



普通高等教育铁道部规划教材

高速铁路隧道设计

高波 主编 赵勇 主审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内容简介

本书是普通高等教育铁道部规划教材... 高速铁路隧道设计... 主编 高波... 副主编 王英学... 主审 赵勇

高速铁路隧道设计

图例目录(CIP)数据

主编 高波
副主编 王英学
主审 赵勇

ISBN 978-7-113-13160-0
中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第237743号



各分社... 责任编辑... 封面设计... 印刷... 定价...



YZLI0890112796

中国铁道出版社
地址: 北京... 电话: 010-51871111
网址: www.tlpress.com

中国铁道出版社

北京 2010年10月
北京市版权局... 电话: 010-51871111

内 容 简 介

本书共分十二章,主要包括:绪论、铁路隧道规划与位置选择、铁路隧道工程地质、高速铁路隧道气动效应及隧道设计、铁路隧道设计方法、隧道衬砌结构设计、高速铁路隧道缓解气动效应工程措施设计、高速铁路隧道衬砌结构养护维修、隧道洞口景观设计、铁路隧道抗震设计、高速铁路隧道黄土区设计、寒区铁路隧道设计等。

本书为高等学校道路与铁道工程专业教材,也可作为相关专业工程技术和工程管理人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路隧道设计/高波主编. —北京:中国铁道出版社,2010.12

普通高等教育铁道部规划教材

ISBN 978-7-113-12160-0

I. ①高… II. ①高… III. ①高速铁路—铁路隧道—设计—高等学校—教材 IV. ①U459.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 227763 号

书 名:高速铁路隧道设计
作 者:高 波 主 编

责任编辑:程东海
封面设计:崔丽芳
责任校对:孙 玫
责任印制:陆 宁

电话:010-51873135

教材网址:www.tdjiaocai.com

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:http://www.tdpress.com

印 刷:三河市华丰印刷厂

版 次:2010年12月第1版 2010年12月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:14 字数:334 千

书 号:ISBN 978-7-113-12160-0

定 价:30.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前 言

本书是普通高等教育铁道部规划教材,是由铁道部教材开发领导小组组织编写,并经铁道部相关业务部门审定,适用于高等院校铁路特色专业教学以及铁路技术人员使用。本书为铁道工程系列教材之一。

铁路运输作为节能、环保的交通工具,一直是我国客货运输的生命线。自20世纪70年代开始,随着以日本和欧洲等国家高速铁路建设的兴起,高速铁路建设进入快速发展阶段。在国家各部委的关心指导下和大批高速铁路科研工作者、建设者的辛勤工作下,我国高速铁路建设也取得了骄人的成绩,自郑西、武广时速350 km 客运专线的正式运行标志着我国高速铁路技术的成熟和完善。

根据国务院批准的《中长期铁路网规划》,到2020年,我国大陆将建设客运专线1.6万 km 以上。随着高速铁路建设在全国范围内的大规模铺开,高速客运网络将覆盖我国大部分地区,不仅铁路网规模实现大幅度扩展,同时我国高速铁路的技术标准和准备水平也实现了质的飞跃。

我国幅员辽阔,山岭众多,而高速铁路的列车运行速度高,要求线路曲率半径大,线路平顺性好,于是高速铁路的线路中必然出现大量的隧道工程。根据规划,客运专线隧道建设总长度将超过1 000 km,已经开工和即将开工建设的高速铁路隧道长度近900 km。

高速铁路隧道的设计不同于低速运行的铁路隧道,不仅要考虑结构的安全性和耐久性,同时要考虑高速列车通过隧道时所引起的气动效应对车上乘客和隧道出口外环境的影响。

本书参考借鉴了国内外高速铁路隧道的设计方法和研究成果,编写了该教材,以期为我国高速铁路建设提供参考和借鉴。

本书由西南交通大学高波担任主编,王英学担任副主编,铁道部工程设计鉴定中心赵勇担任主审。全书分为12章,包括铁路隧道规划、工程地质、隧道车隧气动效应分析、隧道设计和养护、隧道专项设计等内容。各章节的分工如下:第一章、第四章、第七章为王英学编写;第二章、第三章、第八章为申玉生编写;第五章、第六章、第十章为周佳媚编写;第九章、第十一章、第十二章为全晓娟编写。

在编写过程中,可能存在一些疏漏或不足,敬请专家及同行指正。

编者

2010年10月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 高速铁路及高速铁路隧道的发展历程.....	1
第二节 我国高速铁路发展现状.....	5
第三节 高速铁路隧道缓解气动效应设计.....	12
复习思考题.....	14
第二章 铁路隧道规划与位置选择	15
第一节 铁路隧道线路位置选择.....	15
第二节 铁路隧道规划——洞口位置的选择.....	18
第三节 铁路隧道平面与纵断面设计.....	19
第四节 隧道横断面设计.....	23
第五节 铁路隧道构造设计.....	28
复习思考题.....	34
第三章 铁路隧道工程地质	35
第一节 铁路隧道一般工程地质问题.....	35
第二节 铁路隧道围岩分级.....	43
第三节 围岩压力.....	49
复习思考题.....	58
第四章 高速铁路隧道气动效应及隧道设计	59
第一节 压缩波和微压波的产生.....	59
第二节 车隧气动效应研究方法.....	62
第三节 气动效应对乘客的影响——列车舒适度标准.....	65
第四节 高速铁路限界.....	70
第五节 高速铁路隧道净空有效面积.....	75
复习思考题.....	84
第五章 铁路隧道结构设计方法	85
第一节 铁路隧道经验设计法.....	85
第二节 结构力学的设计方法.....	91
第三节 连续介质力学方法.....	107
复习思考题.....	116
第六章 隧道衬砌结构设计	117
第一节 概 述.....	117
第二节 复合式衬砌结构设计.....	119
第三节 单层衬砌结构设计.....	123
第四节 管片衬砌结构设计.....	125



第五节	明洞结构设计	127
第六节	高速铁路隧道耐久性设计	130
	复习思考题	135
第七章	高速铁路隧道缓解气动效应工程措施设计	136
第一节	缓解空气动力效应的工程措施	136
第二节	缓冲结构物设计的影响因素	139
第三节	缓冲结构的设计应用	148
	复习思考题	154
第八章	高速铁路隧道衬砌结构养护维修	155
第一节	隧道衬砌结构养护维修现状	155
第二节	隧道衬砌结构物的劣化现象和原因	156
第三节	高速铁路隧道状态检测	161
第四节	隧道衬砌结构状态评估	165
第五节	隧道衬砌结构养护维修对策设计	167
	复习思考题	174
第九章	隧道洞口景观设计	175
第一节	洞口景观设计的意义	175
第二节	景观设计的原则和景观要素	175
第三节	国内外洞口工程实例	177
	复习思考题	181
第十章	铁路隧道抗震设计	182
第一节	隧道结构震害简述	182
第二节	隧道地震破坏机理	183
第三节	隧道的抗震设计	185
第四节	强震区隧道工程抗减震技术	188
	复习思考题	195
第十一章	高速铁路隧道黄土区设计	196
第一节	黄土的特征	196
第二节	黄土的工程地质性质	196
第三节	黄土受力后的破坏形态及对隧道工程的影响	197
第四节	高速铁路黄土地层隧道设计的要点	199
第五节	黄土隧道衬砌设计实例	202
第六节	小 结	202
	复习思考题	203
第十二章	寒区铁路隧道设计	204
第一节	寒区隧道工程的特殊性	204
第二节	寒区隧道的冻害及其防治	210
	复习思考题	214
	参考文献	215

第一章 绪论

第一节 高速铁路及高速铁路隧道的发展历程

一、高速铁路发展历史和现状

铁路运输远远早于汽车运输,1825年9月27日,世界上第一条铁路在英国 Stockton 和 Darlington 之间开通,利用蒸汽机车牵引列车。到了19世纪末20世纪初,铁路运输业进入第一个兴旺发达时期。进入20世纪以后,汽车、航空、水运和管道运输迅速发展,汽车的短途客货运输量逐渐超过了铁路运输量。尤其是高速公路网的形成,不仅吸引了大量的中短途旅客,而且大型集装箱的运输能快捷方便的达到目的地。各国铁路客货运输量逐年下降趋势,尤其是发达国家出现了大幅度下降,连年经营亏损。到了20世纪50年代,在发达国家铁路运输业成了夕阳产业。

1964年10月,日本建成第一条现代化高速铁路——东海新干线,运营速度为210~230 km/h。这条高速线在几十年的运营中,吸引了东京至大阪90%的乘客,列车运行时间误差低于1 min,耗能为汽车的1/5,无废气排放,取得举世瞩目的成就。由此,铁路运输尤其高速铁路运输引起世界各国的高度重视。

近20年来,一些经济技术发达国家相继修建了高速铁路。高速铁路速度目标值一直在提高。20世纪60年代到80年代初,列车速度由210 km/h提高到250 km/h以上,80年代中到90年代末,列车速度由250 km/h提高到300 km/h。到现在为止,国际上高速列车和线路运行速度达到350 km/h已是成熟的技术。许多国家即将修建的高速铁路大多瞄准这个目标值。

中国铁路建设起步较晚。1881年,由清政府洋务派的主持修建的唐山至胥各庄铁路,成为中国的第一条铁路。唐胥铁路自唐山起至胥各庄(今丰南县)止,全长9.7 km。采用1 435 mm的轨距和15 kg/m的钢轨。这条铁路是为了开发开平煤矿,在清政府洋务派主持下,由开平矿务局负责集资修建。1881年6月9日中国制造出第一辆蒸气机车——叫做“龙号”。

2008年8月1日,中国第一条高等级城际高速铁路——京津高速铁路开通运行。京津高速铁路一端是北京,一端是天津,120 km长的铁路线将北京和天津两个举足轻重的城

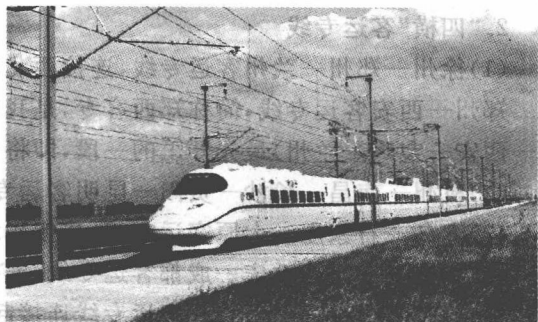


图 1-1 行进中的京津高速铁路

市连在一起。列车为国产设计时速 350 km CRH₃/CRH_{2c} 型动车组。其中 CRH₃ 在试验中最高时速达 394.3 km/h, CRH_{2c} 在试验中跑出了 383 km/h 的最高车速。作为中国第一条开工建设的高等级城际高速铁路,运行时速 350 km, 29 min 走完全程,京津高铁直接提升了城市间的交通能力,京津高速铁路拉开中国高速铁路建设的崭新一幕。

京津城际铁路的开通,只是拉开了中国高速铁路建设和运营的序幕,在它的背后,是正在编织着的中国高速铁路网,和正在实现的中国经济的再一次跨越性发展。

目前,我国已经进入高速铁路快速发展阶段,为满足快速增长的旅客运输需求,建立省会城市及大中城市间的快速客运通道,规划“四纵四横”等客运专线以及经济发达和人口稠密地区城际客运系统。建设客运专线 1.6 万 km 以上。

1. “四纵”客运专线

(1) 北京—上海客运专线,包括蚌埠—合肥、南京—杭州客运专线,贯通京津至长江三角洲东部沿海经济发达地区。

北京—上海客运专线,俗称京沪高铁,起点为北京南站,终点为上海虹桥站,设计长度 1 318 km,设计速度 350 km/h,已开工建设,预计 2011 年通车。

南京—杭州客运专线,俗称宁杭城际,专用于旅客运输的南京至杭州的高速铁路。全长 249 km,线路由京沪高铁南京南站引出,2008 年 12 月 27 日开工建设,预计工期 3 到 4 年,设计速度 350 km/h。

(2) 北京—武汉—广州—深圳客运专线,连接华北和华南地区。

武汉—广州客运专线,是京广高速铁路的重要组成部分,简称武广高铁,全路首次以“G”(读作:“高”)命名车次的线路。2009 年 12 月 26 日正式开通运营,设计速度 350 km/h。

(3) 北京—沈阳—哈尔滨(大连)客运专线,包括锦州—营口客运专线,连接东北和关内地区。

(4) 上海—杭州—宁波—福州—深圳客运专线,连接长江、珠江三角洲和东南沿海地区。

上海—杭州客运专线,简称沪杭高铁,是国家铁路“十一五”规划中沪深客运专线的一部分,自上海虹桥站至杭州东站,线路长 158.5 km,设计速度 350 km/h,现已通车。

杭州—宁波客运专线,简称杭甬客专,是国家铁路“十一五”规划中沪深客运专线的一部分。西起杭州东站,东至宁波站,全线长 149.890 km。杭甬客运专线将开行电气化车组,设计时速近期为 300 km,预留开行时速 350 km 的条件,计划于 2011 年底完工。

宁波—福州客运专线,简称沪深线甬福段,2009 年 9 月 28 日正式通车运营,最高运行速度为 250 km/h。

2. “四横”客运专线

(1) 徐州—郑州—兰州客运专线,连接西北和华东地区。

郑州—西安客运专线,简称郑西客专,是我国中长期铁路规划中徐兰客运专线(徐州—郑州—西安—宝鸡—兰州)最先开工的一段,即将于近期投入运营,设计速度 350 km/h。

(2) 杭州—南昌—长沙—贵阳—昆明客运专线,连接西南、华中和华东地区。

(3) 青岛—石家庄—太原客运专线,连接华北和华东地区。

(4) 南京—武汉—重庆—成都客运专线,连接西南和华东地区。

南京—武汉段由合宁、合武客运专线连接起来,是沪汉蓉快速通道的重要组成部分。合宁客运专线,亦称合宁城际铁路,已于 2008 年 4 月 18 日投入运营,同年 8 月 1 日首次开行动车

组,设计速度 250 km/h。合武客运专线于 2009 年 4 月 1 日正式投入运营,设计速度 250 km/h。

同时,建设南昌—九江、柳州—南宁、绵阳—成都—乐山、哈尔滨—齐齐哈尔、哈尔滨—牡丹江、长春—吉林、沈阳—丹东等客运专线,扩大客运专线的覆盖面。

3. 城际客运系统

在环渤海、长江三角洲、珠江三角洲、长株潭、成渝以及中原城市群、武汉城市圈、关中城市群、海峡西岸城市群等经济发达和人口稠密地区建设城际客运系统,覆盖区域内主要城镇。

长三角城际客运系统如下:

(1)沪宁城际铁路:南京与上海之间建设联系区域内部交通的高速铁路规划。沪宁城际全线长约 300 km,列车设计时速 300 km。2008 年 7 月 1 日正式开工,现已投入运营。

(2)宁杭城际铁路,又称宁杭客运专线。

(3)宁安城际铁路:东起京沪高铁南京南站,经马鞍山、芜湖、铜陵、池州,跨长江铁路大桥后抵达安庆,全长 257 km,设计速度为每小时 250 km,并预留了 350 km/h 的条件。2008 年 12 月 18 日开工建设,计划将于 2012 年年底建成。

(4)沪杭城际铁路:中国规划建设的一条连接上海和杭州的城际铁路,与沪深客专沪杭段分工不同。

(5)合宁城际铁路:又称合宁客专,已于 2008 年 4 月 18 日投入运营。

(6)杭甬城际铁路:规划建设连接杭州和宁波的客运线路,与沪深客专杭甬段分工不同。

(7)沪通铁路:接南通和上海的沪通铁路是我国沿海铁路的重要组成部分。

二、高速铁路隧道的发展现状

1. 铁路隧道发展

铁路隧道是修建在地下或水下并铺设铁路供机车车辆通行的建筑物。根据其所在位置可分为三大类:为缩短距离和避免大坡道而从山岭或丘陵下穿越的称为山岭隧道;为穿越河流或海峡而从河下或海底通过的称为水下隧道;为适应铁路通过大城市的需要而在城市地下穿越的称为城市隧道。这三类隧道中修建最多的是山岭隧道。

自英国于 1826 年起在蒸汽机车牵引的铁路上开始修建长 770 m 的泰勒山单线隧道和长 2 474 m 的维多利亚双线隧道以来,英、美、法等国相继修建了大量铁路隧道。截至 2006 年底最长的是瑞士的勒奇山隧道(Loetschberg),总长 34 km,1994 年开始开凿,2005 年 4 月 28 日贯通。我国青藏铁路风火山隧道全长 1 338 m,轨面高程 4 905 m,是现今世界最高的标准轨距铁路隧道(截至 2006 年底)。在 19 世纪 60 年代以前,修建的隧道都用人工凿孔和黑火药爆破方法施工。1861 年修建穿越阿尔卑斯山脉的仙尼斯峰铁路隧道时,首次应用风动凿岩机代替人工凿孔。1867 年修建美国胡萨克铁路隧道时,开始采用硝化甘油炸药代替黑火药,使隧道施工技术及速度得到进一步发展。

在 20 世纪初期,欧洲和北美洲一些国家铁路形成铁路网,其中较长的瑞士和意大利间的辛普朗铁路隧道长 19.8 km。美国长约 12.5 km 的新喀斯喀特铁路隧道和加拿大长约 8.1 km 的康诺特铁路隧道都采用中央导坑法施工。其施工平均年进度分别为 4.1 和 4.5 km,是当时最高的施工进度。至 1950 年,世界铁路隧道最多的国家有意大利、日本、法国和美国。日本至 20 世纪 70 年代末共建成铁路隧道约 3 800 座,总延长约 1 850 km,其中 5 km 以上的

长隧道达 60 座,为世界上铁路长隧道最多的国家。1974 年建成的新关门双线隧道,长 18 675 m,为当时世界最长的海底铁路隧道。1981 年建成的大清水双线隧道,长 22 228 m,为世界最长的山岭铁路隧道。连接本州和北海道的青函海底隧道,长达 53 850 m,为当今世界最长的海底铁路隧道。

随着高速铁路事业的大发展,高速铁路线路的选线以及隧道的设计成为重大课题。高速铁路行车速度高,对基础设施建设标准要求高。线路最小曲率半径较大,所以高速铁路的选线设计,必然会出现大量的隧道工程。据不完全统计,截止 2005 年底,全世界建成的高速铁路隧道总长度已经超过 1 300 km,其中日本 784 km,法国 50 km,德国 201 km,意大利 71 km,英国 26 km,韩国 116 km,中国台湾地区 44 km。我国在建和拟建的隧道总长度将超过 1 000 km。其中 2006 年已经开工建设的项目中,隧道座数超过 500 座,总长度超过 700 km。

2. 高速铁路隧道的特点

高速铁路隧道与一般铁路隧道相比有较多的不同。高速铁路隧道的特点主要是与列车空气动力学相关。当列车进入隧道时,原来占据空间的空气被排开,空气的黏性以及隧道壁面和列车表面的摩阻作用使得被排开的空气不能像在隧道外那样及时、顺畅地沿列车两侧和上部形成统流。于是,列车前方的空气受到压缩列车后方则形成一定的负压,因而产生一个压力波动过程。这种压力波动又以声速传播至隧道口,形成反射波,回传、叠加,产生一系列复杂的空气动力学效应。高速铁路隧道工程的研究,涉及隧道的洞口形式、隧道及列车的横断面积、列车头部形状、车辆密封性、隧道结构的耐久性、洞内设施及轨道类型等一系列问题。

三、世界各国及地区高速铁路隧道技术要点

1. 日本新干线隧道

日本建设高速铁路隧道历史最久,数量最多。日本新干线铁路隧道多采用单洞双线断面,其净空有效面积只有 62~64 m²,是目前世界各国双线高速铁路隧道中断面最小者。为解决乘车舒适度和降低洞口微气压波,日本新干线铁路隧道采用了提高列车密封性能和在洞口设置缓冲结构的措施。早期的新干线隧道内一般采用碎石道床,后来修建的隧道内一般采用无砟轨道结构,并且以板式无砟轨道居多。隧道主要采用复合式衬砌,初期支护为主要受力结构,多采用型钢钢架支护,二次衬砌的主要作用是安全储备,厚度一般采用 30 cm。

2. 韩国高速铁路隧道

韩国首尔至釜山高速铁路列车运行速度设计目标值为 350 km/h,隧道净空有效面积采用 107 m²,是世界各国高速铁路隧道中断面最大者。衬砌内轮廓采用半径为 7.1 m 的单心圆形状。隧道底部不设置仰拱,而采用钢筋混凝土底板,底板厚度随不同围岩地质情况而异。隧道一般按排水型设计,在底板两侧设置排水沟。一般隧道内采用有砟轨道,特长隧道和第二期修建的隧道多采用无砟轨道。洞口采用喇叭口状的斜切式结构。

3. 德国高速铁路隧道

德国早期修建的曼海姆—斯图加特和汉诺威—维尔茨堡高速铁路,隧道净空有效面积采用 82 m²,而 2002 年建成通车的科隆—法兰克福高速铁路隧道净空有效面积采用 92 m²。洞口形式大多采用帽檐式的斜切式结构,有利于提高乘车舒适度和减缓高速铁路隧道的空气动力学效应。德国近期修建的高速铁路隧道防水全部采用“全封闭”结构,不允许地下水流入隧道,衬砌结构除考虑围岩和其他荷载外,还承受部分水压力。所以,德国新修建的隧道全部采

用钢筋混凝土衬砌,且其内轮廓均采用圆顺连接,仰拱厚度一般比拱墙衬砌厚度大,不良地层中仰拱填充厚度通常大于2.0 m。德国高速铁路隧道设置有完善的防灾救援系统,隧道内两侧设有贯通的救援通道,洞口一般设有救助车辆停放场,并且通过便道与公路网连通,救援交通较为便利。

4. 法国高速铁路隧道

法国高速铁路隧道相对较少,其净空有效面积与各线路列车的运行速度密切相关。大西洋线的双线隧道净空有效面积为55~71 m²,巴黎地区联络线双线隧道净空有效面积仅有58 m²,而北方线、东南延伸线和地中海线的双线隧道净空有效面积均为100 m²,单线隧道净空有效面积为70 m²。法国大部分高速铁路隧道采用碎石道床结构,隧道内设置避车洞,侧壁上设人行扶手杆。接触网固定件预埋在模筑混凝土衬砌内。

5. 其他国家高速铁路隧道

西班牙第一条高速铁路设计行车速度目标值为300 km/h,双线隧道净空有效面积采用75 m²。第二条高速铁路设计行车速度目标值为350 km/h,双线隧道净空有效面积采用100 m²。隧道内均采用中心排水沟。意大利高速铁路隧道衬砌内轮廓均采用双心圆形状,轨面以上与轨面以下均为单心圆,在修建的各条高速铁路隧道中圆的半径有逐渐增大的趋势。荷兰高速铁路隧道由于埋深较浅,地下水位较高,一般采用盾构法、沉管法或明挖法施工。瑞士岩质长隧道居多,一般采用掘进机法开挖。

6. 我国台湾地区高速铁路隧道

我国台湾台北至高雄高速铁路设计行车速度目标值为350 km/h,考虑隧道内空气动力学效应,净空有效面积采用90 m²。对于长度大于3 km的隧道,为防止列车出洞时引起突爆噪声,隧道洞口采用挑檐式、斜度为45°的斜切式结构,另设置缓冲结构扩大段,其净空有效面积是正常隧道段的1.5倍,顶部设2处开孔,将微气压波逐渐释放。台湾高速铁路隧道为避免影响区域水文变化,对长度大于3 km的隧道,大部分设计为不排水型,并全部采用钢筋混凝土衬砌。

第二节 我国高速铁路发展现状

一、部分高速铁路隧道概况

根据《中长期铁路网规划》,到2020年,我国大陆将建设客运专线1.6万 km以上,客车速度目标值不小于200 km/h。根据规划,客运专线隧道建设总长度将超过1 000 km。目前已经开工和即将开工建设的高速铁路隧道长度约892 km。各客运专线隧道列于表1-1中。

各客运专线中,长度大于10 km的特长隧道共有8座,分别是石太线的太行山隧道(27 839 m)和南梁隧道(11 526 m)、合武线的大别山隧道(13 256 m)和金寨隧道(10 766 m)、温福线的霞浦隧道(13 099 m)、武广线的大瑶山一号隧道(10 081 m)、广深港线的狮子洋隧道(10 800 m)、厦深线的大南山隧道(12 701 m)。其中狮子洋隧道采用盾构法施工,其他隧道均采用钻爆法施工。

1. 武广客运专线

武广客运专线长869 km,全线共新建双线隧道222座,总延长172 km,隧道比为19.8%。全线最长的隧道为大瑶山一号隧道,长10 081 m。设计行车速度目标值为350 km/h。双线隧

道净空有效面积为 100 m²。全线隧道均按铺设无砟轨道设计。

表 1-1 各客运专线隧道比例统计表

序号	线(段)别	线路长度(km)	隧道座数	隧道长度(m)	隧线比(%)	速度目标值(km/h)
1	武 广	869	222	172 152	19.8	350
2	广深港	103	24	32 016	31.1	350
3	郑 武	473	40	41 154	8.7	350
4	郑 西	458	38	76 879	16.8	350
5	石 太	190	32	74 904	39.4	250
6	甬台温	282	59	88 115	31.2	250
7	温 福	298	59	149 423	50.1	250
8	福 厦	256	37	40 406	15.8	250
9	厦 深	502	80	118 377	23.6	250
10	合 武	359	37	64 076	17.8	250
11	合 宁	133	2	2 005	1.5	250
12	广 珠	142	4	4 172	2.9	200
13	哈 大	914	8	9 694	1.1	350
14	京 沪	1 318	18	14 376	1.1	350
15	新广州站	68	2	4 266		350
合计		6 365	662	891 975	14.0	

武广线乌龙泉至韶关段,线路通过中低山区、丘陵区、河流冲积平原区三大地貌单元,沿线平原区、谷地区大面积分布第四系冲积、湖积、冲洪积、残坡积松散堆积层。基岩自下第三系至远古界沉积岩、变质岩及燕山期多次侵入的岩浆岩均有分布。沿线地下水类型可划分为松散岩类孔隙水、红层裂隙孔隙—溶洞水、基岩裂隙水及碳酸盐岩类岩溶水。

除浏阳河隧道采用非爆破开挖法外,其余隧道均采用钻爆法施工。浏阳河隧道设 3 座竖井和 1 座无轨运输斜井。大瑶山一号隧道设置长度约 2 226 m 的平行导坑和 1 个横洞,大瑶山二号隧道设 2 个横洞,大瑶山三号隧道设进口平行导坑和出口平行导坑,平行导坑和横洞均采用无轨运输。

2. 广深港客运专线

广深港客运专线广深段位于广东省中南部,设计线路长度 103 km。全线共有隧道 24 座,总长 32 km,隧线比为 31.1%,其中 23 座位双线隧道,1 座位双洞单线隧道。全线最长的隧道为狮子洋水下隧道,长 10.8 km。最长的山岭隧道为羊台山隧道,长 4.772 km。设计行车速度目标值为 350 km/h,双线隧道净空有效面积为 100 m²,单线隧道净空有效面积为 65 m²。全线隧道均按铺设无砟轨道设计。

线路位于东南沿海低山丘陵范围内,有大岭山、莲花山、羊台山等山脉,多呈北东向延伸。以变质岩和花岗岩剥蚀残丘为主,地形波状起伏。山顶高程一般为 150~300 m,相对高差多为 50~200 m,植被发育。谷地较平缓,多辟建厂房等建筑。

线路位于低山丘陵区,丘坡与谷地相间。丘间谷地广泛覆盖人工填土,下为第四系冲洪积粉质黏土,局部夹砂层及淤泥质土层。丘陵区出露基岩主要为坚硬的花岗岩、较破碎软弱的变质岩、碎屑岩,一般全风化层厚 10~15 m,局部大于 20 m。隧道围岩为 II~V 级。

狮子洋隧道设置 2 座竖井作为盾构始发井,并兼作运营养护和防灾救援的通道,其余隧道均为设置辅助坑道。除狮子洋隧道采用盾构法施工外,全线其余隧道均采用钻爆法施工。

3. 郑武客运专线

郑武客运专线北起新郑州站,南至武汉天兴洲长江大桥北端,全长 473 km,设计行车速度目标值为 350 km/h,线间距为 5 m。全线新建双线隧道 40 座,总延长为 41 km,隧线比为 8.7%。最长隧道为黄龙寺隧道,长 8 716 m。双线隧道净空有效面积为 100 m²。

郑武线在信阳以北和武汉地区分属黄淮冲积平原、汉江平原,地形平坦开阔;在信阳以南豫鄂交界的大别山地区为低山区,地形起伏较大,其他岗地地形波状起伏,不良地质有采空区、风沙区、高烈度地震区等,特殊岩土有软土、松软土、膨胀土。

黄龙寺隧道穿越地层主要为中粗粒黑云二长花岗岩,岩石较致密完整,节理局部发育。隧道通过地区地表水系较发育,但对混凝土不具侵蚀性。隧道超前支护采用的主要工程措施有超前长管棚、超前小导管及超前锚杆等,同时对可能发生突水突泥的断层破碎带采取超前预注浆进行加固。隧道中设无轨运输斜井 1 座。

4. 郑西客运专线

郑西客运专线东起中原中心城市郑州市,横贯中州大地和关中平原东部,正线全长 458 km,设计行车速度目标值为 350 km/h。全线新建隧道 38 座,总延长约为 77 km,隧线比为 16.8%。最长的隧道为张茅隧道,长 8 483 m。

郑西线隧道均为双线隧道,线间距 5.0 m,双线隧道净空有效面积为 100 m²。全线隧道均按铺设无砟轨道设计。

郑西线隧道均采用复合式衬砌,分别按黄土隧道、非黄土隧道采用相应的结构形式。其中,洞口及洞身埋段均按抗震设防要求加强,当隧道下穿公路或建筑物时,对其影响范围的衬砌结构予以加强。郑西线重点隧道为张茅隧道、函谷关隧道和秦东隧道。其中张茅隧道为全线最长隧道,长度为 8 483 m。函谷关隧道为全线最长的黄土隧道,长度为 7 851 m。秦东隧道位于河南与陕西两省分界处,长度为 7 684 m,也是一座黄土隧道。各隧道的地理位置分布如图 1-2 所示。

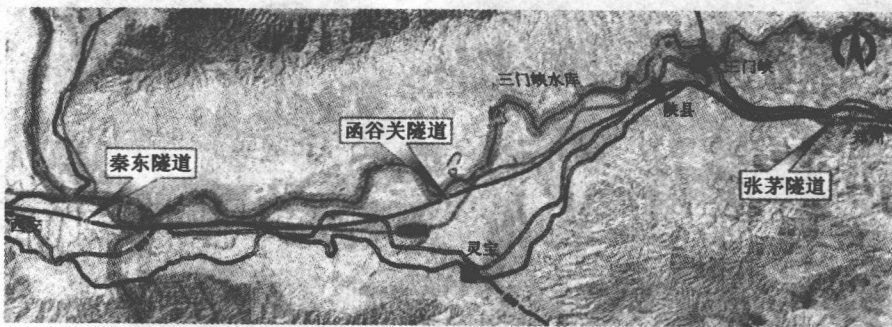


图 1-2 郑西客运专线重点隧道分布

郑西线余顶隧道、大峪沟隧道、巩义隧道、南山口隧道、盘东隧道、潼洛川隧道均各设 1 座无轨运输斜井作为施工辅助坑道,交口隧道设置 2 个横洞,张茅隧道设置 2 座斜井,函谷关隧道设置 1 个横洞与 3 座斜井,秦东隧道设置 3 座斜井。建成后,每座隧道各选 1 个辅助坑道作为紧急出口。

隧道通过地段为Ⅲ~Ⅴ级围岩及新、老黄土地层。岩石地层隧道开挖采用光面爆破,锚喷初期支护;黄土地层隧道采用人工配合小型机械开挖,锚喷初期支护,仰拱超前施工。Ⅲ级围岩采用全断面法或台阶法施工,Ⅳ~Ⅴ级围岩采用台阶法、弧形开挖法、中壁法、CRD 法或双侧壁导坑法施工。

5. 石太客运专线

石太客运专线铁路设计客车速度目标值为 250 km/h。全线新建线路全长 190 km,共有隧道 32 座,总延长约 75 km(以左线为准),隧线比为 39.4%。其中太行山隧道长 27.839 km(左线)由两座相互平行的单线隧道组成,为全线最长隧道。南梁隧道长 11.526 km(左线),由双线段加 2 个单线段隧道组成,其中喇叭口段最大开挖断面为 300 m²。净空有效面积单线隧道采用 60 m²,双线隧道采用 92 m²。

沿线所经地区地层出露较齐全,下元古界、元古界、古生界、中生界、新生界均有分布。华北平原、太原盆地及丘陵间谷地分布了第四系黏性土、砂类土和碎石类土,黄土广泛分布于寿阳、阳泉。山区分布了新生界第三系砾岩、砂岩、泥岩,中生界三叠系的砂岩,古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系的灰岩和砂页岩,下元古界滹沱群及中元古界长城系的古老地层。

地下水类型主要有第四系孔隙潜水、碳酸盐岩岩溶水和基岩裂隙水,除角砾状泥灰岩外,大部地区地下水对混凝土不具侵蚀性。

太行山隧道设 9 座斜井,南梁隧道设 4 座斜井,石板山隧道设 2 座斜井,作为施工辅助坑道。长度大于 6 km 的隧道铺设无砟轨道,其余隧道采用碎石道床。全线隧道均采用钻爆法施工。

6. 合武客运专线

合武客运专线铁路东起合肥市,西至武汉市,全长 359 km,设计客车速度目标值为 250 km/h,线间距为 4.6 m。全线共新建双线隧道 37 座,总延长 64 km,隧线比为 17.8%。最长隧道为大别山隧道,长度为 13 256 m。双线隧道净空有效面积采用 92 m²。线路走向和主要隧道分布如图 1-3 所示。

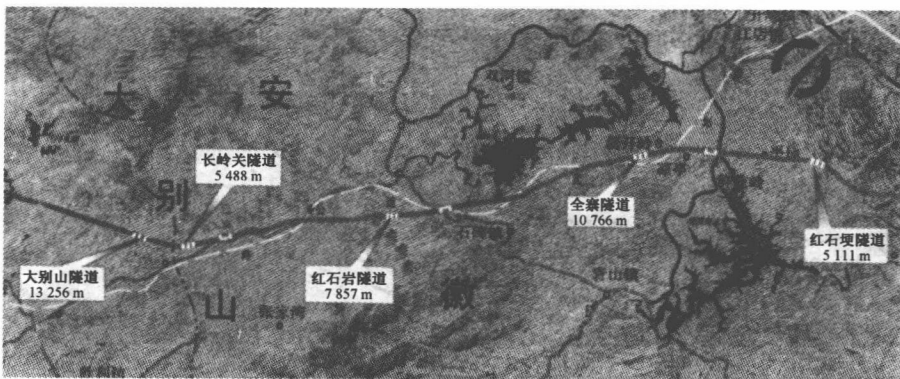


图 1-3 合武线线路走向和主要隧道分布

合武线横跨安徽、湖北两省。合肥至六安市为江淮冲洪积、堆积平原区,地势平坦。六安至金寨县以东,为剥蚀丘陵区。金寨县以西至麻城段属大别山中段北坡,为江淮分水岭主脉,为低山区。麻城至武汉段,除局部为丘陵外,皆属江汉湖积、冲洪积平原区及长江一、二、三级阶地区。隧道通过地层主要为石英片岩、片麻岩和花岗岩,一般地下水不发育,围岩一般为Ⅱ~Ⅴ级,其中Ⅱ、Ⅲ级围岩长度约占隧道全长的60%。

大别山隧道设无轨运输斜井2座,金寨隧道设无轨运输斜井1座,作为施工辅助坑道。长度大于3 km的隧道按铺设无砟轨道设计,其余隧道采用碎石道床。全线隧道均采用钻爆法施工。

7. 甬台温客运专线

甬台温客运专线铁路北起宁波,南至温州南,全长282 km,设计客车速度目标值为250 km/h,并预留进一步提速条件。全线共新建隧道59座,总延长88 km,隧线比为31.2%。其中双线隧道57座,总延长87.469 km。三线隧道1座,长0.504 km。单线隧道1座,长0.142 km。全线最长隧道为凤凰山隧道,长度为7 979 m。线路走向和主要隧道分布如图1-4所示。

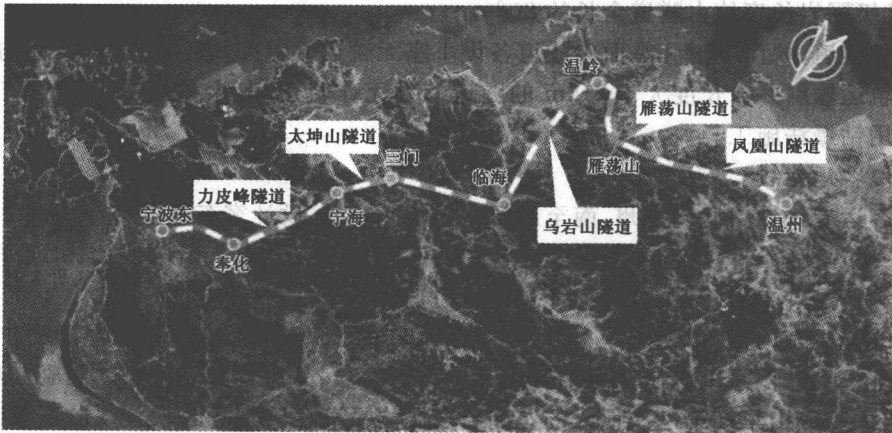


图1-4 甬台温铁路线路走向和主要隧道分布示意图

双线隧道净空有效面积采用 92 m^2 。三线隧道为温州枢纽的大跨隧道,由甬台温线2条正线和金温线1条正线组成。单线隧道为改建金温联络线上的隧道,内轮廓面积满足行车速度目标值140 km/h和建筑限界的要求。

甬台温线位于低山丘陵区,主要出露侏罗系上统火山碎屑岩、白垩系下统沉积碎屑岩、燕山期侵入岩等地层,一般地下水不发育。围岩一般为Ⅱ、Ⅲ级,该类围岩长度约占隧道全长的80%。

太坤山隧道设置1座无轨运输斜井,作为施工辅助坑道。长度大于6 km的隧道和九牛山隧道(长3 461 m)按铺设无砟轨道设计,其余隧道采用碎石道床。全线隧道均采用钻爆法施工。

8. 温福客运专线

温福客运专线铁路北起温州,南至福州,全长298 km,设计客车速度目标值为250 km/h,并预留进一步提速条件。全线共新建双线隧道59座,总延长149 km,隧线比为50.1%。全线

最长隧道为霞浦隧道,长度为 13 099 m。双线隧道净空有效面积采用 92 m^2 。线路走向和主要隧道分布如图 1-5 所示。

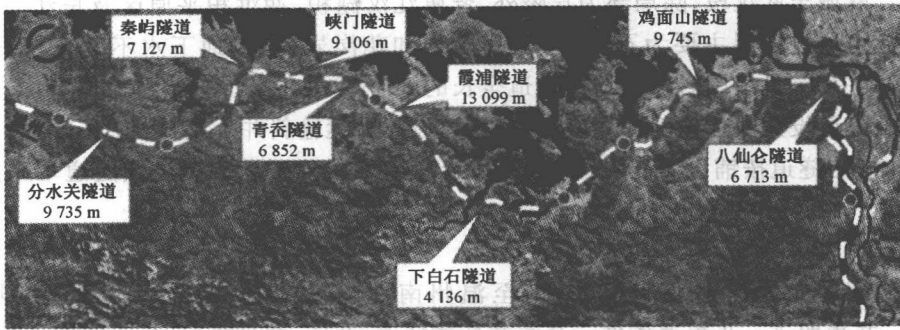


图 1-5 温福铁路线路走向和主要隧道分布

温福线隧道位于低山丘陵区,主要出露侏罗系上统火山碎屑岩、白垩系下统沉积碎屑岩夹火山岩、燕山期侵入岩等地层,以凝灰岩、花岗岩为主,一般地下水不发育。围岩为 II~V 级,其中 II、III 级围岩长度约占隧道全长的 80%。

分水关隧道、峡门隧道和鸡面山隧道各设 1 座无轨运输斜井,霞浦隧道设贯通的平行导坑和 2 座无轨运输斜井。长度大于 6 km 的隧道铺设无砟轨道,其余隧道采用碎石道床。全线隧道均采用钻爆法施工。

9. 福厦客运专线

福厦客运专线铁路北起福州,南至厦门,全长 256 km,设计客车速度目标值为 250 km/h,并预留进一步提速条件。全线共新建双线隧道 37 座,总延长 40 km,隧线比为 15.8%。全线最长隧道为黄晶岭二号隧道,长度为 5 735 m。

福厦线位于东南沿海,地貌单元主要为低山丘陵地貌、滨海平原台地地貌及冲积平原地貌。下伏地层为侏罗系上统南园组第三段晶屑凝灰熔岩、晶屑凝灰岩及第二段凝灰熔岩、凝灰岩,侵入岩体为燕山早期第一次侵入的花岗岩及脉岩及燕山晚期第一次侵入的石英闪长岩,一般地下水不发育。围岩为 II~V 级。

黄晶岭一号、二号隧道按铺设无砟轨道设计,其余隧道采用碎石道床。全线隧道均采用钻爆法施工。

10. 厦深客运专线

厦深客运专线铁路北起厦门,南至深圳,全长为 502 km,设计客车速度目标值为 250 km/h,并预留进一步提速条件。全线共规划新建双线隧道 80 座,总延长 118 km,隧道比为 23.6%。全线最长隧道为大南山隧道,长度为 12 701 m。双线隧道净空有效面积采用 92 m^2 。

厦深铁路潮汕至新深圳段位于广东省东南部沿海地带,地貌为中低山丘陵及堆积平原区,总的地势为西北高、东南低,山脉多呈北北东—南南西走向延伸,与海岸线大致平行,主要出露燕山期多期次侵入花岗岩系、侏罗系火山—沉积岩系,少量出露奥陶系、泥盆系、石炭系、白垩系及下第三系各类砂岩、砾岩、页岩和灰岩等沉积岩地层,一般地下水不发育。

大南山特长隧道设置贯通的平行导坑和 1 座无轨运输斜井,作为施工辅助坑道。长度大于 6 km 的隧道按铺设无砟轨道设计,其余隧道采用碎石道床。全线隧道均采用钻爆法施工。

11. 哈大客运专线



哈大客运专线铁路南起大连,北至哈尔滨,全长 914 km,设计客车速度目标值为 350 km/h。全线共有隧道 8 座,总延长 9 694 m,隧线比为 1.1%。其中最长的隧道为九里庄隧道,长 4 340 m。最短的隧道为黄旗隧道,长 278 m。正线隧道全部为双线隧道,净空有效面积为 100 m²。

沿线主要岩性为第四系覆盖层、半成岩的泥岩、砂岩、砾岩以及页岩、凝灰岩、泥灰岩、油页岩、玄武岩、细砂岩、粗砂岩、煤层等。

12. 京沪高速铁路

京沪高速铁路起于北京市北京南站,终点为上海市虹桥火车站,线路全长约 1 318 km,设计行车速度目标值为 350 km/h。

全线共有隧道 18 座,总延长 14 376 m,隧线比为 1.1%。其中最长的隧道为西渴马一号隧道,长 2 812 m。最短的隧道为光星村隧道,长 106 m。正线隧道全部为双线隧道,净空有效面积为 100 m²。

京沪高速铁路经过我国华北地区和东华地区,沿线以平原和低山丘陵区为主。出露基岩为古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系,岩性为石灰岩、页岩、砂岩、泥岩、千枚岩、石英砂岩及侵入岩等。

13. 广珠城际铁路

广珠城际快速轨道交通工程(含中山—江门)穿越珠江三角洲中部,线路大部分通过北江、西江及其支流合成的三角洲平原,线路穿过中山市后进入五桂山脉一带沿海低山丘陵区。贯通方案线路全长 142 km,设计行车速度目标值为 200 km/h,线间距 4.4 m。

广珠城际铁路新建双线隧道 4 座,总延长 4 172 m,隧线比为 2.9%。隧道净空有效面积为 85 m²。最长隧道为凤凰山隧道,长 3 218 m。隧道通过地区出露地层主要有中上侏罗统百足山群(K1bz)、第四系(Q),岩浆岩主要为燕山三期侵入的花岗岩等。

二、我国大陆高速铁路隧道的特点

我国大陆高速铁路隧道除具有各国高速铁路隧道的共性外,还具有如下特点:

1. 隧道座数多,长度长

已经开工的拟开工建设的高速铁路隧道座数达 660 余座,总延长超过 890 km,包括规划的高速铁路隧道,总延长将超过 1 000 km。正在建设中的石太线太行山特长隧道是现今亚洲最长的山岭隧道,也是世界行车速度目标值最高的特长隧道之一。规划即将建设的青藏线西宁至格尔木段增建第二线的新关角隧道,设计客车速度目标值为 200 km/h,长度超过太行山隧道。

2. 隧道内行车速度目标值高,相关工程技术标准要求高

我国高速客运专线隧道设计行车速度目标值为 350 km/h,如京沪、郑武、武广、广深港、郑西、哈大线,为世界上行车速度目标值最高的铁路。运营初期客货共线隧道设计行车速度目标值不小于 250 km/h,并且大部分隧道采用无砟轨道,技术标准要求高。

3. 隧道分布区域广,所处环境和地质情况复杂

我国高速铁路隧道分布在东北、华北、华东、中南、东南沿海及中西部地区,所通过的地形及地质情况异常复杂,尤其是武广客运专线隧道通过岩溶地区,郑西、石太客运专线部分隧道在黄土地区,有下穿高速公路和既有建筑物的隧道,有位于自然保护区的隧道,有穿越珠江狮