双线,单洞 |
| 2 | 布雷纳 | 奥地利—意大利 | 55.6 | 2010 | 2025 | 单线,双洞 |
| 3 | 青函 | 日本 | 53.85 | 1971 | 1987 | 海底隧道,双线,单洞 |
| 4 | 里昂—都灵间 Ambin | 法国—意大利 | 52.11 | 2006 | 2015 | 单线,双洞 |

续表

| 排名 | 隧道名称 | 国家 | 隧道长度/km | 始建时间 | 建成时间 | 隧道形式 |
|----|--------|-------|---------|------|------|-----------------|
| 5 | 英吉利海峡 | 英国—法国 | 51.81 | 1986 | 1990 | 海底隧道,三条平行隧道 |
| 6 | 新勒奇山 | 瑞士 | 34.6 | 1994 | 2005 | 单线,双洞 |
| 7 | 新关角 | 中国 | 32.6 | 2007 | 2012 | 单线,双洞 |
| 8 | 太行山右线 | 中国 | 28.848 | 2005 | 2007 | 双线,单洞 |
| 9 | 太行山左线 | 中国 | 28.839 | 2005 | 2007 | 单线,双洞 |
| 10 | 戴云山 | 中国 | 28.79 | 2008 | 2010 | 进口双线,单洞;出口单线,双洞 |
| 11 | 瓜达马拉 | 西班牙 | 28.4 | 2002 | 2007 | 单线,双洞 |
| 12 | 兰渝线西秦岭 | 中国 | 28.236 | 2008 | 2013 | 双线,单洞 |
| 13 | 八甲田 | 日本 | 26.455 | 1999 | 2005 | 复线,双洞 |
| 14 | 岩手一户 | 日本 | 25.8 | 1991 | 2000 | 双线,单洞 |
| 15 | 维也纳森林 | 奥地利 | 23.84 | 2004 | 2009 | 东段双线,单洞;西段单线,双洞 |
| 16 | 大清水 | 日本 | 22.228 | 1971 | 1981 | 双线,单洞 |
| 17 | 哈达铺 | 中国 | 22.1 | 2009 | 2011 | 双线,单洞 |
| 18 | 青云山 | 中国 | 22.06 | 2008 | 2010 | 单线,双洞 |
| 19 | 高盖山 | 中国 | 21.05 | 2008 | 2010 | 双线,单洞 |
| 20 | 吕梁山 | 中国 | 20.75 | 2006 | 2009 | 双线,单洞 |
| 21 | 乌鞘岭 | 中国 | 20.06 | 2003 | 2006 | 双线,单洞 |

1.3.2 我国隧道工程的发展概况

(1) 隧道工程的历史

我国春秋时期的古籍《左传》中,曾有“隧而相见”的记载,说明当时已经有通道式的隧道了。在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,已成为游览名胜。17世纪初宋应星所著的《天工开物》是我国有关地下工程方面的最早书籍,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,帝国主义争相在我国修建铁路,铁路隧道开始在我国出现。第一座铁路隧道是清朝时期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。1903年在滨州线上建成兴安岭隧道,按双线断面施工,铺设单线,长3077m,是我国第一座长度超过3km的铁路隧道。

1908年詹天佑主持修建的京张铁路,是我国自行设计、施工的第一条铁路,在关沟段建成有4座隧道,总延长1645m,其中最长的八达岭隧道长1091m,建成于1908年,是我国自行修建的第一座越岭铁路隧道。1939年为增建滨绥二线修建的杜草隧道长3840m。

民国时期(1912—1949年),我国共兴建铁路隧道427座,总长度达113.881km。这一时期的隧道大部分分布在东北(包括当时的热河省在内)地区的线路上。这些隧道的兴建为我国培养造就了一批隧道建设的人才和专家,为日后我国内地大规模的隧道建设事业创造了条件和积蓄了力量。

(2) 新中国成立以来隧道工程的发展和成就

20世纪50年代初期,铁路隧道的修建依旧以人工开挖为主。1958年以后,掀起了一股以小型机具和机械代替人工施工的热潮。其中,宝成铁路的秦岭隧道在施工中首次使用了风动凿岩机和轨行式矿车,成为我国隧道修建从人力开挖过渡到机械开挖的标志。这一时期建成隧道较多的铁路主要有宝成、天兰、丰沙