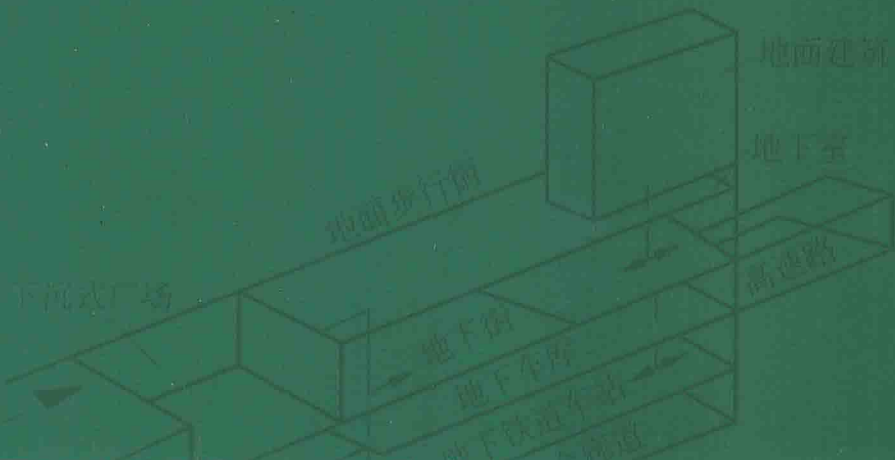


高等院校道路桥梁与渡河专业精品教材

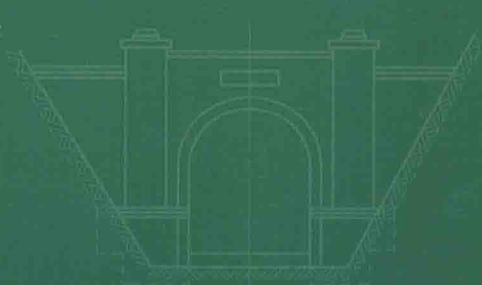


隧道及地下工程

高速公路及车站

陈志敏 欧尔峰 马丽娜 编著 / 李德武 主审

清华大学出版社



高等院校道路桥梁与渡河专业精品教材

隧道及地下工程

陈志敏 欧尔峰 马丽娜 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍隧道及地下工程的基本概念和发展历程,特性及利用形态,选址与方案比选,平、纵断面设计,结构构造,地质环境,设计原理与方法,施工方法,施工组织设计与施工管理,养护维修,高速铁路隧道及大断面隧道和施工机械等内容。

本书可作为高等院校教学用书,还可供从事隧道及地下工程设计、施工及养护的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

隧道及地下工程/陈志敏,欧尔峰,马丽娜编著.--北京:清华大学出版社,2014

高等院校道路桥梁与渡河专业精品教材

ISBN 978-7-302-34609-8

I. ①隧… II. ①陈… ②欧… ③马… III. ①隧道工程—高等学校—教材 ②地下工程—高等学校—教材 IV. ①U45②TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 290897 号

责任编辑:赵益鹏

封面设计:陈国熙

责任校对:刘玉霞

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:26.25 字 数:637千字

版 次:2014年1月第1版 印 次:2014年1月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:58.00元

产品编号:052643-01

21 世纪是地下空间大发展的世纪。随着我国国民经济的快速发展和西部大开发的深入推进,地下空间的开发和利用进入新的发展阶段,亟须大量的基础扎实、视野宽广的综合性工程技术人才。对于承担高素质人才培养重任的高等院校,不仅需要传授隧道与地下工程设计、分析理论与施工方法的基础知识,还应能够使学生理解这一领域的先进理念和科学思维方法。为了满足这一要求,作者编著了《隧道及地下工程》这本教材,供大家参考。

本教材全面介绍了隧道及地下工程的基本概念和发展历程、设计原理与施工方法,也介绍了其特性及利用形态、选址与方案比选、平纵断面设计、结构构造、地质环境、施工组织设计与施工管理、养护维修、高速铁路隧道及大断面隧道和施工机械。结合目前隧道及地下工程的发展,补充了不少新理论、新技术。

本教材注重培养学生解决实际工程技术问题的能力。教材内容丰富,信息量大,知识结构系统,理论与实践并重,并将经典理论、方法与新方法、新技术相结合,引导学生掌握理论知识。

本教材为土木工程专业隧道及地下工程方向本科生教材,也可作为相关专业研究生和地下工程设计施工人员的参考书。

本教材的编写人员均具有丰富的教学经验,参加编写的有陈志敏、欧尔峰和马丽娜。李德武教授对全书进行了审阅,清华大学出版社的赵益鹏编辑也对本书的完善提出了大量宝贵意见和建议,在此深表感谢!

本教材在编写过程中,参阅了许多学者的著作,并吸纳了其中的一些成果,有些资料甚至出处不甚明了,在此对所有作者表示诚挚的谢意!

由于时间仓促和水平所限,如有错误或不妥之处,期望同行专家及阅读本书的读者提出批评意见和建议,以便在再版中得到改正和完善,作者表示衷心的感谢!

编 者

2013 年 12 月于兰州

| | |
|-----------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 隧道及地下工程基本概念 | 1 |
| 1.2 隧道及地下工程的分类及作用 | 2 |
| 1.2.1 隧道工程的分类及作用..... | 2 |
| 1.2.2 地下工程的分类及作用..... | 5 |
| 1.3 隧道及地下工程的发展历程 | 6 |
| 1.3.1 隧道及地下工程的发展历史..... | 6 |
| 1.3.2 我国隧道及地下工程的发展概况..... | 7 |
| 1.3.3 国外隧道及地下工程的发展概况..... | 9 |
| 1.4 本课程的研究内容及任务..... | 10 |
| 习题 | 10 |
| 第 2 章 隧道及地下工程特性及利用形态 | 11 |
| 2.1 隧道及地下工程的特性..... | 11 |
| 2.1.1 工程特性 | 11 |
| 2.1.2 空间特性 | 12 |
| 2.1.3 经济性及可持续性 | 12 |
| 2.1.4 隧道及地下工程的优缺点 | 13 |
| 2.2 隧道及地下工程的利用形态..... | 14 |
| 习题 | 18 |
| 第 3 章 隧道及地下工程选址与方案比选 | 19 |
| 3.1 规划原则..... | 19 |
| 3.2 调查和勘测..... | 19 |
| 3.2.1 调查 | 19 |
| 3.2.2 勘测 | 22 |
| 3.3 隧道工程选址及方案比选..... | 24 |
| 3.3.1 位置选择 | 24 |

| | | |
|------------|-----------------------------|-----------|
| 3.3.2 | 方案比较 | 35 |
| 3.3.3 | 隧道洞口位置的选定 | 39 |
| 3.4 | 其他地下工程选址 | 41 |
| 3.4.1 | 地下铁道选址 | 41 |
| 3.4.2 | 地下(商业)街、地下停车场选址 | 43 |
| 3.4.3 | 伴随科学技术发展而利用的地下工程选址 | 43 |
| 3.4.4 | 防御和减少灾害的地下设施选址 | 45 |
| | 习题 | 45 |
| 第4章 | 隧道及地下工程平、纵断面设计 | 47 |
| 4.1 | 铁路隧道平、纵断面设计 | 47 |
| 4.1.1 | 平面设计 | 47 |
| 4.1.2 | 纵断面设计 | 48 |
| 4.2 | 公路隧道平、纵断面设计 | 52 |
| 4.2.1 | 平面设计 | 52 |
| 4.2.2 | 纵断面设计 | 53 |
| 4.2.3 | 连接线 | 54 |
| 4.3 | 其他地下工程平、纵断面设计 | 55 |
| 4.3.1 | 地下铁道 | 55 |
| 4.3.2 | 地下街 | 57 |
| 4.3.3 | 地下停车场 | 58 |
| 4.3.4 | 地下综合体 | 60 |
| 4.3.5 | 地下共同沟 | 63 |
| | 习题 | 64 |
| 第5章 | 隧道及地下工程结构构造 | 65 |
| 5.1 | 隧道洞身衬砌 | 65 |
| 5.1.1 | 衬砌类型 | 65 |
| 5.1.2 | 衬砌结构构造 | 67 |
| 5.1.3 | 衬砌的一般构造要求 | 73 |
| 5.2 | 明洞 | 84 |
| 5.2.1 | 拱式明洞 | 84 |
| 5.2.2 | 棚洞 | 86 |
| 5.3 | 隧道洞口景观与结构 | 88 |
| 5.3.1 | 隧道洞口景观设计原则 | 89 |
| 5.3.2 | 隧道洞门分类 | 90 |
| 5.4 | 隧道附属建筑物 | 97 |
| 5.4.1 | 通风建筑物 | 97 |
| 5.4.2 | 避车洞 | 100 |

| | | |
|--------------|-----------------------|------------|
| 5.4.3 | 防排水建筑物 | 102 |
| 5.4.4 | 电缆槽及高低压供电 | 108 |
| 5.4.5 | 伸缩缝、沉降缝与施工缝 | 109 |
| 5.5 | 其他地下工程结构构造 | 110 |
| | 习题 | 117 |
| 第 6 章 | 隧道及地下工程的地质环境 | 119 |
| 6.1 | 概述 | 119 |
| 6.2 | 围岩的工程性质 | 120 |
| 6.2.1 | 岩体的变形特性 | 121 |
| 6.2.2 | 循环荷载作用下岩体的变形特性 | 122 |
| 6.2.3 | 岩体的强度 | 122 |
| 6.2.4 | 岩体的流变特性 | 125 |
| 6.2.5 | 岩体结构分类及其破坏特征 | 126 |
| 6.3 | 围岩的初始应力场 | 127 |
| 6.3.1 | 围岩初始应力场的组成 | 128 |
| 6.3.2 | 初始应力场的变化规律 | 128 |
| 6.3.3 | 围岩初始应力场的确定方法 | 131 |
| 6.4 | 地下洞室围岩分级的影响因素和指标 | 136 |
| 6.4.1 | 影响围岩稳定性的主要因素 | 136 |
| 6.4.2 | 围岩分级(类)的因素指标及其选择 | 137 |
| 6.4.3 | 围岩分级(类)的发展方向 | 140 |
| 6.5 | 国内外主要地下工程围岩分级(类)标准 | 141 |
| | 习题 | 145 |
| 第 7 章 | 隧道及地下结构设计原理与方法 | 147 |
| 7.1 | 概述 | 147 |
| 7.2 | 隧道及地下结构的设计原则与设计内容 | 148 |
| 7.2.1 | 隧道及地下结构的形式的选择 | 148 |
| 7.2.2 | 围岩与支护结构的相互作用机理 | 151 |
| 7.2.3 | 支护结构的基本要求 | 155 |
| 7.2.4 | 地下结构的设计内容 | 157 |
| 7.3 | 隧道及地下结构体系的计算模型 | 158 |
| 7.3.1 | 建立计算模型的原则 | 158 |
| 7.3.2 | 常用的计算模型 | 159 |
| 7.4 | 围岩压力 | 161 |
| 7.4.1 | 围岩压力分类 | 162 |
| 7.4.2 | 确定围岩松动压力的方法 | 164 |
| 7.5 | 隧道及地下结构体系设计计算方法 | 170 |

| | | |
|------------|---------------------|------------|
| 7.5.1 | 结构力学方法 | 170 |
| 7.5.2 | 岩体力学方法 | 181 |
| 7.5.3 | 以围岩分级为基础的经验设计方法 | 182 |
| 7.5.4 | 监控设计方法 | 185 |
| 7.6 | 隧道及地下结构有限元分析 | 187 |
| | 习题 | 196 |
| 第8章 | 隧道及地下工程的施工方法 | 197 |
| 8.1 | 隧道及地下工程施工概述 | 197 |
| 8.1.1 | 隧道及地下工程施工的基本概念 | 197 |
| 8.1.2 | 隧道及地下工程施工的特点 | 197 |
| 8.1.3 | 隧道及地下工程施工方法及其选择 | 199 |
| 8.1.4 | 隧道及地下工程施工技术的发展 | 200 |
| 8.2 | 开挖、钻爆和装渣运输 | 201 |
| 8.2.1 | 开挖方法及掘进方式 | 201 |
| 8.2.2 | 爆破施工技术 | 208 |
| 8.2.3 | 装渣运输方法 | 229 |
| 8.3 | 新奥法 | 230 |
| 8.3.1 | 新奥法的概念与原则 | 230 |
| 8.3.2 | 新奥法理论要点及施工要点 | 231 |
| 8.3.3 | 新奥法适用范围 | 232 |
| 8.4 | 新意法 | 233 |
| 8.4.1 | 新意法概念 | 233 |
| 8.4.2 | 相关概念 | 234 |
| 8.4.3 | 新意法隧道设计施工程序 | 234 |
| 8.4.4 | 新意法与新奥法的比较 | 234 |
| 8.5 | 其他施工方法 | 236 |
| 8.5.1 | 浅埋暗挖法 | 236 |
| 8.5.2 | 挪威法 | 239 |
| 8.5.3 | 明挖法 | 241 |
| 8.5.4 | 盖挖法 | 246 |
| 8.5.5 | 掘进机法 | 247 |
| 8.5.6 | 盾构法 | 249 |
| 8.5.7 | 沉管法 | 252 |
| 8.5.8 | 顶进法 | 255 |
| 8.6 | 施工监控量测与信息反馈 | 257 |
| 8.6.1 | 量测元件及仪器 | 257 |
| 8.6.2 | 现场监控量测设计 | 263 |
| 8.6.3 | 量测数据的反馈 | 269 |

| | | |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 8.7 | 超欠挖与塌方 | 271 |
| 8.7.1 | 超挖与欠挖 | 271 |
| 8.7.2 | 塌方 | 274 |
| 8.8 | 防排水与通风防尘措施 | 277 |
| 8.8.1 | 地下水控制 | 277 |
| 8.8.2 | 通风 | 282 |
| 8.8.3 | 防尘 | 285 |
| 8.9 | 支护措施 | 286 |
| 8.9.1 | 预支护措施 | 286 |
| 8.9.2 | 初期支护措施 | 292 |
| 8.9.3 | 二次衬砌 | 297 |
| 8.9.4 | 辅助坑道 | 298 |
| | 习题 | 301 |
| 第 9 章 | 隧道施工组织设计与施工管理 | 302 |
| 9.1 | 隧道施工组织设计 | 302 |
| 9.1.1 | 隧道各阶段施工组织设计的内容 | 302 |
| 9.1.2 | 隧道实施性施工组织设计编制依据、原则及程序 | 304 |
| 9.1.3 | 隧道施工前的准备工作 | 305 |
| 9.1.4 | 施工进度计划 | 306 |
| 9.1.5 | 施工组织设计案例 | 309 |
| 9.2 | 隧道施工管理 | 320 |
| 9.2.1 | 隧道施工计划编制 | 320 |
| 9.2.2 | 隧道施工技术管理 | 321 |
| 9.2.3 | 隧道施工质量管理 | 323 |
| 9.2.4 | 隧道施工经济管理 | 325 |
| 9.2.5 | 隧道施工安全管理 | 327 |
| | 习题 | 327 |
| 第 10 章 | 隧道及地下工程养护维修 | 328 |
| 10.1 | 隧道养护维修概述 | 328 |
| 10.1.1 | 隧道及地下工程养护维修基本概念 | 328 |
| 10.1.2 | 隧道及地下工程病害现状 | 328 |
| 10.1.3 | 隧道养护面临的问题 | 330 |
| 10.1.4 | 隧道病害检查 | 330 |
| 10.1.5 | 隧道病害的原因 | 334 |
| 10.1.6 | 隧道病害维修养护原则 | 336 |
| 10.1.7 | 养护及维修措施 | 336 |
| 10.1.8 | 安全性及稳定性评价 | 337 |

| | | |
|----------------------------------|-----------------------|------------|
| 10.2 | 隧道档案的建立 | 338 |
| 10.3 | 隧道水害及整治措施 | 341 |
| 10.3.1 | 水害的种类及其危害 | 341 |
| 10.3.2 | 水害产生的原因 | 342 |
| 10.3.3 | 水害的分级 | 343 |
| 10.3.4 | 水害的整治措施 | 343 |
| 10.4 | 衬砌裂损及整治措施 | 348 |
| 10.4.1 | 衬砌裂损的类型 | 348 |
| 10.4.2 | 衬砌裂损的特点 | 351 |
| 10.4.3 | 衬砌开裂的分级 | 352 |
| 10.4.4 | 衬砌裂损的整治措施 | 353 |
| 10.5 | 衬砌侵蚀及整治措施 | 356 |
| 10.5.1 | 衬砌侵蚀的种类及危害 | 356 |
| 10.5.2 | 衬砌侵蚀的分级 | 357 |
| 10.5.3 | 混凝土侵蚀的整治措施 | 357 |
| 10.6 | 隧道冻害及整治措施 | 359 |
| 10.7 | 地震后隧道维修措施 | 362 |
| | 习题 | 366 |
| 第 11 章 高速铁路隧道及大断面隧道 | | 367 |
| 11.1 | 概述 | 367 |
| 11.1.1 | 高速铁路及大断面隧道概念 | 367 |
| 11.1.2 | 高速铁路隧道及大断面隧道的特点 | 368 |
| 11.2 | 高速铁路隧道空气动力学问题 | 369 |
| 11.2.1 | 主要空气动力学效应 | 369 |
| 11.2.2 | 瞬变压力 | 370 |
| 11.2.3 | 微气压波 | 371 |
| 11.3 | 高速铁路隧道缓解气动效应设计 | 372 |
| 11.4 | 大断面隧道设计 | 375 |
| | 习题 | 381 |
| 第 12 章 施工机械 | | 382 |
| 12.1 | 装渣机械 | 382 |
| 12.2 | 运输机械 | 383 |
| 12.3 | 凿岩台车 | 384 |
| 12.4 | 喷锚机械 | 386 |
| 12.5 | 衬砌模板台车 | 388 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 12.6 全断面隧道掘进机 | 391 |
| 12.7 臂式隧道掘进机 | 393 |
| 12.8 盾构机械 | 395 |
| 12.8.1 分类、特点及适用范围 | 395 |
| 12.8.2 机械化盾构的主要结构及工作原理 | 398 |
| 习题 | 405 |
| 参考文献 | 407 |

第 1 章 绪 论

随着国际隧道协会(ITA)提出的“大力发展地下空间,开始人类新的穴居时代”的倡议,以及世界人口的迅速增加和城市化建设步伐的加快,各国政府都把地下空间的利用作为一项国策来推进,使地下空间为国民经济的发展做出了巨大的贡献。地下空间的利用,已扩展到交通运输方面的铁路、道路和运河隧道,以及地下铁道和水底隧道等;工业和民用方面的市政、防空、采矿、储存和生产等用途的地下工程;军用方面的各种国防坑道;水力发电工程方面的地下发电厂房以及其他水工隧洞等。

1.1 隧道及地下工程基本概念

地下工程是指为开发利用地下空间资源而深入地面以下所建造的地下土木工程。它包括地下房屋、地下构筑物、地下铁道、公路隧道、水下隧道、地下共同沟和过街地下通道等。广义来讲,它包括建造在地下的全部工程结构物,但是一般不包括矿井等地下构筑物,而单指建造在地下的工业、交通、民用和军事建筑物。

在地下工程的广泛范围中,用以保持地下空间作为运输孔道的,称为隧道。

一般来说,隧道的修建总是首先在地下开挖出一个洞穴并延伸成为一个长形的孔道,称为导坑。然后,以导坑为基础逐步扩大到所需要的空间。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,称为衬砌。

以交通为用途的隧道,两端将自地面引入,隧道端部外露面一般都修筑可以保护洞口和排放流水的挡土墙式结构,称为洞门。如果洞口容易坍塌或有落石的危险,还要在洞门与洞身间修筑明洞。洞身衬砌、洞门和明洞就组成了隧道的主体支护结构,作用是保持岩体的稳定和行车安全。此外,隧道中还需设置一些附属建筑物以保证正常使用。这些附属建筑物是为了运营管理、维修保养、给水排水、储蓄发电、通风、照明、通信和安全等而修建的建筑物,包括为工作人员在隧道进行维修或检查时,能及时避让驶来的列车而在隧道两侧开辟的大小避车洞;为了保证隧道洞口的稳定与安全而修建的边坡和仰坡;为了引导洞口边坡和仰坡地表水流而修建的排水天沟;为了排除隧道内渗入的地下水,保证列车正常运行而设置的防水及排水设备;为了净化隧道内机车所排出的烟尘和有害气体而设置的通风系统等。隧道的主体支护结构和隧道的附属建筑物组成了隧道建筑物。

隧道工程的修建,首先必须把施工地区的地质和水文的情况勘察清楚。将勘察到的资料结合工程使用的要求,进行结构设计和施工方法的选择。通过施工组织设计的指导,有步骤地进行施工,并在施工的过程中随时进行各种量测,不断有针对性地修正支护结构设计和施工方案,使之趋于合理。在隧道建成、交付使用以后,还要定期检查,并按检查出的问题或

病害做出养护计划,分轻重缓急予以维修或大修,务必使工程建筑物时刻处于良好状态,正常发挥它的工作效能。

地下工程与隧道工程既有区别又有联系。隧道工程是地下工程的重要形式,但隧道工程不能代表地下工程的全部内涵,在世界范围内,诸多修建于地下的博物馆、购物中心、剧院、舞厅及其他设施都是很好的例证。鉴于隧道在地下工程中的重要地位及其不可替代性,本书命名为《隧道及地下工程》。

1.2 隧道及地下工程的分类及作用

1.2.1 隧道工程的分类及作用

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,最终使用于地面以下的条形建筑物,其空洞内部净空断面在 2m^2 以上者均为隧道。从这个定义出发,隧道包括的范围很大,且种类繁多,从不同的角度来区分,就有不同的分类方法。

1. 按隧道所处地质条件分类

隧道按所处地质条件可以分为土质隧道和石质隧道。

2. 按隧道埋置的深度分类

隧道按埋置深度可以分为浅埋隧道和深埋隧道。根据《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2005),浅埋隧道覆盖厚度值可按表 1-1 取值。

表 1-1 浅埋隧道覆盖厚度值

m

| 围岩级别 | Ⅲ | Ⅳ | V |
|------|------|-------|-------|
| 单线隧道 | 5~7 | 10~14 | 18~25 |
| 双线隧道 | 8~10 | 15~20 | 30~35 |

3. 按隧道横断面积分类

按国际隧道协会(ITA)定义的隧道横断面积的大小划分标准,隧道可以分为极小断面隧道($2\sim 3\text{m}^2$)、小断面隧道($3\sim 10\text{m}^2$)、中等断面隧道($10\sim 50\text{m}^2$)、大断面隧道($50\sim 100\text{m}^2$)和特大断面隧道(大于 100m^2)。

4. 按隧道长度分类

隧道按长度可以分为短隧道(铁路隧道规定: $L\leq 500\text{m}$;公路隧道规定: $L\leq 500\text{m}$)、中长隧道(铁路隧道规定: $500<L\leq 3000\text{m}$;公路隧道规定: $500<L\leq 1000\text{m}$)、长隧道(铁路隧道规定: $3000<L\leq 10000\text{m}$;公路隧道规定: $1000<L\leq 3000\text{m}$)和特长隧道(铁路隧道规定: $L>10000\text{m}$;公路隧道规定: $L>3000\text{m}$)。

5. 按隧道所在的位置分类

隧道按所在位置可以分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道。

6. 按隧道用途分类

1) 交通隧道

交通隧道(交通线上的隧道)是隧道中为数最多的一种。它的作用是提供交通运输和人行人的通道,以满足交通线路畅通的要求,一般包括有以下几种。

(1) 铁路隧道。我国内地大多是山区,地势起伏、山峦纵横,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,尤其是在山区铁路线上,隧道的方案常为人们所选用,修建的数目也越来越多。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,使铁路线跨越分水岭时拔起高度小、展线短、线路顺直且造价也低。越岭高度降低了 96m,线路缩短了 14.7km,并避开了不良地质区域。宝成线宝鸡至秦岭一段线路上密集地设有 48 座隧道,总延长为 17.1km,占线路总延长的 37.75%。由此可知,隧道在山区地带铁路线上具有重要作用。

(2) 公路隧道。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,所以,过去在山区修建的公路为节省工程造价,常常选择盘山绕行,宁愿多延长一些距离以避免修建费用昂贵的隧道。因此,过去公路隧道为数不多。但是,随着社会经济和生产的发展,高速公路的大量修建,对道路的修建技术提出了较高的标准,要求线路顺直、坡度平缓、路面宽敞等,于是在道路穿越山区时出现了大量的隧道方案。隧道的修建在改善公路技术状态、缩短运行距离、提高运输能力以及减少事故等方面起到了重要的作用。例如,穿越秦岭终南山的隧道全长 18.1km,它将翻越秦岭的道路缩短了 60km,时间减少 2 个多小时。

(3) 水底隧道。当交通线路需要跨越江、河、湖、海或洋时,一般可以选择的方案有架桥、轮渡和隧道。当采用架桥方案时,考虑到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,就难以克服净空限制这一矛盾。而轮渡方案的通行量有限。此时,采用水底隧道方案可以解决净空限制和通行量小的矛盾。水底隧道方案的优点是不受气候影响,不影响通航,引道占地少,战时不暴露交通设施目标等,该方案越来越受到人们的青睐。横跨黄浦江、全长 2793m 的上海延安东南线越江水底隧道,把黄浦江两岸的交通连接起来,这在一定程度上改变了遇水架桥的思维定式。水底隧道方案的缺点是造价较高。

(4) 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,而且能大量快速运送乘客的一种城市交通设施。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。地下铁道没有平面交叉,而各走上、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;在战时还可以起到人防的功能。北京、上海、广州和天津等城市已经建成的地下轨道交通系统,为改善城市的交通状况、减少交通事故起到了重要的作用。其他城市如深圳、南京、杭州、青岛、大连、武汉、沈阳、重庆、哈尔滨和成都等已

在规划或修建地下铁道。

(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,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,而且过往船只延误大量时间。如果修建航运隧道,把分水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,使船只迅速而顺直地驶过,航运条件就大为改善了。

(6) 人行地道。在城市闹市区,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,即使有指示灯和人行横道线,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,除架设街心高架桥以外,也可以修建人行地道来穿越街道或跨越铁路、高速公路等。这样既可以缓解地面交通互相交叉的繁忙景象,少占用地面空间,同时也大大减少了交通事故。

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类型。

(1) 引水隧道。进行水资源的调动或把水引入水电站的发电机组,产生动力资源。有的引水隧道内部充水,因而内壁承压的称为有压隧道;有的只是部分过水,因而内部只受大气压力而无水压的称为无压隧道。

(2) 排水隧道。它是把发电机组排出的废水输送出去的隧道。

(3) 导流隧道或泄洪隧道。它是水利工程中的一个重要组成部分,可以疏导水流并补充溢洪道流量超限后的泄洪作用。

(4) 排沙隧道。它是用来冲刷水库中淤积的泥沙,把泥沙裹带运出水库。排沙隧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。

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。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。从城市空间的合理利用和可持续发展的国策来说,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性,这是现代化城市的标志之一。市政隧道有以下几种。

(1) 给水隧道。城市自来水管网遍布市区,必须合理有序地规划和布置地下的孔道来容纳、安置这些管道。给水隧道既不破坏市容景观,不占用地面,也可避免遭受人为的损坏。

(2) 污水隧道。城市污水除一部分可以净化返用外,仍有大部分需要排放到城市以外的河流中。这就需要地下的排污隧道。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。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。城市供给煤气、暖气、热水等的管路都放置在地下的孔道中。经过防漏及保温措施,管路隧道把这些能源送到生产和居家的目的地。

(4) 线路隧道。城市中输送电力的电缆以及通信电缆都安置在地下孔道中。这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,有碍市容景观。这些地下孔道多半是沿着街道两侧敷设的。

在现代化的城市中,将以上四种具有共性的市政隧道,按城市的布局 and 规划,合建一个大隧道,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的发展方向。

(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,是为了预防战争中空袭的需要。人防工程是在紧急情况下人们避难的,因此,在修建时应考虑人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,还应考虑储备饮水、粮食和必要的救护设备。此外,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,常设一些为采矿服务的隧道,从山体以外通向矿床,并将开采到的矿石运输出来。矿山隧道有以下几种类型。

(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,是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承,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,并通过泵抽将废水及积水排出洞外。

(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,以及工作人员呼出气体,使得巷道内的空气变得污浊。如果地层中的气体含有瓦斯,在含量达到一定浓度后,将会发生危险。轻则令人窒息,重则引起爆炸。因此,要净化巷道中的空气,创造良好的工作环境,必须设置通风巷道,用通风机及时把有害气体和污浊空气排除出去,并把新鲜空气补充进来。

1.2.2 地下工程的分类及作用

地下工程有多种分类方法,常见的有如下几种。

1. 按地下工程的功能分类(见表 1-2)

表 1-2 地下工程按功能分类

| 用 途 | 功 能 |
|------|------------------------|
| 工业民用 | 地下展览馆、住宅、工业厂房、人防工程等 |
| 商业娱乐 | 地下商业城、图书馆等 |
| 交通运输 | 隧道、地铁、地下停车场等 |
| 水利水电 | 电站输水隧道、农业给排水隧道等 |
| 市政工程 | 给水、污水、管道、线路、垃圾填埋等 |
| 地下仓储 | 各种地下储库,食物、石油及核废料储存等 |
| 人防军事 | 军事指挥所、地下医院、军火物资库、通信枢纽等 |
| 采矿巷道 | 矿山运输巷道和开采巷道等 |

2. 按地下工程的存在环境分类

地下工程不是建造在岩体环境中,就是建造在土体环境中。因此,地下工程可以分为岩体中的地下工程和土体中的地下工程。

3. 按地下工程的建造方式分类

地下工程是采用不同的施工方法修建而成的。按照施工方法,地下工程可分为明挖地下工程和暗挖地下工程。

4. 按埋置的深度分类

各类地下工程埋藏在地下不同深度。按埋深,地下工程可分为深埋地下工程、中深地下工程和浅埋地下工程,见表 1-3。

表 1-3 地下工程按埋深分类

m

| 名称 | 埋深范围 | | | |
|--------|------|-------|----------|----------|
| | 小型结构 | 中型结构 | 大型运输系统结构 | 采矿结构 |
| 浅埋地下工程 | 0~2 | 0~10 | 0~10 | 0~100 |
| 中深地下工程 | 2~4 | 10~30 | 10~50 | 100~1000 |
| 深埋地下工程 | >4 | >30 | >50 | >1000 |

1.3 隧道及地下工程的发展历程

1.3.1 隧道及地下工程的发展历史

自从人类出现以后,地下空间便作为人类防御自然和外敌侵袭的防御设施而被广泛利用。随着科学技术和人类文明的发展,这种利用也从自然洞穴的利用向人工洞室方向发展,到现在地下空间的利用已经千姿百态,远远超出为个人生活服务的利用领域。

地下工程及隧道的发展历史与人类的文明史相呼应,可以分为四个时代。

第一时代——从人类出现至公元前 3000 年的远古时期。原始人类穴居,天然洞窟成为人类防寒暑、避风雨、躲野兽的处所;人们利用天然洞穴作为栖身之所,并且逐步会在平原地区自己挖掘类似天然洞穴的窑洞来居住。此时的洞穴是用兽骨、石器 etc 工具开挖,修筑在可以自身稳定而无需支承的地层中。

第二时代——从公元前 3000 年至 5 世纪的古代时期。这是为生活和军事防御目的而利用隧道的时代,埃及金字塔和古代巴比伦引水隧道均为此时代的工程典范。我国秦汉时期(公元前 221 年—公元 220 年)的陵墓和地下粮仓,已具有相当技术水准与规模。这个时代的隧道开发技术形成了现代隧道开发技术的基础。我国古代的帝王将相在地下修建一些坟墓陵寝,如长沙的楚墓、洛阳的汉墓。明朝的定陵更是壮丽堂皇,成为今天人们游览的名胜。我国古籍《左传》中,曾有“隧而想见”和“晋侯……以隧”的记载,说明当时已经有过通道式的隧道了。又如,古埃及金字塔的建设就代表其开始修建地下建筑。古代巴比伦王朝为连接宫殿和神殿而修建了约 1km 长的隧道,断面为 3.6m×4.5m,施工期间将幼发拉底河水流改道,采用明挖法建造,该隧道是一种砖砌建筑。

第三时代——从 5 世纪至 14 世纪的中世纪时代。世界范围内出现矿石开采技术。欧