

列车运行安全行为 建模与形式化 技术研究

陈 永 胡晓辉 著

Research on Safety Behavior Modeling and
Formal Technology of Train Operation

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

列车运行安全行为建模与 形式化技术研究

陈 永 胡晓辉 著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

随着我国铁路事业的快速发展,对列车运行控制系统安全性的研究已成为目前铁路运输系统的重要研究问题。形式化方法为设计高可信系统提供了重要途径。本书采用形式化理论、复杂系统建模等理论对列车运行过程中安全关键因素,如无线通信网络性能、计算机联锁控制系统、多列车安全追踪等问题进行了深入研究。

本书取材新颖,深入浅出地介绍了列车安全运行高可信形式化理论体系,体现了列车运行安全行为建模与形式化技术研究方面的最新理论和进展。通过大量的案例,配以实现过程,使读者能够快速掌握形式化理论和实现方法。本书适合作为交通运输、计算机科学、自动控制、系统工程等专业高年级本科生教材、也可作为研究生及相关学科领域工程技术研究人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

列车运行安全行为建模与形式化技术研究 / 陈永,
胡晓辉著. —北京:中国铁道出版社, 2017. 1
ISBN 978-7-113-22579-7

I. ①列… II. ①陈… ②胡… III. ①列车—运行—
控制系统—安全行为—系统建模—研究 IV. ①U284.48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 291406 号

书 名: 列车运行安全行为建模与形式化技术研究
作 者: 陈 永 胡晓辉 著

策 划: 周海燕
责任编辑: 周海燕 徐盼欣
封面设计: 刘 颖
封面制作: 白 雪
责任校对: 汤淑梅
责任印制: 郭向伟

读者热线: (010) 63550836

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: [http:// www.51eds.com](http://www.51eds.com)

印 刷: 虎彩印艺股份有限公司

版 次: 2017 年 1 月第 1 版

2017 年 1 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 17.75 字数: 368 千

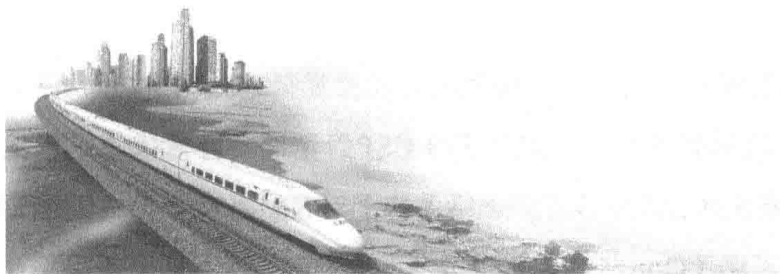
书 号: ISBN 978-7-113-22579-7

定 价: 45.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010) 63550836

打击盗版举报电话:(010) 51873659



前言

铁路作为国民经济的大动脉、国家重要基础设施和大众化交通工具,在我国经济社会发展中起着举足轻重的作用。发展高速铁路,建成快速铁路网,满足大流量、高密度、快速便捷的客运需求,是我国铁路建设的基本任务。随着列车速度的不断提高以及铁路区间上列车车次的不断增多,建立高可信的列车控制系统和高效低能耗的行车组织调度优化控制系统的必要性和迫切性越来越突出。列车运行控制系统是一个具有安全苛求性的复杂系统,其每一个环节都需要精确的安全分析和验证。形式化方法提供了设计高可信系统的一条重要途径,它用数学方法表达系统的规范或需求,并根据数学理论实现对系统性质的定量与定性分析。采用形式化的方法可以在很大程度上减少由于高速铁路控制系统开发人员造成的设计故障,是消除规范的歧义性、非协调性的关键手段,对保证列车安全运行具有重要的意义。

本书针对列车运行过程中安全行为进行建模与分析,以列车安全运行行为为研究对象,对无线通信GSM-R网络的高可信网络性能分析、计算机联锁系统可靠性验证、列车安全距离控制、多列车追踪运行交通流特性、故障降级列车运行场景等问题进行了阐述。在研究的过程中,重点论述了面向未来CTCS-4级列控苛求系统形式化验证技术及方法,包括多智能体理论、着色Petri网、随机Petri网、元胞自动机、细胞膜计算、Event-B、CSP等方法在列车控制苛求系统设计中的应用。研究成果对于保障高速铁路规范建设及安全运行控制,为高速铁路提供基础理论研究,都具有十分重要的意义。

本书涉及列车运行安全行为的关键因素,全书分为12章,内容新颖,案例翔实,不仅能体现列车控制系统形式化理论的知识性,还能体现实践性、前瞻性。本书以理论、设计、验证分析为主线,做到理论和设计实现相结合,同时注重各专业、学科间知识的融合交叉性,对列车控制安全因素的主要影响因素进行分析研究。第1章概述了列车安全运行研究的背景及研究意义。第2章主要对形式化理论与复杂系统理论进

行了介绍。第3章讲解了交通系统建模的一般方法和流程及微观交通流理论。第4章介绍了CTCS-4级车地通信机制的形式化研究,包括基于CSP的车地实时通信协议形式化建模与验证及通信协议故障注入分析。第5章介绍了基于SPN的高可信无线通信形式化建模与分析,对GSM-R实现了QoS定量与定性分析。第6章介绍了基于细胞膜计算的无线通信并行形式化建模。第7章利用Event-B方法对车站联锁控制系统安全性和控制功能进行建模和验证。第8章介绍了基于Event-B方法的高速列车安全距离控制形式化验证。第9章介绍了平直线路高密度列车追踪交通流特性。第10章详细介绍了线路弯道环境下列车交通流特性形式化建模。第11章介绍了采用MAS理论和着色Petri网混合建模方法的列车控制系统等级转换运营场景分析。第12章对等级转换的场景、车载设备故障导致降级运行、应答器发生故障降级场景采用随机Petri建模工具分别建模并进行了验证。高密度列车追踪安全运行是未来CTCS-4下行车控制的重点和难点问题。本书通过总结作者的科研成果,尝试为中国列车控制系统安全行车过程中所面临的难点问题提供一种新的解决途径。本书概念清晰、层次分明、结构清晰,内容讲解以“建模验证分析”为特色,同时注重理论联系实际,力求通俗易懂,并对读者富有启发性,进而使读者能够快速掌握列车控制系统安全形式化分析中大量基础知识和相关形式化设计方法。

本书对从事智能交通、系统仿真、复杂系统、自动控制等领域理论及应用研究的科技人员有较强的参考价值。本书适合作为高等学校交通运输、计算机科学、自动控制、系统工程等专业高年级本科生教材,也可作为研究生及相关学科领域工程技术人员参考用书。

本书由陈永、胡晓辉著。其中,第7、8、12章由胡晓辉撰写;其余章节由陈永撰写。硕士研究生张甜甜、贺红参与了本书的校对工作。

作者及其团队多年来致力于从事智能交通、智能计算、系统仿真等形式化理论的研究及应用工作,本书的编写得到了国家自然科学基金(61163009)、兰州交通大学青年科学基金项目(2011001)的支持。本书是国家自然科学基金项目“高速行车条件下智能分布式实时监控形式化理论研究”科研成果的集中体现。项目执行期内,培养的硕士研究生孙苗强、郑峰、何晓庆、田淇元、权庆乐、雷洋、寻璐、马俊、王振强、肖知屹、韩佳芮、刘全、王元鹏、Philavanh Phonviphone等为本书的撰写工作给

与了大力支持，本书涉及的研究工作是在作者及其团队共同努力下完成的。

此外，在本书的撰写过程中，作者参考了大量的文献资料，在此向相关作者致以谢意。本书撰写过程中得到了中国铁道出版社、兰州交通大学有关部门的帮助和支持，在此一并表示感谢。

鉴于编者的水平有限，书中疏漏及不妥之处在所难免，欢迎读者指正。

作 者
2016年9月



目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 列车运行安全背景及意义	1
1.2 基于无线通信的列车运行控制系统	5
1.2.1 列车运行控制系统构成与分类	5
1.2.2 CTCS列控系统	7
1.2.3 GSM-R铁路无线通信系统	10
1.3 列车控制形式化研究现状	11
1.4 本书内容与结构安排	14
第 2 章 形式化建模理论与复杂系统理论	17
2.1 建模基本理论	17
2.1.1 系统、模型、仿真的基本概念	17
2.1.2 系统模型的分类	18
2.1.3 建模方法的分类	19
2.1.4 建模的一般原则	19
2.1.5 建模步骤的划分	19
2.2 形式化理论	21
2.2.1 形式化概念	21
2.2.2 形式化分类	22
2.2.3 形式化验证方法	23
2.2.4 常见的形式化建模方法	24
2.3 复杂系统建模理论	25
2.3.1 复杂系统	25

2.3.2	复杂适应系统理论	26
2.3.3	分布式人工智能	28
2.3.4	多智能体基础理论	28
2.4	Event-B方法及Rodin平台	30
2.4.1	Event-B基本结构	30
2.4.2	Event-B数学体系	32
2.4.3	Event-B模型精化和证明义务	35
2.4.4	RODIN平台	37
	本章小结	38
第3章	交通系统建模	39
3.1	交通系统仿真	39
3.1.1	交通系统仿真基本概念	39
3.1.2	系统分类与系统模型	40
3.2	交通流理论	40
3.2.1	交通流理论分类	41
3.2.2	交通流理论参数	41
3.2.3	交通流主要研究内容	44
3.3	交通多分辨率建模方法	45
3.3.1	宏观交通建模仿真	45
3.3.2	微观交通建模仿真	45
3.3.3	中观交通建模仿真	45
	本章小结	46
第4章	CTCS-4级车地通信机制的形式化研究	47
4.1	通信顺序进程形式化理论基础	47
4.1.1	通信与递归	48
4.1.2	CSP的运算符	49
4.1.3	过程行为	49

4.1.4	进程的迹	49
4.1.5	CSP模型检测工具	50
4.1.6	故障发散检测器FDR	50
4.2	基于MAS的RBC切换场景描述及车地通信信息交互流的实现	52
4.2.1	列控系统多Agent系统抽象	53
4.2.2	基于CPN的混合Agent模型	54
4.2.3	MAS模型形式化定义	55
4.2.4	基于CORBA的发布订阅模式的车地通信	56
4.3	基于CSP的车地实时通信协议形式化建模与验证	58
4.3.1	MAS系统通信协议形式化验证框架	58
4.3.2	列控系统实时通信协议的形式化建模	59
4.3.3	CSP语言对车地实时通信协议建模	60
4.3.4	Casper+FDR对实时通信协议验证	64
4.4	注入故障的Agent通信模型	65
4.4.1	故障导向安全性功能分析与验证	67
4.4.2	列控系统消息处理实时性分析	68
4.4.3	通信时效性分析	69
	本章小结	70

第5章 基于SPN的高可信无线通信形式化建模与分析

71

5.1	Petri网形式化方法	72
5.1.1	Petri网的数学定义	73
5.1.2	SPN基本概念	74
5.1.3	SPN变迁激活规则	75
5.1.4	Petri网建模事件类型	76
5.1.5	Petri网基本性质	78
5.2	无线通信系统	79
5.2.1	GSM-R描述	79

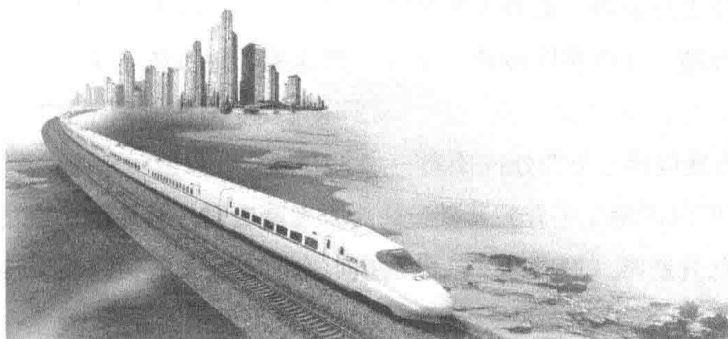
5.2.2	列车控制数据传输业务QoS指标	80
5.3	高可信无线通信SPN模型	82
5.4	通信机制SPN模型	83
5.5	通信故障恢复SPN模型	84
5.6	仿真实验	88
5.6.1	软件仿真工具TimeNET	88
5.6.2	扩展确定性随机Petri网理论	89
5.6.3	MOSEL编程语法	90
5.6.4	仿真分析	91
	本章小结	94
第6章	基于细胞膜计算的无线通信并行形式化建模	95
6.1	细胞膜的化学组成和结构	96
6.1.1	细胞膜组成结构	96
6.1.2	物质的跨膜运输	97
6.2	膜计算基本概念与基础知识	99
6.2.1	细胞膜计算方法	99
6.2.2	马尔科夫过程	101
6.3	基于生化反应速率的膜计算方法	101
6.4	细胞膜计算方法在无线通信系统中的仿真应用	102
6.4.1	ETCS无线通信系统	102
6.4.2	ETCS无线通信系统膜计算模型建立	103
6.4.3	仿真分析	105
	本章小结	108
第7章	车站进路联锁控制逻辑的形式化研究	109
7.1	联锁的安全规范	109
7.1.1	进路控制安全规范	111
7.1.2	信号控制安全规范	116

7.1.3	道岔控制安全规范	118
7.2	基于Event-B的联锁安全规范的描述和验证	118
7.2.1	联锁规范形式化描述及精化策略	118
7.2.2	车站进路联锁逻辑的Event-B初始模型	122
7.2.3	车站进路控制的Event-B建模分析	125
7.2.4	车站进路联锁控制的Event-B模型精化	127
7.2.5	车站进路联锁Event-B验证	129
7.3	基于MAS和Event-B的分布式联锁安全的描述	132
7.3.1	联锁系统MAS结构	132
7.3.2	Multi-Agent联锁层的安全规范描述	133
7.3.3	Event-B的模型规范	134
7.3.4	精化	136
	本章小结	137
第8章	列车安全距离控制形式化建模与验证	138
8.1	列车自动防护原理	139
8.1.1	列车自动防护系统的基本概念	139
8.1.2	列车自动防护系统的分类	139
8.2	多列车安全距离控制模型	140
8.3	Event-B描述的列车安全距离模型	141
8.4	模型的验证	143
8.4.1	MTCS_0引入反应阶段	143
8.4.2	MTCS_1细化反应阶段	144
8.4.3	MTCS_2实现反应阶段	145
8.4.4	MTCS_3引入决策阶段	146
8.4.5	MTCS_4实现决策法则	147
	本章小结	148

第 9 章 高可信无线通信下平直线路多列车追踪特性研究	149
9.1 平直线路列车追踪运行交通流仿真	150
9.1.1 平直线路下列车追踪MAS交通流模型结构	150
9.1.2 列车追踪运行MAS形式化定义	151
9.1.3 数值仿真与模拟	153
9.2 列车追踪交通流能耗分析	157
9.2.1 铁路能耗基本构成	157
9.2.2 单列车受力与能耗构成	157
9.2.3 快照系统概念及定义	160
9.2.4 模型建立	162
9.2.5 数值模拟与仿真分析	165
本章小结	166
第 10 章 线路弯道环境下多列车追踪交通流特性形式化建模	167
10.1 元胞自动机理论基础	168
10.1.1 自动机简介	168
10.1.2 元胞自动机的定义	169
10.1.3 元胞自动机的构成	170
10.1.4 元胞自动机的特征	173
10.1.5 经典元胞自动机模型	174
10.2 弯道线路模型	178
10.3 线路弯道安全速度	178
10.4 模型建立	180
10.4.1 模型结构	182
10.4.2 演化规则	183
10.5 数值模拟与仿真分析	185
10.5.1 线路曲线半径对交通流的影响	185
10.5.2 线路曲线外轨超高对交通流的影响	189

10.5.3 线路弯道长度对交通流的影响	190
本章小结	191
第 11 章 列控系统等级转换运营场景形式化研究	192
11.1 CTCS-3级列控系统运营场景	192
11.2 列控系统等级转换场景	193
11.2.1 地面设备	194
11.2.2 列控系统等级转换过程	195
11.3 基于MAS的场景分析	196
11.3.1 列控系统等级转换场景MAS抽象模型	196
11.3.2 车-地主体Agent设计	197
11.4 列控系统等级转换运营场景CPN建模	199
11.4.1 场景顶层模型设计	199
11.4.2 列车Agent内部模型设计	201
11.4.3 RBC Agent内部模型设计	210
11.5 仿真分析	217
本章小结	219
第 12 章 列控系统降级场景建模与仿真	220
12.1 正常运行时列控系统降级情况的建模与仿真	220
12.1.1 正常运行时列控系统降级场景介绍	221
12.1.2 正常运行时列控系统降级情况场景的建模	222
12.1.3 正常运行时列控系统降级情况场景仿真分析	225
12.2 车载设备故障导致降级运行建模与仿真	227
12.2.1 车载设备故障导致降级场景的介绍	227
12.2.2 控车设备故障分析	228
12.2.3 车载设备故障导致降级场景分析	228
12.2.4 车载设备故障导致降级模型设计	229
12.2.5 仿真分析	231

12.3	应答器故障导致降级列控系统的建模与仿真	234
12.3.1	应答器故障导致列控系统降级场景介绍	234
12.3.2	应答器故障因素分析	234
12.3.3	应答器故障导致的等级转换场景分析	234
12.3.4	应答设备故障降级模型设计	236
12.3.5	仿真分析	238
	本章小结	240
附录 A	IEC 61508安全标准介绍	242
附录 B	高速铁路设计术语和符号	247
附录 C	《铁路技术管理规程》（高速铁路部分）有关线路、桥梁及 隧道部分摘录	252
附录 D	《铁路技术管理规程》（高速铁路部分）有关车站及枢纽部分摘录	257
参考文献		259



第1章

绪论

1.1 列车运行安全背景及意义

铁路作为国民经济的大动脉、国家重要基础设施和大众化交通工具，在我国经济社会发展中起着举足轻重的作用^[1]。发展高速铁路，建成快速铁路网，满足大流量、高密度、快速便捷的客运需求，是我国铁路建设的基本任务。高速铁路（High Speed Rail）是一个高科技的集成系统，除了需要列车的营运速度达到一定标准外，铁路车辆、轨道、信号系统等方面均需要技术配合，高速铁路融合了交流传动技术、复合制动技术、高速转向架技术、高强轻型材料与结构技术、减阻降噪技术、密封技术、现代控制与诊断技术等一系列当代最新科技成果。高速铁路系统主要由六大核心系统组成，分别是基础设施、动车组、牵引供电、通信信号、运营调度及客运服务系统^[2,3]。

2004年，国务院批准了《中长期铁路网规划》。2008年，中华人民共和国国家发展和改革委员会（简称：发展改革委）组织对《中长期铁路网规划》进行了修编调整。2016年6月29日，国务院第139次常务会议，审议并通过了新的《中长期铁路网规划》。2016年7月13日，发展改革委、交通运输部和铁路总公司正式印发新《中长期铁路网规划》。2004年《中长期铁路网规划》和2008年修编的《中长期铁路网规划》实施以来，我国铁路发展成效显著，基础网络初步形成，服务水平明显提升，创新能力显著增强，铁路改革实现突破，对促进经济社会发展、保障和改善民生、支撑国家重大战略实施、增强我国综合实力和国际影响力发挥了重要作用。截至2015年底，全国铁路营业里程已达12.1万km，其中高速铁路1.9万km，提前实现原规划目标。

2016年《中长期铁路网规划》期限为2016—2025年，远期展望到2030年。预计到2020年，一批重大标志性项目建成投产，铁路网规模达到15万km，其中高速铁路3万km，覆盖80%以上的大城市，为完成“十三五”规划任务、实现全面建成小康社会目标提供有力支

撑。到2025年,铁路网规模达到17.5万km左右,其中高速铁路3.8万km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。

2016年《中长期铁路网规划》方案包括三个部分:

(1) 高速铁路网。在原规划“四纵四横”主骨架基础上,增加客流支撑、标准适宜、发展需要的高速铁路,同时充分利用既有铁路,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。

规划还明确划分了高速铁路网建设标准。高速铁路主通道规划新增项目原则采用时速250 km及以上标准(地形地质及气候条件复杂困难地区可以适当降低),其中沿线人口城镇稠密、经济比较发达、贯通特大城市的铁路可采用时速350 km标准。区域铁路连接线原则采用时速250 km及以下标准。城际铁路原则采用时速200 km及以下标准。

具体规划方案:一是构建“八纵八横”高速铁路主通道。

其中“八横”为:

① 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。

② 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。

③ 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。

④ 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。

⑤ 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。

⑥ 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。

⑦ 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。

⑧ 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。

其中“八纵”为:

① 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。

② 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。

③ 京港（台）通道。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。

④ 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。

⑤ 呼南通道。呼和浩特—大同—太原—长治—晋城—洛阳—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。

⑥ 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。

⑦ 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。

⑧ 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。

在“八纵八横”主通道的基础上，规划布局高速铁路区域连接线，目的是进一步完善路网，扩大高速铁路覆盖。三是发展城际客运铁路。在优先利用高速铁路、普速铁路开行城际列车服务城际功能的同时，规划建设支撑和引领新型城镇化发展、有效连接大中城市与中心城市、服务通勤功能的城市群城际客运铁路。

（2）普速铁路网。重点围绕扩大中西部路网覆盖，完善东部网络布局，提升既有路网质量，推进周边互联互通。

具体规划方案：一是形成区际快捷大能力通道。包含12条跨区域、多径路、便捷化的大能力区际通道。二是面向“一带一路”国际通道。从西北、西南、东北三个方向推进我国与