

✘ 高等学校高速铁路系列教材



高速铁路

隧道工程

主 编 ◎ 梁庆国 欧尔峰 马丽娜 汪精河

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书主要内容包括隧道工程构造设计、隧道工程地质环境、隧道空气动力学问题及工程措施、高速铁路隧道断面形式及支护设计、高速铁路隧道底部结构及防排水设计、高速铁路隧道防排水设计、高速铁路隧道洞门缓冲结构及景观设计、高速铁路隧道结构耐久性设计、高速铁路隧道防灾救援设计、高速铁路隧道施工、高速铁路隧道养护维修、高速铁路隧道风险管理、高速铁路隧道实例等。本书的特点是内容丰富，强调理论与实践并举、建设与管养并重、经典与前沿相融、教学与科研相长，密切结合我国高速铁路隧道实际，较为全面地介绍了与之相关的规划、设计、施工、维修养护与典型案例等，可供从事隧道工程规划、设计、施工、监理、科研和管理的技术人员和高校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

高速铁路隧道工程 / 梁庆国等主编. —成都：西南交通大学出版社，2021.6
ISBN 978-7-5643-7765-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2020）第 210126 号

Gaosu Tielu Suidao Gongcheng
高速铁路隧道工程

主 编 / 梁庆国 欧尔峰 马丽娜 汪精河

责任编辑 / 陈 斌

封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

（四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031）

发行部电话：028-87600564 028-87600533

网址：<http://www.xnjdcbs.com>

印刷：四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 23.25 字数 574 千

版次 2021 年 6 月第 1 版 印次 2021 年 6 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-7765-6

定价 60.00 元

课件咨询电话：028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

高等学校高速铁路系列教材

【 编审委员会 】 >>>>

主 任

杨子江 李引珍

副 主 任

刘振奎

委 员

张友鹏 钱勇生 丁旺才 牛惠民

石广田 陈小强 闫光辉 虞庐松

李海军 王海涌 马元琳

【兰州交通大学高等学校高速铁路系列教材目录及主编人】

序号	教材名称	主编人
1	高速铁路客站工程	蔺鹏臻
2	高速铁路线路工程	李 斌
3	高速铁路桥梁工程	丁南宏
4	高速铁路隧道工程	梁庆国
5	高速铁路施工组织与计价	顾伟红
6	动车组运用与管理	朱喜锋
7	动车组牵引传动与控制	车 军
8	动车组车辆设计技术	商跃进
9	动车组制造与修理工艺	冉虎珍
10	机车车辆概论	金 花
11	动车组工程	石广田
12	高速铁路车站计算机联锁系统	谭 丽
13	高速铁路分散自律调度集中 (FZ-CTC)	张雁鹏
14	铁路专用通信	樊子锐
15	高速铁路无线通信系统与应用	谢健骊
16	LTE-R 铁路移动通信技术	周冬梅
17	高速铁路信息安全技术	李 强
18	高速铁路调度指挥	刘 斌
19	高速铁路列车运行图	田志强
20	高速铁路站场设计	张春民
21	高速铁路车站工作组织	杨信丰
22	高速铁路客运管理	张玉召

【 序 言 】 >>>>

FOREWORD

高速铁路是中国名片和国之重器。中国国家铁路集团有限公司2020年8月出台《新时代交通强国铁路先行规划纲要》，明确提出要加快构建现代高效的高速铁路网，深化高铁关键核心技术自主创新，造就高水平科研人才和建设高技能产业大军，至2035年率先建成现代化铁路强国。把握高速铁路技术发展新特征，面向高校专业人才培养和铁路企业职工培训新需求，编写一套先进适用的高速铁路特色教材，显得重要而迫切。

兰州交通大学为中国国家铁路集团有限公司与甘肃省人民政府共建高校，素有“铁路工程师摇篮”之称。新时期学校致力于培养铁路高素质工程技术人才，高度重视教材编写工作，专门设立“兰州交通大学高速铁路特色系列教材”项目，成立编审委员会，组织协调学校轨道交通相关专业骨干教师和中国铁路兰州局集团有限公司工程技术人员，广泛收集技术资料，深入铁路设计、施工、制造、运输企业调研，依照高速铁路技术标准，历时4年，反复讨论与修改，终在高速铁路建设新征程开启之际，完成22部高等学校高速铁路系列教材的编写任务并出版。

本套教材具有系列化和专适性特点，涵盖高速铁路线桥隧工程、动车组、通信信号、站场设计、运输组织等专业领域，注重介绍高速铁路新理论、新技术、新装备、新材料和新工艺，理论联系实际，资料翔实，图表丰富，可作为高校轨道交通专业的教学教材，亦可作为轨道交通行业企业技术管理人员的培训教材。

本套教材是校企深度合作成果，谨向大力支持教材编写工作的中国铁路兰州局集团有限公司致谢！

兰州交通大学高等学校高速铁路系列教材编审委员会
2020年9月

【 前 言 】 >>>>

PREFACE

截至目前,我国的隧道工程建设无论是数量长度规模之巨、自然环境和地质条件之复杂及由此而带来的建设难度之大,还是设计施工管养等技术方面的进步之快,均属世界前列。随着我国高速铁路的快速发展,特别是我国“一带一路”倡议和西部大开发战略的进一步深入实施,越来越多的高铁隧道工程将投入建设或进入运营服役状态,如在建的川藏铁路,已经通车运营的宝兰客专、兰渝铁路等,高速铁路隧道工程的建设及其相应的新理论、新方法和新技术也取得了长足进步。因此,充分吸收借鉴国内外高速铁路隧道及地下工程同类教材、论著、规范的优秀成果和先进经验,编写能够涵盖高速铁路隧道工程全寿命周期相关内容的教材,对提高隧道及地下工程方向的本科生和研究生的培养质量,为广大高速铁路隧道的管理、建设、运营等单位的技术人员提供必要的参考,就成为编著出版本书的“初心”,期待能够实现和不断完善。

本书共分 12 章。绪论部分介绍了我国高速铁路发展现状和主要关键技术问题;第 1 章是隧道工程构造设计;第 2 章是隧道工程地质环境,侧重于围岩分级和围岩压力计算;第 3 章是高速铁路隧道空气动力学问题和相应的工程措施;第 4 章是高速铁路隧道断面形式及支护结构设计;第 5 章是高速铁路隧道底部结构及防排水设计;第 6 章是高速铁路隧道洞门缓冲结构及景观设计;第 7 章是高速铁路隧道结构耐久性设计;第 8 章是高速铁路隧道防灾救援设计;第 9 章是当前我国高速铁路隧道施工的主要方法和相关技术;第 10 章是高速铁路隧道养护维

修；第 11 章是高速铁路隧道风险管理；第 12 章介绍了西部地区几座典型高速铁路隧道设计施工的实例。其中：绪论、第 9 章由梁庆国教授编写，第 5、6、7、11 章由欧尔峰副教授编写，第 1、2、3、4、8 章由马丽娜副教授编写，第 10、12 章及参考文献由汪精河副教授编写、整理。最后由梁庆国教授统稿。

本书的出版受到兰州交通大学专项资金的资助，在编写过程中始终受到相关领导和老师的关心、帮助与支持，特别是李德武教授、严松宏教授、陈志敏教授等提供了部分资料和很好的意见、建议，在此向他们表示衷心的感谢！同时，由于作者水平有限，书中难免有遗漏和不足，敬请专家和读者不吝赐教，多提批评指导意见，以便进一步修订。

编者

2020 年 7 月于兰州

【 目 录 】 >>>>

CONTENTS

0	绪 论	001
0.1	高速铁路概述	001
0.2	高速铁路隧道技术要点	008
1	隧道工程构造设计	016
1.1	隧道的基本概念	016
1.2	隧道横断面	016
1.3	隧道支护结构	020
1.4	洞门与明洞	022
1.5	附属建筑物	027
2	隧道工程地质环境	029
2.1	岩体的力学性质	029
2.2	围岩分级	035
2.3	围岩压力	042
3	隧道空气动力学问题及工程措施	053
3.1	隧道空气动力效应	053
3.2	降低空气动力效应的工程措施	081
4	高速铁路隧道断面形式及支护设计	092
4.1	隧道净空断面大小及形式	092
4.2	衬砌支护参数	097
5	高速铁路隧道底部结构及防排水设计	108
5.1	高速铁路隧道底部结构	108

5.2	高速铁路隧道防排水设计	117
6	高速铁路隧道洞门缓冲结构及景观设计	127
6.1	新型洞门形式	127
6.2	洞口缓冲结构设计	129
6.3	洞口建筑设计实用方法	133
6.4	洞口景观设计	134
7	高速铁路隧道结构耐久性设计	140
7.1	耐久性的概念	140
7.2	不重视耐久性设计引起的工程病害	141
7.3	影响隧道结构耐久性的因素	142
7.4	复合式衬砌结构耐久性设计	148
8	高速铁路隧道防灾救援设计	151
8.1	高速铁路隧道灾害概述	151
8.2	防灾救援设计	154
8.3	防灾救援设计典型实例	159
9	高速铁路隧道施工	167
9.1	隧道施工概述	167
9.2	高速铁路隧道施工方法	169
9.3	隧道支护与衬砌	191
9.4	超前地质预报	210
9.5	监控量测	217
9.6	防排水施工工艺	227
9.7	施工机械化配套	238

10	高速铁路隧道养护维修	249
10.1	高速铁路隧道养护维修概述	249
10.2	高速铁路隧道病害调查	250
10.3	高速铁路隧道状态检测	258
10.4	隧道衬砌结构物劣化现象及原因	262
10.5	隧道衬砌结构状态评估	268
10.6	隧道衬砌养护维修对策设计	272
10.7	隧道渗漏水及其整治	279
11	高速铁路隧道风险管理	286
11.1	风险基本概念	286
11.2	隧道风险指标体系	288
11.3	隧道风险分级标准和接受准则	300
11.4	隧道风险评估的办法	304
11.5	制定隧道风险管理制度	315
12	高速铁路隧道实例	318
12.1	黄土隧道（郑西高铁）	318
12.2	冻土区隧道（青藏铁路隧道）	340
12.3	软岩隧道（木寨岭隧道）	347
	参考文献	356

0.1 高速铁路概述

0.1.1 高速铁路的定义、优势及现状

国际铁路联盟（UIC）认为高速铁路的定义相当广泛，包含高速铁路领域下的众多系统。高速铁路是指组成这一“系统”所有元素的组合，包括基础设施（新线设计速度 250 km/h 以上，提速线路速度 200 km/h 甚至 220 km/h）、高速动车组和运营条件。当前各国新建的高速铁路，大多把最高速度定位在 250 ~ 350 km/h。

我国高速铁路的定义为：新设计开行 250 km/h（含预留）及以上动车组列车，初期运营速度不小于 200 km/h 的客运专线铁路。

与公路和航空等交通方式相比，高速铁路具有速度快、运量大、效率高、占地少、能耗低等综合优势。例如，在 CO₂ 排放量和能源消耗量方面，铁路运输优于其他运输模式。在铁路运输中，每人公里 CO₂ 排放量约为轿车的 1/9、飞机的 1/6，每人公里能源消耗量约为轿车的 40%、飞机的 23.7%，如图 0-1 和图 0-2 所示。因此，高速铁路在未来世界交通运输体系中 will 发挥越来越重要的骨干作用。在中国，高速铁路已经当之无愧地成为国家客运交通中的最重要组成部分之一。

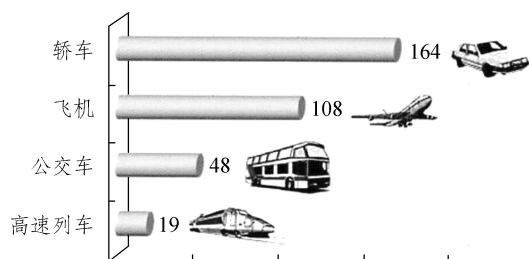


图 0-1 每人公里 CO₂ 排放量 (单位: g)

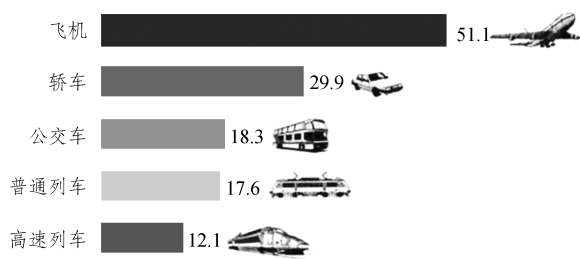


图 0-2 每人公里能源消耗量
[等价换算为石油消耗量 (单位: g)]

目前，世界上已经有中国、德国、日本、法国、西班牙、意大利、瑞典、英国、俄罗斯、土耳其、韩国、比利时、荷兰、瑞士等 16 个国家和地区建成并开通运营了高速铁路。截至

2019 年底，中国铁路营业里程达 13.9 万千米，其中，投入运营的铁路隧道 16 084 座，总长 18 041 km。中国已投入运营的高速铁路总长 3.5 万千米，共建成高速铁路隧道 3 442 座，总长 5 515 km，其中，长度在 10 km 以上的特长隧道 71 座，总长约 908 km。已投入运营的特长铁路隧道共 170 座，总长 2 312 km，其中，长度在 20 km 以上的特长铁路隧道 11 座，累计长度 262 km。中国高铁里程超过世界高铁总里程三分之二，成为世界上高铁里程最长、运输密度最高、成网运营场景最复杂的国家；中国高铁动车组已累计运输旅客突破 90 亿人次，成为中国铁路旅客运输的主渠道；中国高铁的安全可靠性和运输效率世界领先。同时，我国铁路新开工项目 26 个，新增投资规模 3 382 亿元；投产新线 4 683 km，其中高铁 4 100 km。中国在建高铁线路目前已经超过了 1.1 万千米，在建里程总和超过西班牙、德国、日本、法国开通运行线路的总和（这 4 个国家运营线路里程分列全球 2~5 位）。

0.1.2 高速铁路发展概述

纵观世界高速铁路的发展历史，可将其大致划分为三个主要阶段：

1. 探索初创阶段

该阶段从 20 世纪 60 年代到 70 年代末，以日本 1964 年开通第一条高速铁路东海道新干线为标志，开通时最高运营速度为 210 km/h。从东海道新干线开始，高速铁路在工务工程、高速列车、牵引供电以及通信信号等领域都对传统铁路进行了重大革新。由于高速铁路发展尚处于探索阶段，没有既有的经验可借鉴，需要反复论证和试验，而且从高速铁路发展成效显现到加快发展高速铁路形成共识需要一定的过程，因此高速铁路发展缓慢，20 年内，全世界只有日本先后于 1964 年和 1975 年建成了东海道新干线和山阳新干线，总里程 1 069 km。

2. 扩大发展阶段

该阶段从 20 世纪 80 年代初到 20 世纪末，以 1981 年法国第一条高速铁路 TGV 东南线开通运营为标志，开通时最高运营速度为 270 km/h，是世界高速铁路进入最高运营速度 250~300 km/h 新时期的转折点。随着高速铁路技术研究开发与应用的不断深入，高速铁路技术体系不断完善。除日本新干线技术体系继续发展外，法国、德国、意大利也先后形成了各具特色的高速铁路技术体系和系列化产品，分别于 1981 年、1991 年、1992 年开通了本国第一条高速铁路，并开始制定和逐步实施庞大的高速铁路发展规划。

从 20 世纪 90 年代开始，伴随着已建成高速铁路的成功运营，以及可持续发展理念逐步成为共识，高速铁路对经济社会可持续发展的重要作用日益显现，欧洲其他发达国家也开始通过技术引进发展高速铁路，西班牙、比利时分别在 1991 年、1997 年开通了本国第一条高速铁路。其他国家（如荷兰、瑞典等）也制定了高速铁路发展规划。20 年内，日本、欧洲共新建高速铁路 3000 多千米，是 20 世纪 80 年代以前新建高速铁路的 3 倍多。

3. 快速发展阶段

该阶段从 21 世纪初开始，以中国高速铁路的快速崛起为标志。我国 2004 年制定的《中

长期铁路网规划》和 2008 年的《中长期铁路网规划（2008 年调整）》，构建了中国高速铁路发展的宏伟蓝图。该规划明确提出：到 2020 年全国铁路营业里程达到 12 万公里以上，其中客运专线达到 1.6 万公里以上，复线率和电化率分别达到 50%和 60%以上。基本形成布局合理、结构清晰、功能完善、衔接顺畅的铁路网络，运输能力满足国民经济和社会发展需要，主要技术装备达到或接近国际先进水平。重点规划“四纵四横”等客运专线，同时配套建成贵广、合福等高铁延伸线，形成触角丰富、路网通达、运力强大的中国高速铁路网络，以及经济发达和人口稠密地区城际客运系统，如图 0-3 所示。

其中，“四纵”包括：

（1）京沪客运专线（京沪高铁）：北京—天津—济南—徐州—蚌埠—南京—上海，全长约 1 318 km，设计速度为 350 km/h。另外亦有蚌埠—合肥支线（合蚌客运专线），设计速度为 300 km/h。

（2）京港客运专线（京港高铁）：北京—石家庄—郑州—武汉—长沙—广州—深圳—香港，由京石客运专线、石武客运专线、广深港客运专线组成，全长 2 260 km，连接华北、华中和华南地区，设计速度为 350 km/h。该线建成后将是世界上通车里程最长的高速铁路客运专线。

（3）京哈客运专线：北京—承德—沈阳—哈尔滨，并包含沈阳—大连的支线和盘锦—营口的联络线。该线由京沈客运专线、哈大客运专线、盘营客运专线组成，全长约 1 700 km，连接东北和关内地区，设计速度为 350 km/h。

（4）杭福深客运专线：杭州—宁波—温州—福州—厦门—深圳，由杭甬客运专线、甬台温铁路、温福铁路、福厦铁路及厦深铁路组成，全长约 1 600 km，连接长江、珠江三角洲和东南沿海地区。其中杭甬客运专线为 350 km/h 级别，其他线路为 200~250 km 时速的客货混跑线。远期将客货分行。

“四横”包括：

（1）徐兰客运专线：徐州—商丘—郑州—洛阳—西安—宝鸡—兰州，由郑徐客运专线、郑西客运专线、西宝客运专线、宝兰客运专线组成，全长约 1 400 km，连接西北和华东地区，全线速度为 350 km/h。

（2）沪昆客运专线：上海—杭州—南昌—长沙—贵阳—昆明，由沪杭客运专线、杭长客运专线、长昆客运专线组成，全长 2 080 km，连接华东、华中和西南地区，为 300/350 km/h 等级客运专线。

（3）青太客运专线：青岛—济南—石家庄—太原，由胶济客运专线、石济客运专线及石太客运专线组成，全长约 770 km，连接华东和华北地区，全线设计速度为 200~250 km/h。

（4）沪汉蓉客运专线：上海—南京—合肥—武汉—重庆—成都，上海至南京段与京沪客运专线、沪宁高速铁路共线，南京至成都段由合宁铁路、合武铁路、汉宜铁路、宜万铁路宜昌至利川段、渝利铁路、遂渝铁路和达成铁路成都至遂宁段构成，全长约 1 600 km，连接西南和华东地区。全线除了宜万铁路一段因穿越喀斯特地形和神农架地区，（近期）速度仅为 160 km/h 外，其余线路的速度均为 200~250 km/h。远期宜万铁路速度提升至 200 km/h，并新建 350 km/h 等级的成渝客运专线。

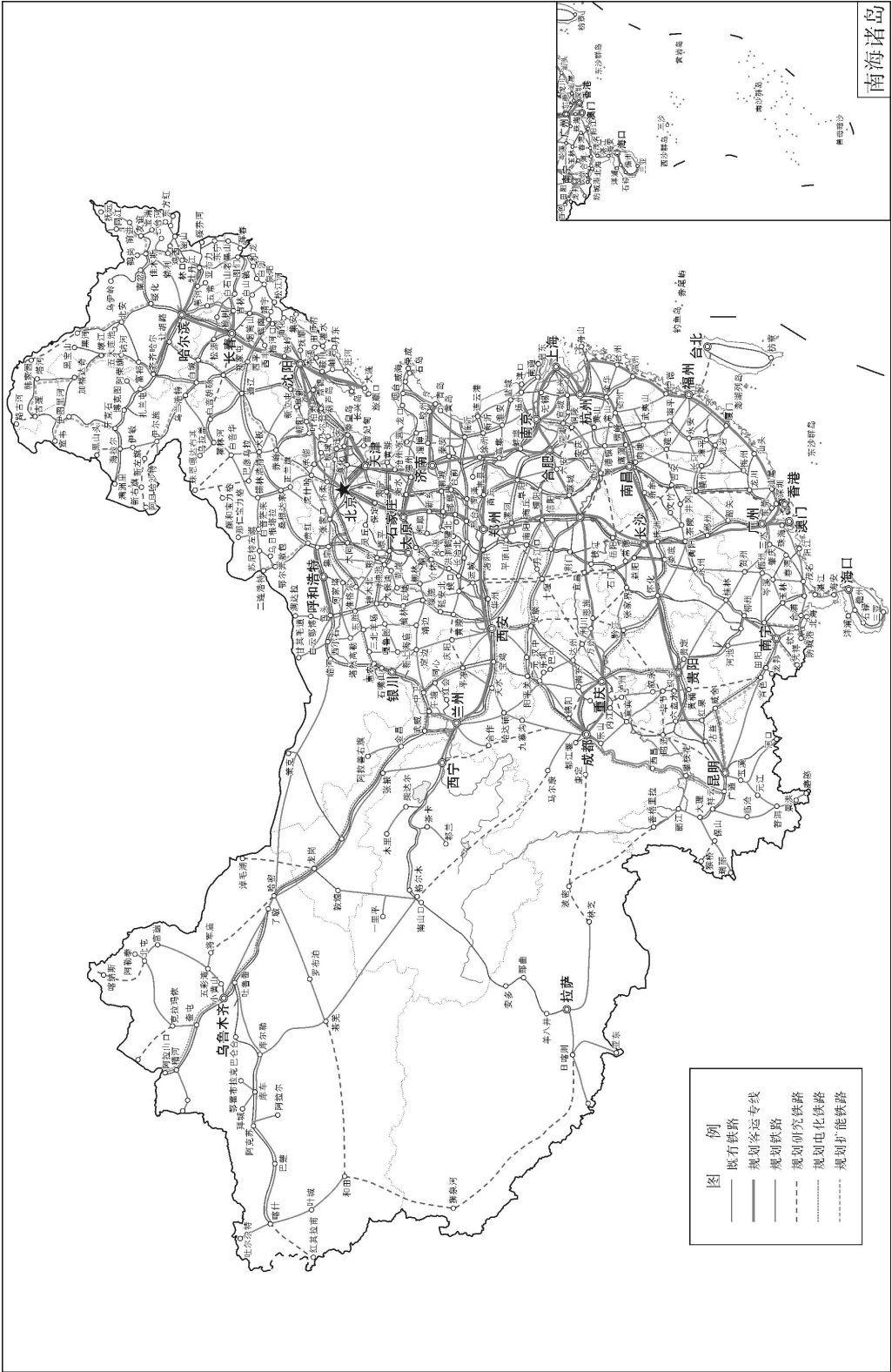


图 0-3 中长期铁路网规划（2008 年调整）

审图号：GS（2020）5635 号

与此同时，还规划建设南昌—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。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、关中城镇群、海峡西岸城镇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。此外，《规划》还旨在以扩大西部路网规模为主，形成西部铁路网骨架，完善中东部铁路网结构，提高铁路对地区经济发展的适应能力。

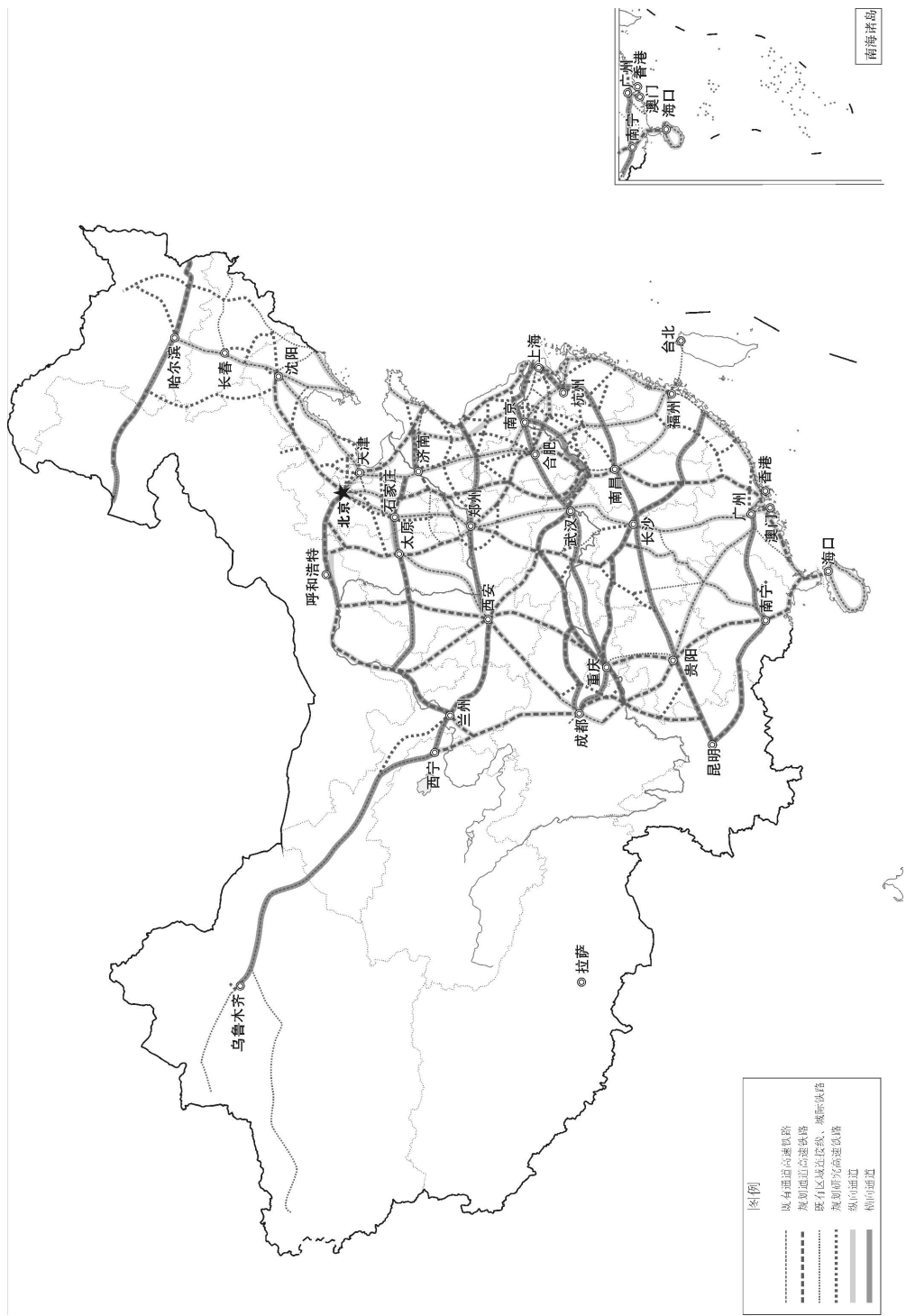
由于我国幅员辽阔，无论纵向还是横向线路，均跨越多个复杂的地理地貌单元和地质构造系统，使得高速铁路建设面临诸多复杂、特殊的重大工程地质问题的挑战、我国高铁修建技术所取得的成就是世所罕见的，很多领域也都取得了举世瞩目的成就。我国已投入运营的典型高速铁路的情况如表 0-1 所示。

表 0-1 中国典型高速铁路信息汇总

序号	名称	开通时间	长度/km	设计速度 / (km/h)	备注
1	京津城际铁路	2008-8-1	120	350	连接北京、天津；中国第一条具有自主知识产权、当时运营速度世界最快的高速铁路
2	京沪高速铁路	2011-6-30	1 318	350	运营速度 300 km/h；纵贯北京、天津、上海三大直辖市和冀鲁皖苏四省
3	京广高速铁路	2012-12-26	2 298	350	运营速度 300 km/h；途径北京、河北、河南、湖北、湖南、广东；世界上运营里程最长的高速铁路
4	哈大高速铁路	2012-12-1	921	350	连接哈尔滨和大连；夏季最高运营速度 300 km/h，冬季最高运营速度 200 km/h；世界上第一条新建高寒高速铁路
5	郑西高速铁路	2010-2-6	523	350	我国在湿陷性黄土区建设的首条高速铁路；“四纵四横”中“徐兰客运专线”的中段

相比于国外发达国家的高速铁路发展历程，我国仅经过较短时间，便已经成为世界上高速铁路系统技术最全、集成能力最强、运营里程最长、运行速度最高、在建规模最大的国家。中国高速铁路的快速发展，为世界高速铁路发展注入了强大动力，对其他国家产生了强大的示范作用，形成了中国高铁发展的世界效应，美国、波兰、俄罗斯、土耳其等国家纷纷加快实施本国的高速铁路发展规划，南美洲、亚洲的一些发展中国家，如阿根廷、巴西、伊朗、越南等，也纷纷加入高速铁路发展行列。

2016 年 6 月 29 日召开的国务院常务会议原则通过了《中长期铁路网规划》。根据该规划，我国计划到 2020 年，铁路网规模达到 15 万千米，其中高速铁路 3 万千米，覆盖 80%以上的大城市；到 2025 年，铁路网规模达到 17.5 万千米左右，其中高速铁路 3.8 万千米左右；网络覆盖进一步扩大，路网结构更加优化，骨干作用更加显著，更好发挥铁路对经济社会发展的保障作用。展望到 2030 年，基本实现内外互联互通、区际多路畅通、省会高铁连通、地市快速通达、县域基本覆盖。为满足快速增长的客运需求，优化拓展区域发展空间，在“四纵四横”高速铁路的基础上，增加客流支撑、标准适宜、发展需要的高速铁路，部分利用时速 200 公里铁路，形成以“八纵八横”主通道为骨架、区域连接线衔接、城际铁路补充的高速铁路网，实现省会城市高速铁路通达、区际之间高效便捷相连。我国高速铁路网中长期规划如图 0-4 所示。



审图号：GS（2020）5635号 图 0-4 中国高速铁路网中长期（2030年）规划示意

“八纵八横”高速铁路主通道具体信息如下：

(1) “八纵”通道。

沿海通道。大连（丹东）—秦皇岛—天津—东营—潍坊—青岛（烟台）—连云港—盐城—南通—上海—宁波—福州—厦门—深圳—湛江—北海（防城港）高速铁路（其中，青岛至盐城段利用青连、连盐铁路，南通至上海段利用沪通铁路），连接东部沿海地区，贯通京津冀、辽中南、山东半岛、东陇海、长三角、海峡西岸、珠三角、北部湾等城市群。

京沪通道。北京—天津—济南—南京—上海（杭州）高速铁路，包括南京—杭州、蚌埠—合肥—杭州高速铁路，同时通过北京—天津—东营—潍坊—临沂—淮安—扬州—南通—上海高速铁路，连接华北、华东地区，贯通京津冀、长三角等城市群。

京港台通道。一支线为北京—衡水—菏泽—商丘—阜阳—合肥（黄冈）—九江—南昌—赣州—深圳—香港（九龙）高速铁路；另一支线为合肥—福州—台北高速铁路，包括南昌—福州（莆田）铁路。连接华北、华中、华东、华南地区，贯通京津冀、长江中游、海峡西岸、珠三角等城市群。

京哈—京港澳通道。哈尔滨—长春—沈阳—北京—石家庄—郑州—武汉—长沙—广州—深圳—香港高速铁路，包括广州—珠海—澳门高速铁路。连接东北、华北、华中、华南、港澳地区，贯通哈长、辽中南、京津冀、中原、长江中游、珠三角等城市群。

呼南通道。呼和浩特—大同—太原—郑州—襄阳—常德—益阳—邵阳—永州—桂林—南宁高速铁路。连接华北、中原、华中、华南地区，贯通呼包鄂榆、山西中部、中原、长江中游、北部湾等城市群。

京昆通道。北京—石家庄—太原—西安—成都（重庆）—昆明高速铁路，包括北京—张家口—大同—太原高速铁路。连接华北、西北、西南地区，贯通京津冀、太原、关中平原、成渝、滇中等城市群。

包（银）海通道。包头—延安—西安—重庆—贵阳—南宁—湛江—海口（三亚）高速铁路，包括银川—西安以及海南环岛高速铁路。连接西北、西南、华南地区，贯通呼包鄂、宁夏沿黄、关中平原、成渝、黔中、北部湾等城市群。

兰（西）广通道。兰州（西宁）—成都（重庆）—贵阳—广州高速铁路。连接西北、西南、华南地区，贯通兰西、成渝、黔中、珠三角等城市群。

(2) “八横”通道。

绥满通道。绥芬河—牡丹江—哈尔滨—齐齐哈尔—海拉尔—满洲里高速铁路。连接黑龙江及蒙东地区。

京兰通道。北京—呼和浩特—银川—兰州高速铁路。连接华北、西北地区，贯通京津冀、呼包鄂、宁夏沿黄、兰西等城市群。

青银通道。青岛—济南—石家庄—太原—银川高速铁路（其中，绥德至银川段利用太中银铁路）。连接华东、华北、西北地区，贯通山东半岛、京津冀、太原、宁夏沿黄等城市群。

陆桥通道。连云港—徐州—郑州—西安—兰州—西宁—乌鲁木齐高速铁路。连接华东、华中、西北地区，贯通东陇海、中原、关中平原、兰西、天山北坡等城市群。

沿江通道。上海—南京—合肥—武汉—重庆—成都高速铁路，包括南京—安庆—九江—武汉—宜昌—重庆、万州—达州—遂宁—成都高速铁路（其中，成都至遂宁段利用达成铁路），连接华东、华中、西南地区，贯通长三角、长江中游、成渝等城市群。

沪昆通道。上海—杭州—南昌—长沙—贵阳—昆明高速铁路。连接华东、华中、西南地区，贯通长三角、长江中游、黔中、滇中等城市群。

厦渝通道。厦门—龙岩—赣州—长沙—常德—张家界—黔江—重庆高速铁路（其中，厦门至赣州段利用龙厦铁路、赣龙铁路，常德至黔江段利用黔张常铁路）。连接海峡西岸、中南、西南地区，贯通海峡西岸、长江中游、成渝等城市群。

广昆通道。广州—南宁—昆明高速铁路。连接华南、西南地区，贯通珠三角、北部湾、滇中等城市群。

在“八纵八横”主通道的基础上，规划建设高速铁路区域连接线，进一步完善路网、扩大覆盖。

东部地区。北京—唐山、天津—承德、日照—临沂—菏泽—兰考、上海—湖州、南通—苏州—嘉兴、杭州—温州、合肥—新沂、龙岩—梅州—龙川、梅州—汕头、广州—汕尾等铁路。

东北地区。齐齐哈尔—乌兰浩特—白城—通辽、佳木斯—牡丹江—敦化—通化—沈阳、赤峰和通辽至京沈高铁连接线、朝阳—盘锦等铁路。

中部地区。郑州—阜阳、郑州—濮阳—聊城—济南、黄冈—安庆—黄山、巴东—宜昌、宣城—绩溪、南昌—景德镇—黄山、石门—张家界—吉首—怀化等铁路。

西部地区。玉屏—铜仁—吉首、绵阳—遂宁—内江—自贡、昭通—六盘水、兰州—张掖、贵港—玉林等铁路。

0.2 高速铁路隧道技术要点

我国的高铁建设和高铁技术不仅是实施“一带一路”倡议的重要组成部分，而且作为“国家名片”之一，肩负着走出国门、服务全球的重任，其运营安全性关乎人民生命财产安全和国家声誉与重大利益，因此，对基础设施的可靠性和耐久性提出了高标准的技术要求。由于我国幅员辽阔，地形地貌和地质条件复杂多变，高速铁路建设过程中不得不修建大量的隧道工程。长度达数千米、数十千米的长大隧道也越来越多，中国已经成为名副其实的高速铁路大国、隧道大国。高速铁路隧道具有断面大、长隧道多、施工风险大和耐久性要求高等特点，往往成为控制全线工期的重、难点工程。

我国幅员辽阔，地形、地貌、地质复杂多样，高速铁路的建设标准和技术标准高，要求线路曲线半径大，在选线设计中会出现大量的隧道工程方案，如郑西高铁、宝兰客专、兰新铁路、西成客专等，具有技术难度大、施工风险高、施工环境艰苦等诸多难题，表 0-2 汇总了部分典型的高铁特长隧道工程。

表 0-2 我国部分高铁特长隧道（肖广智，2015）

序号	隧道名称	单/双线	长度/km	线名	备注
1	朱家山	双线	14.95	宝鸡至兰州客专	在建
2	笔架山	双线	14.751	宝鸡至兰州客专	在建
3	麦积山	双线	13.932	宝鸡至兰州客专	在建
4	吴家岔	双线	10.456	宝鸡至兰州客专	在建
5	古城岭	双线	10.365	宝鸡至兰州客专	在建
6	渭河	双线	10.016	宝鸡至兰州客专	在建
7	平安（左线）	单线	28.426	成都至兰州客专	在建
8	平安（右线）	单线	28.4	成都至兰州客专	在建
9	云屯堡	双线	22.923	成都至兰州客专	在建
10	跃龙门（右线）	单线	20.042	成都至兰州客专	在建
11	跃龙门（左线）	单线	19.981	成都至兰州客专	在建
12	柿子园	双线	14.069	成都至兰州客专	在建
13	金瓶岩	双线	12.773	成都至兰州客专	在建
14	大坂山（右线）	单线	15.918	兰州至新疆客专	运营
15	大坂山（左线）	单线	15.897	兰州至新疆客专	运营
16	高家山	双线	12.572	兰州至新疆客专	在建
17	福川	双线	10.649	兰州至新疆客专	在建
18	西秦岭（左线）	单线	28.236	兰州至重庆铁路	在建
19	西秦岭（右线）	单线	28.22	兰州至重庆铁路	在建
20	木寨岭（左线）	单线	19.095	兰州至重庆铁路	在建
21	木寨岭（右线）	单线	19.08	兰州至重庆铁路	在建
22	哈达铺（右线）	单线	16.6	兰州至重庆铁路	在建
23	哈达铺（左线）	单线	16.59	兰州至重庆铁路	在建
24	黑山	双线	15.748	兰州至重庆铁路	在建
25	天池坪	双线	14.528	兰州至重庆铁路	在建
26	胡麻岭	双线	13.608	兰州至重庆铁路	在建
27	化马	双线	12.58	兰州至重庆铁路	在建

续表

序号	隧道名称	单/双线	长度/km	线名	备注
28	枫相院	双线	12.129	兰州至重庆铁路	在建
29	龙池山	双线	11.34	兰州至重庆铁路	在建
30	太行山上行	单线	27.848	石家庄至太原客专	运营
31	太行山下行	单线	27.839	石家庄至太原客专	运营
32	秦岭天华山	双线	15.989	西安至成都客专	在建
33	老安山	双线	15.161	西安至成都客专	在建
34	大秦岭	双线	14.846	西安至成都客专	在建
35	得利	双线	14.167	西安至成都客专	在建
36	福仁山	双线	13.102	西安至成都客专	在建
37	清凉山	双线	12.553	西安至成都客专	在建
38	何家梁	双线	12.406	西安至成都客专	在建
39	黄家梁	双线	11.618	西安至成都客专	在建

在过去数十年建设运营管理的过程中，我国广大的科技管理人员以安全质量为核心，不但开拓创新，解决了一大批复杂难题，而且丰富了高铁隧道工程的内容，积累了宝贵的科研、设计、施工与运营管理方面的经验。

相比于普通铁路隧道，高速铁路的“隧道效应”问题更为突出和关键。隧道效应包括隧道内压力变化和隧道出口微气压波变化，隧道出口处的微气压波影响隧道出口周围区域的环境友好性，与车体横截面积、隧道横截面积、列车头车和尾车形状、隧道长度、轨道类型等有关。隧道内压力变化影响车体的结构强度和乘客舒适性，与车体横截面积、隧道横截面积、列车长度、隧道长度等有关。因此，高速铁路隧道在规划、设计和施工方面都有更高的要求，其中的关键问题就是列车高速进出隧道时产生的空气动力学效应（瞬变压力、微压波、行车阻力、列车风等）对列车性能、行车安全性、旅客舒适度与洞口附近环境等产生的不利影响。为了降低隧道的空气动力效应，增大隧道有效净空面积是较好的结构工程措施，也是当前世界各国高速铁路发展的总趋势。

0.2.1 空气动力学效应

当列车进入隧道时，原来占据着空间的空气被排开。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隧道外那样及时、顺畅地沿列车两侧和上部形成绕流。于是，列车前方的空气受压缩，列车后方则形成一定的负压。这就产生了一个压力波动过程，这种压力波动又以声速传播至隧道口，形成反射波—Mach波（马赫波），并回传、叠加，诱发对运营产生一系列负面影响的空气动力学效应。这些效应主要是：由于瞬变压力，造成旅

客不适，并对铁路员工和车辆产生危害；高速列车进入隧道时，会在隧道出口产生微气压波，引起爆破噪声并危及洞口建筑物，如图 0-5；行车阻力加大，引起对列车动力和能耗的特殊要求；列车风加剧，影响在隧道中待避的作业人员；其他，如隧道内热量的积聚、空气动力学噪声等。

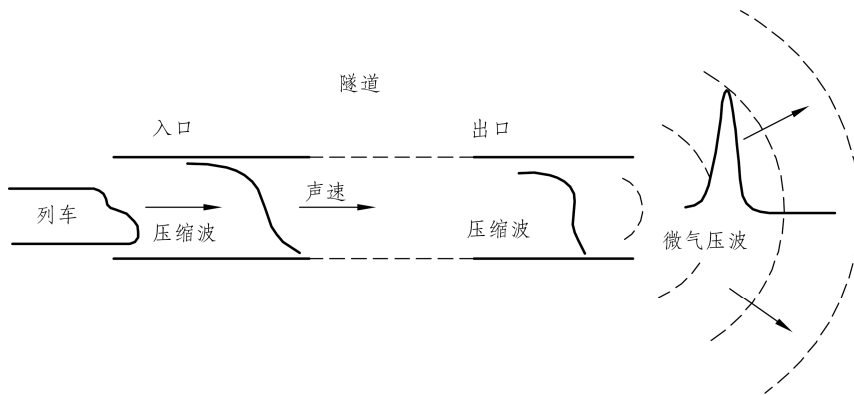


图 0-5 隧道微气压波的产生过程

高速铁路进入隧道的空气动力学效应受多种因素影响，包括：

(1) 机车车辆方面：行车速度、车头和车尾形状、列车横断面、列车长度、列车外表面形状和粗糙度、车辆的密封性等。例如，计算结果表明，车辆对压力波动的影响可以归结为车内压力波动相应于车外压力的“缓解”和“滞后”。德国在 Einmalberg 隧道实测的结果证实了这一点，如图 0-6 所示。

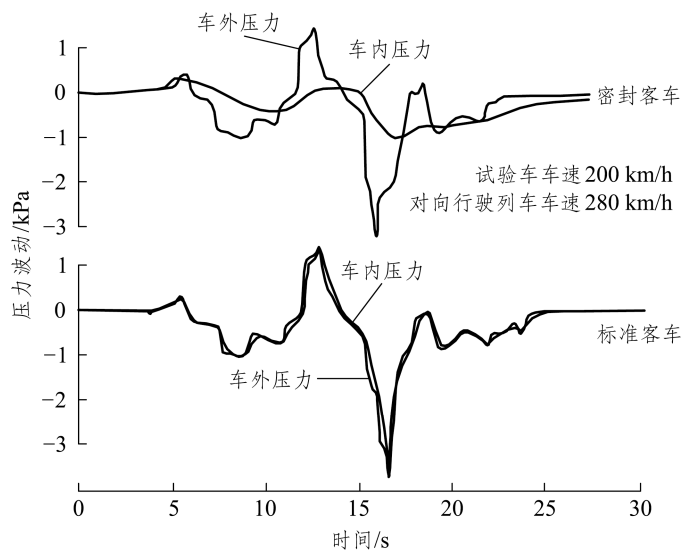


图 0-6 德国 Einmalberg 隧道实测结果

(2) 隧道方面：隧道净空断面积，阻塞比，是双线单洞还是单线双洞，隧道壁面的粗糙度，洞口及辅助结构物形式，竖井、斜井和横洞，道床类型，等。

(3) 其他方面：列车在隧道中的交会等。

因此，在高速铁路设计时，应从车辆及隧道两方面采取措施，以减缓空气动力学效应。隧道工程设计必须考虑列车进入隧道诱发的空气动力学效应对行车、旅客舒适度、车辆结构强度和环境等方面的不利影响。

0.2.2 衬砌内轮廓

确定隧道衬砌内轮廓应考虑下列因素：① 隧道建筑界限；② 股道数及线间距；③ 隧道设备空间；④ 空气动力学效应；⑤ 轨道结构形式及其运营维护方式。

从世界高速铁路修建史看，为了消减空气动力学效应所采用的措施大致可分为两类：一是“小断面”方式，以日本新干线隧道为代表，其解决方案是控制隧道断面积，提高运营车辆的密封性能，达到节约工程投资的目的；二是“大断面”方式，以德国高速铁路隧道为代表，主要通过适当加大隧道断面净空面积的方法，缓解高速铁路隧道的空气动力学效应。

我国《高速铁路设计规范》(TB 10621—2014)规定隧道净空有效面积应符合下列规定：

(1) 设计行车速度目标值为 300 km/h、350 km/h 时，双线隧道不应小于 100 m²，单线隧道不应小于 70 m²。

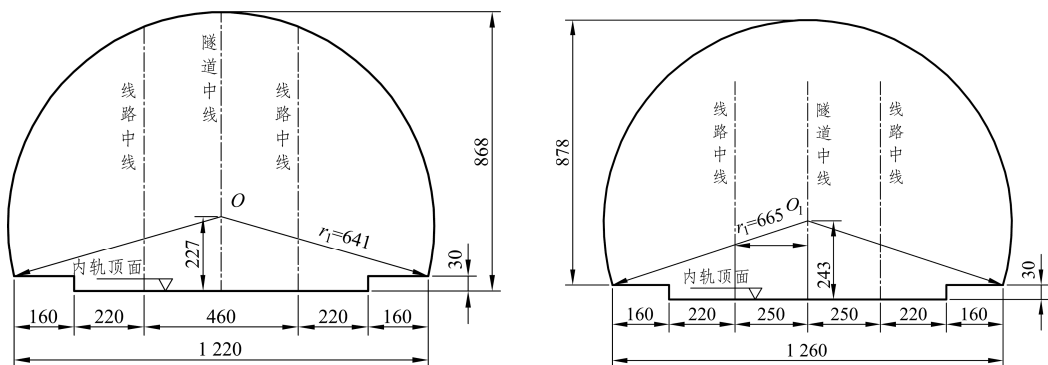
(2) 设计行车速度目标值为 250 km/h 时，双线隧道不应小于 90 m²，单线隧道不应小于 58 m²。

隧道断面不仅要满足空气动力学特性的要求，还要满足在隧道中列车高速运行安全的要求，以及救援通道等设施的空間要求。我国《高速铁路设计规范》中要求隧道内应设置救援通道和安全空间，并应符合下列规定：

① 救援通道：隧道内应设置贯通的救援通道，用于自救或外部救援。单线隧道单侧设置，双线隧道双侧设置，救援通道距线路中线不应小于 2.3 m。救援通道的宽度不宜小于 1.5 m，在装设专业设施处，宽度可适当减少；高度不应小于 2.2 m。救援通道走行面应不低于轨面，走行面应平整、铺设稳固。

② 安全空间：安全空间应设在距线路中心线 3.0 m 以外，单线隧道在救援通道一侧设置，多线隧道在两侧设置。安全区间宽度不小于 0.8 m，高度不应小于 2.2 m。

双线、单线隧道内衬砌轮廓如图 0-7 所示。



(a) 250 km/h 双线隧道内轮廓

(b) 300 km/h、350 km/h 双线隧道内轮廓

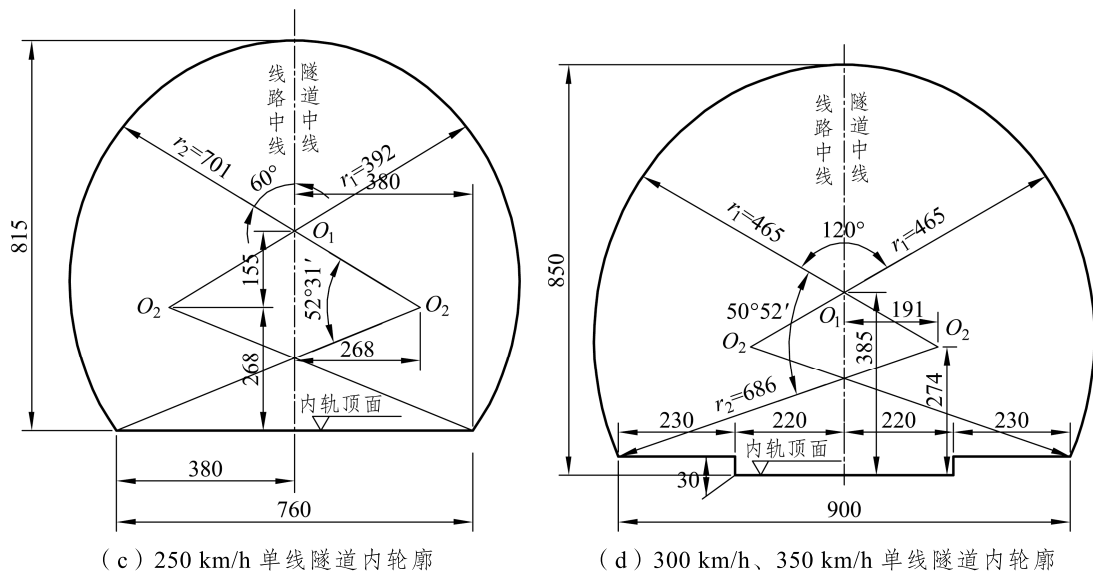


图 0-7 我国高铁隧道内轮廓 (单位: cm)

0.2.3 衬砌结构形式

高速铁路隧道的横断面较大, 受力比较复杂, 且列车运行速度较高, 隧道维修有一定的时间限制, 复合式衬砌比喷锚衬砌安全, 且防排水性能较好。而喷锚衬砌耐久性和防水性能均存在一些问题, 因此我国《高速铁路设计规范》规定暗挖隧道应采用复合式衬砌, 明挖隧道应采用整体式衬砌。初期支护参数考虑支护结构耐久性因素, 喷射混凝土的厚度按满足钢架保护层设计; 同时喷射混凝土中掺加合成纤维, 既可减少回弹量, 也可减少喷射混凝土硬化过程中的早期裂缝, 有利于防水与耐久性。

考虑到大断面隧道的受力情况不利, I、II级围岩隧道衬砌宜采用曲墙加底板的结构形式, III~IV级围岩隧道衬砌应采用曲墙有仰拱的形式。隧道衬砌内轮廓宜采用圆形断面, 单线隧道可采用三心圆断面, 边墙与仰拱应圆顺连接。

隧底结构由于在长期列车动载作用及地下水侵蚀的影响下极易产生破坏, 从而引起基底沉陷、道床翻浆冒泥等病害。这些病害不但增加养护维修工作量, 而且严重影响运营安全, 尤其是高速铁路对隧道底部的强度较普通铁路要求更高, 且高速铁路隧道的断面跨度较大, 因此高铁隧道设计突出“加强基底”和注重“刚度变化”的原则。加强基底设计, 要求隧道衬砌混凝土强度等级不应低于 C30, 钢筋混凝土强度等级不应低于 C35。III~V级围岩衬砌均采用有仰拱结构, 且仰拱厚度较拱墙大; II级围岩隧道底板采用钢筋混凝土结构, 部分地下水发育地段也采用有仰拱结构。I、II级围岩隧道衬砌底板厚度应不小于 30 cm, 混凝土强度等级不应低于 C35, 并应配置双层钢筋。仰拱填充混凝土强度等级不低于 C20。隧道二次衬砌 IV~VI级围岩地段宜采用钢筋混凝土; I~III级围岩地段宜采用混凝土, 并可掺加一定比例的纤维。

0.2.4 洞口形式和缓冲结构

相对于传统的铁路隧道挡墙式洞门，高速铁路隧道洞口结构的设计，应本着简洁大方、美观实用、保护环境的原则，结合地形、地质和环境条件，以不刷坡或少刷坡施作的、突出山体的切削式洞口为主要建筑形式。隧道洞门优先选用斜切式和帽檐式结构形式（图 0-8），综合考虑景观要求，贯彻执行“早进晚出”的设计原则。除个别需要的工点（靠近城市、旅游景区等）外，高铁隧道洞口一般不做更多的建筑装饰，体现自然美的环境意识，同时考虑有效缓解空气动力学效应等因素。

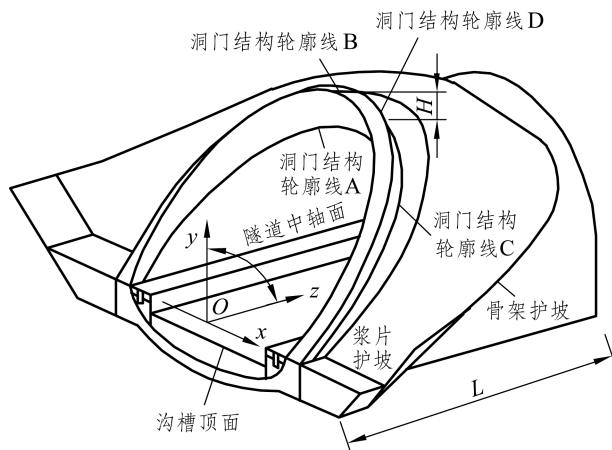


图 0-8 斜切式洞门侧视轮廓（龚彦峰，2010）

一般洞口不设缓冲结构。当洞口有建筑物或特殊环境要求时，宜设置洞口缓冲结构，并符合表 0-3 的要求。隧道洞口缓冲结构设置应考虑列车类型及长度、隧道长度及隧道净空有效面积、隧道内轨道类型、隧道洞口附近地形和居民情况等因素。

表 0-3 洞口缓冲结构设置要求

建筑物至洞口距离	建筑物有无特殊环境要求	基准点	微气压波峰值
<50 m	有	建筑物	按要求
	无		$\leq 20\text{Pa}$
$\geq 50\text{ m}$	有	距洞口 20 m 处	$<50\text{Pa}$

0.2.5 结构防排水

根据我国的实践，隧道渗漏水的危害巨大，因此高速铁路隧道防排水采用国家标准《地下工程防水技术规范》（GB 50108—2008）的一级防水等级的规定，即：隧道内不允许渗水，衬砌结构表面无湿渍。隧道防排水设计方案应结合隧道洞身水环境要求和水文地质条件确定。隧道防排水应采取“防、堵、截、排，因地制宜，综合治理”的原则。地下水环境保护要求高、埋深浅的隧道应采用全断面封闭防水。初期支护与二次衬砌之间铺设防水板，防水

板厚度不得小于 1.5 mm。一般应设置双侧水沟和中心水沟，中心水沟与双侧水沟相连通。隧道衬砌背后应设置与排水沟连通的环、纵向排水盲管，环、纵向排水盲管应直接引水入侧沟。

0.2.6 防灾疏散和救援方式

高速铁路隧道防灾救援设计应遵循以下基本原则：

(1) 针对高速铁路的运营特点，消防设计应贯彻“以防为主、以消为辅、防消结合、立足自救”的消防工作方针，要充分体现“以人为本”的设计理念。

(2) 针对高速铁路隧道火灾发生的特点，要采取经济可靠的防火措施和消防手段，做到安全可靠、经济合理、使用维修方便。

(3) 当列车在隧道内发生火灾，凡能继续运行时，均应遵循“先将列车拉出洞外再进行列车解体及火灾事故处理”的基本原则。一旦列车失去动力不能运行或因隧道太长无法及时拉出洞外时，必须考虑在洞内实施快速疏散和消防救援。

(4) 隧道内应设置贯通的救援通道和必要的紧急出口。

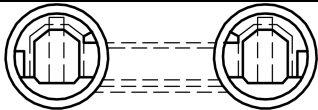

(5) 总长大于 20 km 的特长隧道或隧道群的防灾救援方案应优先采用“定点”模式，“定点”附近应设置紧急出口。

(6) 在需要防灾救援的隧道内，应设置必要的监控系统、防灾报警系统、消防灭火系统、防排烟系统等。

0.2.7 单洞双线和双洞单线断面的比较

在通常情况下，高速铁路隧道考虑空气动力学的特性，都采用单洞双线断面，较少采用双洞单线断面。但在某些情况下，如隧道很长（长度大于 10 km），同时考虑维修保养条件及防灾的需求时，宜采用双洞单线断面。表 0-4 为单洞双线和双洞单线断面的比较。

表 0-4 单洞双线和双洞单线断面的比较

比较项目	双洞单线断面	单洞双线断面
图 示		
空气动力学影响	相对大	相对小
逃生疏散	方便	满足要求
养护维修	一样	一样
工程施工难度	相对容易	较大
环境影响	相对大	相对小
投资比较	大 20% ~ 40%	小

1.1 隧道的基本概念

高速铁路是铁路现代化的重要标志，是一个具有国际性和时代性的概念。国际上目前将列车最高运行速度大于等于 200 km/h 的铁路称为高速铁路，我国把新建最高运行速度不小于 250 km/h 和改建既有线最高运行速度不小于 200 km/h 的铁路称为高速铁路。

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。

高速铁路行车速度高，对基础设施的建设标准要求高，线路最小曲线半径较大，所以高速铁路的选线设计，必然出现大量隧道工程。高速铁路隧道与一般铁路隧道相比有较多的不同，主要是由于速度高引起的列车空气动力学相关的问题，同时引起相关的设计隧道的洞口形式、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。

相对于普通铁路隧道，《高速铁路设计规范》(TB 10621—2014)规定，隧道的设计除须遵照现行《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2016)的规定外，还应考虑下列因素：

- (1) 隧道内形成的瞬变压力对乘员舒适度及相关车辆结构的影响。
- (2) 空气阻力的增大对行车的影响。
- (3) 隧道口所形成的微压波对环境的影响。
- (4) 列车风对隧道内作业人员待避条件的影响。

1.2 隧道横断面

相对于普通铁路隧道，《高速铁路设计规范》(TB 10621—2014)规定：

(1) 单线隧道内轨顶面以上净空面积不应小于 50 m²；双线隧道内轨顶面以上净空面积不应小于 80 m²。

(2) 曲线上的隧道，内轮廓可不考虑曲线加宽，但应验算控制点或计算点是否满足宽度要求。

我国客运专线隧道的建筑限界根据不同的速度目标值、不同种类的货运界限组合，共分为速度目标值 200 km/h 客运专线兼顾普通货物运输和双层集装箱运输的单、双线隧道建筑界