

普通高校土木工程专业系列精品规划教材
PUTONGGAOXIAOTUMUGONGCHENGZHUANYEXILIEJINGPINGUIHUAJIAOCAI



隧道工程

SUIDAOGONGCHENG
SUIDAOGONGCHENG

◎ 耿大新 方 焘 万钰锋 主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

隧 道 工 程

主 编 耿大新 方 焘 石钰锋



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程/耿大新,方焘,石钰锋主编.

—长沙:中南大学出版社,2016.3

ISBN 978-7-5487-2133-8

I. 隧... II. ①耿...②方...③石... III. 隧道工程 IV. U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 066937 号

隧道工程

耿大新 方 焘 石钰锋 主编

☐责任编辑 刘 辉

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙印通印刷有限公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 16.75 ☐字数 422 千字

☐版 次 2016 年 3 月第 1 版 ☐印次 2016 年 3 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-2133-8

☐定 价 38.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

普通高校土木工程专业系列精品规划教材

编审委员会

主 任 余志武

常务副主任 雷晓燕

副主任(按姓氏笔画排序)

王卫东	王有凯	龙志林	刘哲锋	祁 皓	杨 斌
吴国雄	陈振富	陈 淮	胡习兵	祝明桥	徐长节
崔 杰	彭立敏				

委 员(按姓氏笔画排序)

刁心宏	于向东	马飞虎	王 英	王星华	王晓光
王 薇	方 焘	甘元初	石钰锋	白明洲	乔建东
刘小明	刘 坚	刘根强	刘 靖	宇德明	孙 晓
孙翠羽	杨伟军	杨仲轩	杨建军	杨春霞	李长春
李东平	肖 潇	张 健	张维锦	张鹏飞	张燕茹
陈友兰	陈长坤	陈汉利	陈锐林	罗小勇	周小林
周书葵	周凌宇	周智辉	周德泉	郑明新	赵小平
赵国宇	胡文韬	胡晓波	耿大新	徐林荣	郭文华
黄海林	蒋丽忠	傅 纯	戴公连		

总 序

土木工程是促进我国国民经济发展的支柱产业。近30年来,我国公路、铁路、城市轨道交通等基础设施以及城市建筑进入了高速发展阶段,以高速、重载和超高层为特征的建设工程的安全性、经济性和耐久性等高标准要求向传统的土木工程设计、施工技术提出了严峻挑战。面对新挑战,国内外土木工程行业的设计、施工、养护技术人员和科研工作者在工程实践和科学研究工作中,不断提出创新理念,积极开展基础理论和技术创新,研发了大量的新技术、新材料和新设备,形成了成套设计、施工和养护的新规范和技术手册,并在工程实践中大范围应用。

土木工程行业日新月异的发展,对现代土木工程专业人才培养提出了迫切要求。教材建设和教学内容是人才培养的重要环节。为面向普通高校本科生全面、系统和深入阐述公路、铁路、城市轨道交通以及建筑结构等土木工程领域的基础理论和工程技术成果,由中南大学出版社、中南大学土木工程学院组织国内土木工程领域一批专家、学者组成“普通高校土木工程专业系列精品规划教材”编审委员会,共同编写这套系列教材。通过多次研讨,确定了这套土木工程专业系列教材的编写原则:

1. 系统性

本系列教材以《土木工程指导性专业规范》为指导,教材内容满足城乡建筑、公路、铁路以及城市轨道交通等领域的建筑工程、桥梁工程、道路工程、铁道工程、隧道与地下工程和土木工程管理等方面的需求。

2. 先进性

本系列教材与21世纪土木工程专业人才培养模式的研究成果密切结合,既突出土木工程专业理论知识的传承,又尽可能全面反映土木工程领域的新理论、新技术和新方法,注重各门内容的充实与更新。

3. 实用性

本系列教材针对90后学生的知识与素质特点,以应用性人才培养为目标,注重理论知识与案例分析相结合,传统教学方式与基于现代信息技术的教学手段相结合,重点培养学生的工程实践能力,提高学生的创新素质。这套教材不仅是面向普通高校土木工程专业本科生的课程教材,还可作为其他层次学历教育和短期培训的教材和广大土木工程技术人员的专业参考书。

4. 严谨性

本系列教材的编写出版要求严格按国家相关规范和标准执行,认真把好编写人员遴选关、教材大纲评审关、教材内容主审关和教材编辑出版关,尽最大努力提高教材编写质量,力求出精品教材。

根据本套系列教材的编写原则,我们邀请了一批长期从事土木工程专业教学的一线教师负责本系列教材的编写工作。但是,由于我们的水平和经验所限,这套教材的编写肯定有不尽人意的地方,敬请读者朋友们不吝赐教。编委会将根据读者意见、土木工程发展趋势和教学手段的提升,对教材进行认真修订,以期保持这套教材的时代性和实用性。

最后,衷心感谢全套教材的参编同仁,由于他们的辛勤劳动,编撰工作才能顺利完成。真诚感谢中南大学学校领导、中南大学出版社领导和编辑们,由于他们的大力支持和辛勤工作,本套教材才能够如期与读者见面。



2015年7月

前 言

近年来,随着铁路、公路、地铁等交通工程的快速发展,隧道设计施工技术日新月异。本书根据教育部土木工程专业的课程设置指导意见和隧道工程发展的实际状况进行编写,以便对专业知识进行补充和更新,使之适应经济建设时代下的技术要求。从隧道的概念、种类出发,对国内外交通隧道工程的发展、勘察、结构设计与计算、施工方法与工艺、新奥法理论与技术、运营管理与养护维修等方面进行了系统的介绍。同时针对新时代高速铁路的发展,着重对高速铁路隧道设计中的限界规定、断面设计、空气动力学效应及工程措施等进行了详细的介绍。通过本课程学习,使学生掌握有关铁路隧道的勘察、设计和构造原理以及计算理论和计算方法,熟悉有关施工方面知识,具备从事隧道工程的设计、施工、管理的基本知识和能力。

本书以铁路隧道为主,兼顾公路隧道。由于公路和铁路规范存在一定的差异,本书编写过程中,相关术语和数据大多以现行铁路规范为依据。同时由于行业规范的不不断修订,如书中内容与现行规范不相符时,请以现行规范为准。

全书共分11章:第1章绪论,介绍隧道的基本概念、分类及发展历程;第2章隧道调查及围岩分级,包括隧道工程勘测内容及要求、隧道围岩分级;第3章隧道总体设计,包括隧道及洞口位置选择、铁路及公路隧道线性设计和横断面设计;第4章隧道结构构造,包括衬砌、洞门和附属结构的一般构造要求及耐久性设计要求;第5章隧道洞门与洞口构造物设计,包括洞门设计的基本要求和墙式洞门的检算;第6章隧道作用,包括隧道作用分类及组合、围岩压力的分类及计算;第7章隧道支护结构设计计算方法,包括结构力学法、岩体力学法和信息反馈法;第8章高速铁路隧道,包括高速铁路隧道空气动力学问题、横断面设计、洞口缓冲结构物和洞门设计;第9章隧道防排水设计,包括隧道和明洞防排水措施;第10章隧道施工方法,包括隧道的爆破、出渣、支护、监控量测及辅助作业;第11章隧道常见病害类型及其养护与维修。实际教学中可根据大纲要求侧重选用相关章节。

本书第1、2、3、4、5、8、9章由耿大新编写,第6、7章由石钰锋编写,第10、11章由方焘编写。编写过程中除参考文献中所列资料外,还参考了部分论文、讲稿及网络资料,恕不一一列举。由于编者水平有限,故书中难免有些许错误和不足,恳请专家和读者批评指正。为促进老师间的交流,本教材提供参考课件,联系邮箱: gengdaxin@ecjtu.jx.cn; 270347713@qq.com。

耿大新

2016年4月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 隧道工程的基本概念与特点	(1)
1.2 隧道分类	(1)
1.3 隧道工程的发展	(2)
第2章 隧道工程地质调查及围岩分级	(12)
2.1 隧道工程地质调查与勘测	(12)
2.2 围岩分级	(15)
第3章 隧道总体设计	(24)
3.1 隧道位置选择	(24)
3.2 隧道洞口位置的选择	(33)
3.3 铁路隧道线形设计	(36)
3.4 铁路隧道横断面设计	(40)
3.5 公路隧道线形设计	(44)
3.6 公路隧道横断面设计	(46)
3.7 隧道衬砌内轮廓设计步骤	(47)
第4章 隧道结构构造	(50)
4.1 衬砌类型及构造	(50)
4.2 隧道洞门	(56)
4.3 铁路隧道附属结构	(62)
4.4 隧道结构耐久性设计	(65)
第5章 隧道洞门与洞口构造物设计	(70)
5.1 洞门设计的基本要求	(70)
5.2 墙式洞门设计计算	(71)
第6章 隧道作用	(76)
6.1 作用种类及组合	(76)
6.2 围岩压力	(78)
6.3 地层弹性抗力	(93)

第7章 隧道支护结构设计计算方法	(95)
7.1 隧道设计计算理论的发展	(95)
7.2 结构力学法	(97)
7.3 岩体力学法	(115)
7.4 信息反馈法	(127)
第8章 高速铁路隧道	(131)
8.1 高速铁路隧道空气动力学问题	(131)
8.2 高速铁路隧道断面设计	(137)
8.3 高速铁路洞口缓冲结构物设计	(141)
8.4 高速铁路隧道洞门形式和设计方法	(143)
第9章 隧道防排水设计	(147)
9.1 隧道治水原则	(147)
9.2 隧道防水工程措施	(148)
9.3 隧道洞内排水设计	(155)
9.4 明洞的防排水	(156)
第10章 隧道施工方法	(159)
10.1 概述	(159)
10.2 隧道基本开挖方法	(160)
10.3 隧道钻爆掘进施工技术	(170)
10.4 隧道施工的出碴与运输	(184)
10.5 隧道支护施工技术	(190)
10.6 隧道施工监控量测技术	(205)
10.7 隧道辅助坑道施工	(218)
10.8 隧道施工的辅助作业	(223)
第11章 隧道常见病害类型及其养护与维修	(231)
11.1 隧道养护检查	(232)
11.2 隧道常见病害类型及其防治措施	(234)
11.3 高速铁路隧道的维修养护管理	(252)
参考文献	(255)

第1章

绪论

1.1 隧道工程的基本概念与特点

隧道是埋置于地层内，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，是人类利用地下空间的一种形式。1970年国际经济合作与发展组织召开的隧道会议综合了各种因素，将隧道定义为：“以某种用途、在地面下采用任何方法，按规定形状和尺寸修筑的断面积大于 2 m^2 的洞室。”

施工时，沿设计位置按设计形状开挖地层，如圆形、矩形、马蹄形等，为防止隧道变形、塌落或是有水涌入，沿隧道的周围修建的支护结构，称为“衬砌”。隧道端部外露面，为保护洞口和排放流水而修筑的结构物，称为“洞门”。

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、排水设施；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。

隧道工程具有节约土地、对环境影响相对较小、城市内拆迁量小、结构安全可靠等优点，尤其是特长和长大隧道能够提高线路质量，大大缩短线路长度和运行时间，但同时也有着技术难度大、施工风险高、隐蔽工程多、施工环境艰苦和管理复杂等诸多缺点。

1.2 隧道分类

隧道的种类繁多，分类方法有如下几种。

①按照隧道所处的地质条件，可以分为：土质隧道和石质隧道。土质隧道是在土层中开挖的隧道。土是由岩石经过风化、搬运和沉积等一系列作用和变化后形成的，土体颗粒之间联结较弱，工程性质较差，一般不会保留地质构造形迹。土质隧道多处于浅地表层，易坍塌，多数不具有自稳性。石质隧道是在岩体中开挖的隧道。岩体由岩石和结构面组成，经受了各种地质作用，内部往往残存了各种永久变形和地质构造形迹。隧道围岩既是荷载体，又是承载体，当围岩质量较好时，可以自稳。

②按照国际隧道协会（ITA）定义的隧道的横断面积的大小，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 100 m^2 ）。

③按照隧道所在的位置,可以分为:山岭隧道、水底隧道和城市隧道。山岭隧道为穿越地表山体而开挖修筑的工程,多为石质隧道。为了便于排水,隧道一般设计为单面坡或人字坡。水底隧道是为穿越地表江河湖海而开修筑的工程,一般呈U字形,即中间低,两边洞口高。施工时,水患处理是工程的重中之重。城市隧道工程地处城市,一般工程用地范围较小,周边建构筑物较多,减小对环境影响是该类隧道的难点。

④按照隧道的长度,可以分为:短隧道、中隧道、长隧道和特长隧道。由于铁路隧道和公路隧道对通风要求的不同,长度划分的界限也不同,如表1-1所示。

表1-1 隧道长度划分界限(单位:m)

	特长隧道	长隧道	中隧道	短隧道
铁路隧道	$L > 10000$	$10000 \geq L > 3000$	$3000 \geq L > 500$	$500 \geq L$
公路隧道	$L > 3000$	$3000 \geq L > 1000$	$1000 \geq L > 500$	$500 \geq L$

⑤按照隧道埋置的深度,可以分为:浅埋隧道和深埋隧道。埋深的深浅是个相对概念,与隧道围岩的等级、开挖宽度等多个因素有关,一般以隧道覆盖层能否形成“自然拱”为界限,并考虑一定的余量。铁(公)路隧道设计规范通常取2~2.5倍坍方平均高度值作为界限。当隧道覆盖层厚度小于该值时为浅埋隧道,大于该值时为深埋隧道。

⑥按照隧道的用途,可以分为:交通隧道、水工隧洞、市政隧道、矿山巷道。交通隧道是为交通运输而在地下修筑的工程建筑物。常见的有铁路隧道、公路隧道、地下铁道、航运隧道和人行地道等。水工隧道是水利枢纽的重要组成部分,是为水力发电在地下修筑的供引水、排水、发电及变电机组安装的洞室。常见的有引水洞、尾水洞、导流洞、排沙洞、主厂房、主变室等。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。常见的有雨水隧道、污水隧道、管路隧道及线路隧道,为了便于养管维修,也可将多种隧道合建,称之为共同沟。矿山巷(hàng)道是为矿体开采而修筑的由地表通往矿床的通道。常见的有运输巷道、采准巷道和通风巷道等。

1.3 隧道工程的发展

1.3.1 交通隧道发展历史

早在上古时代,人类就已经会利用天然洞穴作为栖身之所,并且逐步在平原地区挖掘类似天然洞穴的窑洞来居住。公元前2180—前2160年左右,古巴比伦人在幼发拉底河下修筑的行人隧道,长190 m,是迄今发现的最早的交通隧道。建于东汉明帝永平九年(公元66年)的石门隧道,位于今陕西省汉中市褒谷口内,是我国最早采用“火烧水浇”开凿的穿山通车隧道。

(1) 铁路隧道

近代,随着英国工业革命的开始,经济高速发展,大量的发明得以应用。1804年,理查·特尔维域克在英国威尔士发明了第一台能在铁轨上前进的蒸汽机车。1814年,史蒂芬

逊制造了第一台蒸汽机车。1825年,英格兰的史托顿与达灵顿铁路成为第一条成功的蒸汽火车铁路,很快铁路便在英国和世界各地通行起来。随着铁路的出现,大量的隧道得以修筑,隧道施工技术得到快速发展,各时期世界最长铁路隧道如表1-2所示。

表1-2 世界最长铁路隧道年表

时期	隧道名称	长度/km	国家	类型
1829—1841	沃平隧道	2.06	英国	城市隧道
1841—1848	鲍克斯隧道	2.95	英国	山岭隧道
1848—1871	斯坦内奇隧道	4.803	英国	山岭隧道
1871—1882	弗雷瑞斯铁路隧道	13.636	法国、意大利	山岭隧道
1882—1906	圣哥达铁路隧道	15.003	瑞士	山岭隧道
1906—1922	辛普朗隧道Ⅰ号	19.803	瑞士、意大利	山岭隧道
1922—1982	辛普朗隧道Ⅱ号	19.824	瑞士、意大利	山岭隧道
1982—1988	大清水隧道	22.221	日本	山岭隧道
1988年至现在	青函隧道	53.85	日本	水底隧道

解放前,我国经济不发达,隧道修建得不多。解放后,随着交通工程的发展,隧道建设才有了长足的进展,各时期我国最长铁路如表1-3所示。据不完全统计,截至2014年,我国已完工的特长铁路隧道有82座。西格二线的关角隧道(已贯通,尚未通车),全长32645 m,排名第一;兰渝线的西秦隧道(已贯通,尚未通车),全长28100 m,排名第二;石太客运专线太行山隧道,左线全长27839 m,右线全长27848 m,排名第三。

表1-3 我国最长铁路(已运营通车)隧道年表

时期	名称	长度/km	铁路线	地点
1890—1904	狮球岭隧道	0.261	中国台湾地区铁路	台湾基隆
1904—1942	兴安岭隧道	3.077	东清铁路	内蒙古牙克石
1942—1965	杜草隧道	3.849	中东铁路	黑龙江尚志
1965—1966	凉风垭隧道	4.270	川黔铁路	贵州桐梓
1966—1972	沙木拉达隧道	6.383	成昆铁路	四川喜德
1972—1988	驿马岭隧道	7.032	京原铁路	山西灵丘—河北涞源
1988—2000	大瑶山隧道	14.295	京广铁路衡广复线	广东坪石—乐昌
2000—2006	秦岭隧道	18.460	西康铁路	陕西西安—柞水
2006—2009	乌鞘岭隧道	20.060	兰新铁路	甘肃天祝—古浪
2009—2014	太行山隧道	27.848	石太客运专线	山西孟县

(2)公路隧道

1886 年,德国工程师卡尔·本茨的三轮机动车获得德意志专利权,这是公认的第一辆现代汽车。随着汽车的普及,20 世纪 30 年代西方一些国家开始修建高速公路,60 年代以后,世界各国高速公路发展迅速,长大公路隧道相继涌现,各时期世界最长公路隧道如表 1-4 所示。

表 1-4 世界最长公路隧道年表

年份	中文名称	长度/km	国家	公路
2000—2014	洛达尔隧道	24.510	挪威	欧洲 E16 公路
1980—1999	圣哥达公路隧道	16.918	瑞士	瑞士 A2 公路 欧洲 E35 公路
1970—1980	阿尔贝格公路隧道	13.972	奥地利	欧洲 E60 公路
1960—1970	勃朗峰隧道	11.611	法国、意大利	欧洲 E25 公路

解放初期,我国受国家发展战略的制约,国内交通运输方式以铁路为主,公路隧道的建设相对落后于铁路隧道。但进入 20 世纪 90 年代后,随着高等级公路的大量修建,公路隧道发展迅速,各时期我国最长公路隧道如表 1-5 所示。

表 1-5 我国最长公路隧道年表

年份	名称	长度/km	地点	公路
2007—2014	秦岭终南山隧道	18.020	陕西,西安—柞水	包茂高速公路
2000—2007	方斗山隧道	7.605	重庆,石柱	沪渝高速公路
1994—2000	二郎山隧道	4.176	四川,天全—泸定	318 国道
1987—1994	鼓山隧道	3.1384	福建,福州	104 国道
1980—1987	铁力买提隧道	1.897	新疆,库车—和静	217 国道
1972—1980	向阳洞	1.400	河南,辉县	229 省道
1969—1972	愚公洞	0.810	河南,辉县	229 省道

(3)城市地铁

地铁属于城市快速轨道交通的一部分,运量大、速度快、污染少、能耗低。自 1863 年英国伦敦第一条地下铁道起,截至 2014 年,全世界共有 12 个国家和地区地铁(含城市快速轨道交通)运营里程超过 200 km,如表 1-6 所示。地铁运营线路长度超过 200 km 的城市有 13 座,如表 1-7 所示。地下铁道的建筑规模日趋宏大。德国慕尼黑地铁卡尔广场站深达六层,第一层是人行通道及商店餐厅,二层作为货物仓库,三、四层为地下停车场,可同时容纳 800 辆汽车,五、六层是车站的站厅及站台。

表 1-6 地铁(含城市快速轨道交通)运营里程超过 200 km 的国家和地区

排名	国家/地区	轨道交通系统总长度/km	站台数目	启用年度
1	中国大陆	2305	1496	1969
2	美国	1228.3	972	1870
3	韩国	660.3	822	1933
4	日本	642.4	803	1919
5	西班牙	533.1	642	1863
6	俄罗斯	446.8	281	1935
7	德国	446.4	484	1902
8	英国	386	477	1974
9	法国	345.9	477	1900
10	巴西	257.5	195	1974
11	中国香港	249.6	300	1888
12	墨西哥	233.4	233	1969

表 1-7 地铁运营线路长度超过 200 km 的城市

排名	国家	城市	长度/km
1	中国	上海	567
2	中国	北京	465
3	英国	伦敦	402
4	澳大利亚	墨尔本	372
5	美国	纽约	369
6	日本	东京	326
7	韩国	首尔	314
8	俄罗斯	莫斯科	312.9
9	西班牙	马德里	284
10	中国	广州	260.5
11	中国	香港	218.2
12	法国	巴黎	215
13	墨西哥	墨西哥城	201.388

1.3.2 国内外著名隧道

(1) 青函隧道

青函隧道横越津轻海峡, 1964 年动工, 1987 年建成, 共耗资约 27 亿美元。主隧道全长 53.9 km, 海底部分 23.3 km, 是目前世界上最长的铁路隧道。它由 3 条隧道组成, 主隧道宽 11.9 m, 高 9 m, 断面积 80 m²。最大水深 140 m, 最小覆盖层厚 100 m。工程地质条件复杂, 施工难度大, 施工期间共造成 33 人死亡, 1300 余人伤残。海底复杂的地质断层和软岩构造, 曾出现多次严重渗水事故, 隧道 1969 年和 1976 年两度被海水淹没, 每次水害都耗时近 5 个月才整治完成。

(2) 哥达隧道

哥达隧道位于瑞士中部阿尔卑斯山区的一条高速铁路上,连接瑞士和意大利。设计时速 250 km/h, 全长 57 km, 是目前世界上最长的山岭隧道。1999 年动工, 2010 年全隧贯通, 大约有 2500 名工人参与该工程, 8 人不幸遇难。至今已经花费了 98 亿瑞士法郎(约合 103 亿美元), 预计 2017 年铁路竣工通车。



图 1-1 青函隧道



图 1-2 哥达隧道

(3) 洛达尔隧道

洛达尔隧道位于洛达尔和艾于兰之间, 全长 24.51 km, 是目前世界上最长的公路隧道。洛达尔隧道 1995 年 3 月动工, 2000 年 11 月 27 日正式通车, 整个工程项目共耗资约 1 亿美元。过去来往于奥斯陆和卑尔根的车辆不仅要在洛达尔乘 3 小时的轮渡穿越松恩峡湾, 还要通过一段地势非常险峻的山路, 并且在冬季冰冻时期禁止通行。洛达尔隧道通车后, 奥斯陆与卑尔根之间的行车时间从以往的 14 个小时缩短至 7 个小时, 车辆在冬季照常通行无阻。

(4) 德拉瓦隧道

德拉瓦隧道从 Rondout 水库取水, 通过 Chelsea 泵站抬高水头, 经 West Branch 水库、Kensico 水库, 到达纽约市郊区的 Hillview 水库, 全长 137 km, 宽 4.1 m, 是世界上最长的输水隧道。工程 1939 年动工, 1945 年完工, 每天经该隧道运输的水量约 490 万 m^3 , 占纽约市用水量的一半。工程每天渗漏的水量大约有 14 万 m^3 , 2013 年 1 月对渗漏水处开始大修, 预计投资约 10 亿美元。



图 1-3 洛达尔隧道



图 1-4 德拉瓦隧道

(5) 英吉利海峡隧道(英语: The Channel Tunnel; 法语: le tunnel sous la Manche)

英吉利海峡隧道 1986 年 2 月 12 日开工, 1994 年 5 月 6 日开通, 耗资约 100 亿英镑(约 150 亿美元), 是世界上规模最大的利用私人资本建造的工程项目。隧道全长约 51 km, 海底段 37.5 km, 由 2 条直径 7.6 m 的铁路隧道和 1 条直径 4.8 m 的服务隧道组成。隧道勘探时发现海底有一层泥灰质白垩岩(Chalk Marl), 厚度约 30 m, 抗渗性好, 硬度不大, 裂隙也较少, 易于掘进。隧道线路就布置在它的下部, 距海底 25~40 m, 最大埋深 100 m。隧道轴线在平面和立面上均呈平坦的 W 形, 采用盾构掘进机施工。工程相继解决了“盾构在深层高水压下的密封防水技术”、“钢筋混凝土管片衬砌的结构和防水”、“长距离掘进的运输”等技术难题。隧道的规划设计把施工和运行安全放在极重要的地位, 运输、供电、照明、供水、冷却、排水、通风、通信、防火等系统都充分考虑了紧急备用的要求, 提高了运行、维护的可靠性。例如 2008 年 9 月 11 日, 英吉利海峡海底隧道发生火灾, 2 天后 9 月 13 日即开始恢复客运服务。

(6) 日本东京湾水隧道

东京湾水隧道(Tokyo Bay Aqua Tunnel)全长为 15.1 km, 是目前世界上最长的海底公路隧道。隧道海底段由 8 台直径为 14.14 m 的超大型泥水加压平衡盾构在海底高水压的软弱黏土地层中穿越施工, 距离长, 施工难度大。为了缩短盾构的掘进距离, 于 9.9 km 隧道段的海上部分中间处筑造了川崎人工岛。该公路隧道于 1997 年开放, 大大舒缓了东京圈逐年增长的交通压力。



图 1-5 英吉利海峡隧道

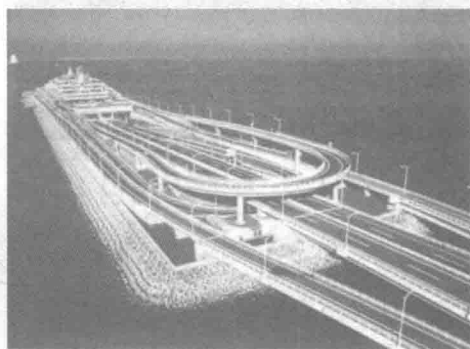


图 1-6 日本东京湾水隧道

(7) 狮球岭隧道

狮球岭隧道又名刘铭传隧道, 位于台湾基隆市安乐区嘉仁里崇德路 129 号, 是我国最早建成的铁路隧道, 全长 261 m。隧道穿过页岩、砂岩及黏土地层, 最大埋深 61 m。在地层压力较大处, 拱部用砖作衬砌, 边墙用石料作衬砌; 在岩层较好处, 则用木料作衬砌。隧道于 1887 年从南北两端同时开工, 由外国工程师定出线路方向及中心桩的开挖高度, 由清朝政府的军队负责施工。筑路官兵用粗笨工具开挖, 克服了大塌方等不少困难, 终于在 1890 年建成。狮球岭隧道南口外观以红砖砌成, 在隧道竣工完成时, 由巡抚刘铭传题额“旷宇天开”, 左右对联曰: “十五年生面独开羽毅飘轮, 从此康庄通海屿; 三百丈岩腰新阔天梯石栈, 居然人力胜神工”。目前狮球岭隧道已停止使用, 仅供游人参观。

(8) 八达岭隧道

八达岭隧道全长 1091.2 m, 位于北京市延庆县, 原京张铁路的青龙桥车站附近, 是我国自行修建的第一座单线越岭铁路隧道。1907—1908 年, 由土木工程师詹天佑亲自规划督造。隧道从长城之下穿越八达岭, 进口端隧道外线路坡度为 32.35‰, 隧道内线路最大坡度为 21.57‰。隧道穿过的岩层主要是较坚硬的片麻岩, 另外还有部分角闪岩、页岩和砂岩等, 风化呈破碎和泥质状态。八达岭隧道中部增设一竖井, 增加两个工作面, 缩短工期。同时, 竖井上建有通风楼, 供行车时排烟和通风用。隧道衬砌的拱圈采用预制混凝土块砌筑, 边墙用混凝土就地灌注, 底板用厚 99.87 mm 的石灰三合土铺筑。1968 年曾对它进行过大修改造, 至今保存完好。

(9) 秦岭隧道

西(安)(安)康铁路秦岭隧道长 18.46 km, 横穿秦岭山脉, 最深处距山顶 1600 m。1999 年 9 月 6 日贯通, 当时居世界山岭隧道第 6 位、亚洲第 2 位。秦岭隧道是我国第一条特长铁路隧道, 采用两座平行的单线隧道, 分别长 18.452 km 和 18.456 km, 间距仅为 30 m。



图 1-7 狮球岭隧道



图 1-8 八达岭隧道

(10) 终南山隧道

终南山隧道在青岔至营盘间穿越秦岭, 全长 18.4 km, 设计速度为 80 km/h, 是目前世界上最长的双洞高速公路隧道。2002 年 3 月动工, 2007 年 1 月通车。通车后, 西安至柞水的通行里程缩短约 60 km, 行车时间由原来的 3 小时缩短为 40 分钟。

(11) 风火山隧道

风火山隧道为单线铁路隧道, 轨面海拔标高 4905 m, 全长 1338 m, 全部位于永久性冻土层内, 年均气温 -7°C , 冬季最低气温达 -41°C , 是目前世界上海拔最高的高原永久性冻土隧道。隧道最大埋深 100 m, 最小埋深 8 m, 进出口均设计有明洞, 进口 35 m, 出口 23 m, 洞门形式采用斜切式结构, 洞身采用 5 层先后施作的复合式衬砌结构形式。

(12) 昆仑山隧道

青藏铁路昆仑山隧道是世界高原多年冻土区第一长隧道, 位于昆仑山北麓, 全长 1686 m, 海拔高度 4648 m, 处于高原腹地, 具有独特的冰缘干寒气候特征。工程 2001 年 9 月开工, 2002 年 9 月 26 日贯通。工程设计采用保护冻土的原则, 隧道防排水及衬砌隔热保温层选用 PVC-PE 复合防水板、聚氨酯(PU)保温板、TN-1 型聚氨酯黏接剂等新材料, 采用黏