

铁路运营管理 技术体系研究

TIELU YUNYING GUANLI
JISHU TIXI YANJIU

张嘉敏 著



西南交通大学出版社

基金项目：山东科技大学人才引进科研启动基金项目资助（2014RCJJ025）

铁路运营管理 技术体系研究

TIELU YUNYING GUANLI
JISHU TIXI YANJIU

张嘉敏○著



西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是由山东科技大学人才引进科研启动基金项目(2014RCJJ025)资助完成的。关于铁路客运产品设计,本书首先分析了铁路旅客运输环境的结构特性,在此基础上提出了基于ABMS的铁路客运专线网核心产品结构设计方案,并研究了基于IPxy模型的青荣城际铁路列车开行方案,分析了高速铁路换乘延误管理的问题及列车运行调整问题,初步探讨了基于行业属性的铁路经营管理方略。作为铁路运营管理的组成部分,本书研究了高速铁路能力计算与评估的理论和方法,也研究了以铁路为核心的货运服务供应链设计策略,以及固定数量条件下动车组的优化运用方案。

图书在版编目(CIP)数据

铁路运营管理技术体系研究 / 张嘉敏著. —成都:
西南交通大学出版社, 2015.11
ISBN 978-7-5643-4305-7

I. ①铁… II. ①张… III. ①铁路运输—运营管理—
研究—中国 IV. ①F532.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第222808号

铁路运营管理技术体系研究

张嘉敏 著

责任编辑 周 杨

封面设计 何东琳设计工作室

印张 12.75 字数 319千

成品尺寸 185 mm × 260 mm

版本 2015年11月第1版

印次 2015年11月第1次

印刷 成都蓉军广告印务有限责任公司

书号: ISBN 978-7-5643-4305-7

出版 发行 西南交通大学出版社

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

地址 四川省成都市金牛区交大路146号

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

定价: 49.00元

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

前言

铁路运输系统的技术经济特性符合“资源节约型、环境友好型”的科学发展理念，在综合交通运输体系中一直占据着主导地位，在国家最新提出的“一带一路”国内国际经济战略布局中还将继续发挥重要作用。从 1997 年第一次提速开始，我国铁路经历了全国范围内的六次大提速，2007 年第六次大提速推出了速度为 200 km/h 等级动车组这一崭新的技术装备，全面提高了全路的运输能力和运输效益，中国铁路的硬件物理设施已初具规模，路网结构不断优化，路网质量明显提升，客货运装备现代化水平显著提高。按照《国家中长期铁路网规划》所提出的发展目标，到 2020 年，全国铁路营业里程达到 12 万 km 以上，复线率和电化率分别达到 50%和 60%以上，主要繁忙干线实现客货分线，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。截至 2014 年年底，我国铁路营业里程达 11.2 万 km，其中高速铁路 1.6 万 km，四纵四横的高速铁路客运专线网已初具规模。

在铁路固定基础设施的“质”和“量”日益提高的同时，铁路交通运输业的内外部环境也随之发生着变化，2013 年中国铁路的经营管理经历了“大部制”改革——撤销铁道部，成立国家铁路局和中国铁路总公司，其中国家铁路局并入交通运输部，以适应大部制一体化的交通运输发展格局。在铁路运输系统新的背景环境下，从两相适应的角度考虑，对与之相辅相成的铁路客运产品规划设计、高速铁路能力计算与评估等铁路运营管理技术体系自然也提出了新的研究课题。本书以中国铁路及高速铁路为主要研究对象，针对其速度高、密度大、距离长、跨线列车多、运量大、可持续等技术经济特点，围绕铁路运营管理的关键技术体系开展深入研究探索，使铁路系统可以以更加优质的服务满足多样性的客货运输需求，具有一定的理论研究意义和现实应用价值。

关于铁路客运产品设计，本书首先分析了铁路旅客运输环境的结构特性，在此基础上提出了基于 ABMS 的铁路客运专线网核心产品结构设计方案，并研究了基于 IP_{xy} 模型的青荣城际铁路列车开行方案，分析了高速铁路换乘延误管理的问题及列车运行调整问题，初步探讨了基于行业属性的铁路经营管理方略。作为铁路运营管理的组成部分，本书也研究了以铁路为核心的货运服务供应链设计策略，以及固定数量条件下动车组的优化运用方案等问题。关

于高速铁路能力计算与评估，本书主要研究工作为：

- (1) 提出了铁路能力计算与评估衡量的新标准。
- (2) 高速铁路能力计算与评估相关基础问题的研究总结。
- (3) 混合类型条件下高速铁路列车运行计划的综合平衡分析。
- (4) 高速铁路能力计算与评估方法研究及案例应用。
- ① 高速铁路车站能力计算与评估方法研究及案例应用。
- ② 高速铁路线路能力计算与评估方法研究及案例应用。
- ③ 高速铁路路网能力计算与评估。

本书的出版得到了山东科技大学人才引进科研启动基金项目（2014RCJJ025）的资助，在此深表谢意！

张嘉敏

2015年6月于山东青岛

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 铁路运营管理之客运产品设计	1
第二节 高速铁路能力计算与评估	3
第二章 铁路旅客运输环境结构特性分析	6
第一节 铁路旅客出行需求特性分析	6
第二节 铁路旅客运输供给特性分析	9
第三节 列车开行模式	13
第四节 铁路客流输送方式	18
第五节 换乘枢纽衔接组织模式	20
第六节 高速铁路旅客市场需求——运营供给间的平衡分析	22
第三章 基于 ABMS 的铁路客运专线网核心产品结构设计	24
第一节 铁路客运专线网核心产品结构设计概念模型	24
第二节 AGENT 特征模型设计	25
第三节 AGENT 决策机制	27
第四章 基于 IP_{xy} 模型的青荣城际铁路列车开行方案研究	32
第一节 青荣城际铁路运营分析	32
第二节 模型的建立	33
第三节 IP_{xy} 模型运行结果与列车流开行频率的确定	35
第五章 高速铁路换乘延误管理分析	38
第一节 列车延误与旅客延误	38
第二节 事件-活动网的定义	39
第三节 换乘延误管理的双层规划模型	39
第四节 换乘接续关系是否维持的行车调度规则与旅客出行路径选择策略	41
第六章 基于三维运行图的客运专线条件下列车运行调整的分析	43
第一节 列车运行计划与列车运行调整计划的比较	44
第二节 三维列车运行图结构	44

第三节	列车运行干扰因素分析	45
第四节	列车运行调整流程	45
第五节	列车运行调整的数学描述	47
第六节	模型求解思路	52
第七章	高速铁路能力计算与评估的基本前提	53
第一节	国内外相关研究分析评述	53
第二节	高速铁路能力的衡量标准	59
第三节	高速铁路能力的分类	60
第四节	高速铁路能力计算与评估的条件	61
第五节	高速铁路能力计算&评估时间段的划分	64
第八章	高速铁路能力计算与评估的基础时间项	65
第一节	列车运行控制系统	65
第二节	闭塞时间与基础设施占用时间	65
第三节	间隔时间与最小间隔时间	67
第四节	缓冲时间	71
第五节	维修时间	73
第九章	混合类型条件下高速铁路列车运行计划的综合平衡分析	74
第一节	引言	74
第二节	列车数	74
第三节	平均速度	75
第四节	稳定性	76
第五节	异质性	76
第六节	综合平衡	78
第十章	高速铁路车站能力计算与评估	80
第一节	既有相关车站能力文献评述	80
第二节	高速铁路车站能力计算与评估策略的比较分析	80
第三节	总体层-局部层的双层模型体系构建的基本思路	84
第四节	高速铁路车站区域列车占用股道线路时序优化研究	85
第五节	基于双层模型的高速铁路车站能力计算与评估	97
第十一章	高速铁路线路能力计算与评估	102
第一节	线路区间能力计算的既有传统方法	102
第二节	高速铁路线路列车服务—需求意向集合 $T@L-TSDIS$ 的定义	104
第三节	高速铁路线路能力计算与评估模型构建	107
第四节	高速铁路线路能力计算与评估模型求解	111
第五节	高速铁路线路能力计算与评估案例	116

第十二章 高速铁路网络能力计算与评估	123
第一节 高速铁路列车服务网络设计	123
第二节 基于服务网络设计的高速铁路网络能力评估	127
第十三章 固定数量条件下动车组优化运用方案分析	136
第一节 我国高速铁路客运专线运输组织模式	136
第二节 动车组运用方式分析	137
第三节 动车组运用的成本效益分析	137
第四节 优化动车组运用效能的混合整数规划建模分析	139
第十四章 以铁路为核心的货运服务供应链设计策略	142
第一节 铁路货物运输的 SWTO 分析	142
第二节 铁路货运产品层次划分及服务目标定位	143
第三节 以铁路为核心的货运服务供应链构建的实现途径与方案构想	144
第十五章 基于行业属性的铁路经营管理方略初探	146
第一节 中国铁路行业经营管理现状	146
第二节 中国铁路的行业属性分析	146
第三节 “政企合一”与“政企分开”的利弊权衡	147
第四节 中国铁路经营管理方略的提出	147
参考文献	149
附录 A	158
附录 B 列车占用 BJSS 车站高速场 GSYARD 各股道时间顺序优化计算过程	159
附录 C 车站 BJSS 城际场列车占用股道时序优化计算过程	174
附录 D	187
附录 E	191

第一章 绪 论

第一节 铁路运营管理之客运产品设计

按照《国家中长期铁路网规划》所提出的发展目标,到2020年,全国铁路运营里程达到12万 km 以上,复线率和电化率分别达到50%和60%以上,主要繁忙干线实现客货分线,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。在铁路固定基础设施的“质”和“量”日益提升的同时,铁路交通运输业的内外部环境也随之发生了变化。这样从两相适应的角度考虑,对与之相辅相成的铁路客运产品规划设计、能力计算与评估等铁路运营管理技术体系自然也提出了新的研究课题。本书将在既有相关研究成果的基础上,以中国铁路及高速铁路为主要核心研究对象,针对其速度高、密度大、距离长、跨线列车多、可持续性等技术经济特点,围绕其运营管理的关键技术体系开展深入探索,并规划设计满足客户个性化需求的、适合市场变化的、柔性化的铁路客运产品,使铁路运输业以优质服务满足多样性的旅客出行需求,具有一定的理论研究意义和现实应用价值。客运产品设计关系到客运需求的满足程度和运输资源的利用程度,是铁路客运组织的关键环节,设计过程就是将旅客的需求总和转化为目标产品的技术特性。从不同角度研究铁路客运产品设计,主要涉及宏观战略层的客运产品结构优化,中观策略层的旅客列车开行方案优化、微观操作层的旅客列车运行图优化等几个层面。

根据日本、法国、德国等国家多年的运营实践表明,高速铁路具有对密集城市带旅客出行需求的强大适应性、能够拉动社会经济发展、改善人们生活质量等技术经济优势。世界范围内已掀起了高速铁路规划与建设的热潮,例如西班牙、意大利、俄罗斯、澳大利亚、韩国等正大力修建其本国的高速铁路,而美国、巴西、沙特等许多国家也开始筹划高速铁路的建设工作,中国的政府高层也在积极推行高速铁路外交策略。我国在2004年年初就已经规划了全国高速铁路网的宏伟蓝图,以缓解我国既有铁路运能难以满足运量需求的矛盾以及客货混跑争能的矛盾,并能够在推动工业化与城镇化发展、缩短人们出行的时空距离、带动产业结构优化升级等方面实现广泛的社会效益。

我国高速铁路网规划呈现出总体规模大、与既有线联系紧密、点多、线长、面广、分期分线快速集中建设、各条线路运营条件不同等特点,在客流特征上则呈现出区域间客流流量不均衡、旅客出行需求层次多、平均运距长、客流波动大等特点。这些因素共同造就了高速铁路独特的运营环境,现今的既有线和任何一个国家高速铁路的运营管理方式都不能完全适应这种新的运营环境,相关运营管理技术亟待研究。

我国铁路经过多年的运营实践,在既有线旅客列车开行方案编制方面已形成较多的研究成果。王甦男(2003)系统描述了现阶段既有铁路旅客列车开行方案的编制方法。徐琳(2001)提出从列车开行径路方面优化旅客列车开行方案,并运用层次分析法对最佳开行径路问题进

行了层次化分析。徐瑞华等(2005)通过分析客运专线列车开行方案的特性及其确定过程,提出了通过车流合并来确定和优化列车开行方案的方法。兰淑梅(2002)在分析日本新干线运营经验的基础上,结合我国铁路的实际情况,对未来的京沪高速铁路中有关旅客运量的分解、列车的停站方案、运行图的铺画格式、高速动车组的运用方式等进行了初步研究。胡思继(1995)通过对京沪线实际客流和现行旅客快车开行方案结构的深入分析,提出了“跨线客流与本线客流各占50%左右,跨线旅客快车开行对数约占2/3,本线旅客快车开行对数约占1/3”的结论。闫海峰(2007, 2008)指出旅客列车开行方案的形成一般要经历3个阶段,即OD客流的生成与分析、列车开行方案编制与优化、旅客列车方案运行图编制三个阶段。徐行方(2008)基于对城际客运市场的调查分析,探讨了城际列车的种类及其承担客流比率等客运产品设计的基本问题,提出了分层次地确定开行方案的新模型。彭其渊(2007)对客运专线车站布局、运输组织模式、列车运行计划、动车组运用、旅客列车开行方案等内容进行了系统的研究。史峰(2004, 2007)在既有旅客列车开行方案研究的基础上,基于客运专线和高速铁路建设路网发展规划,通过抽象归纳制定开行方案的经验,从铁路运输企业和旅客两方面的利益出发建立了客运专线相关旅客列车开行方案的多目标优化模型,从客运专线网的角度对客车开行方案进行了优化。查伟雄(2000)采用定量和定性分析相结合的办法,根据路网旅客OD流量,以方便旅客出行为目标,将直通旅客列车开行方案的编制问题归结为二分图的最大权匹配问题。叶怀珍(2009)定性地提出编制列车开行方案时应该注意的适用原则。王喆等(2006)分析传统最短路算法的不足,提出利用遗传算法求解网中任意两点间的 K 条最优列车运行路径,并进行仿真计算。何宇强等(2006)首先提出旅客出行方便度的概念,并研究不同时段旅客出行的方便度,绘制方便度曲线,然后分析不同类型列车的客流平衡条件,建立不同类型列车的广义费用函数。汪波等(2007)针对城际铁路的客流性质、承担的运输任务以及提供给旅客的服务水平都对铁路既有线有不同的具体需求的现象,提出制定开行方案应考虑以周期运行图特征的运输组织模式。邓连波等(2006)通过对旅客运输组织和设备运用现行指标进行分析,综合建立列车开行方案的周转量指标、速度指标、客车运用指标。

国外研究中普遍体现出分阶段、分层次处理众多影响因素并将其进行有机合成的思想。Wegel(1974)根据列车定员数据,计算每个区段可以满足客流需求的列车服务频率,建立目标函数为旅客最大化的模型,并以区段列车开行数量的限制作为约束条件,算法开始于每个区段开行一列列车的一个初始基本方案。Dienst(1974)在Wegel的研究基础上引入了分支-定界(branch-and-bound)的求解方法。Simonis(1980)通过不断循环迭代逐列地加入列车数据,连续地计算路网中的最短路。Assad(1980, 1981)指出开行方案的制定和优化过程是一个具有层次结构的优化问题。Michael R. Biissieck(2004)是较早研究周期运行模式下旅客列车开行方案的学者,他将列车开行方案的基础定义为列车线路方案;列车开行决定了一个时间周期内,连接始发站和终到站的列车数量,以列车服务频率作为模型计算的导出量,以直达旅客人数最大化为目标建立了模型,该目标也等同于旅客换乘总次数最少化,研究了成本最优的旅客列车开行方案,将成本优化的列车开行方案问题定义为以最少的成本设计出一个可行的列车开行方案,问题属性为强NP-hard问题。J.W.H.M.Goossens(2002)从运营商的角度,以最小化运营费用即最小化列车开行费用为目标建立模型,引入了多种模型解决同一线路被用于不同停站方式的问题。Katja Boos(2002)介绍了两种不同生成列车开行方案的模型,

其中模型的建立分别基于直达旅客数量最大化和成本最优化的列车线路分配方案。

关于铁路客运产品设计,本书首先分析了铁路旅客运输环境的结构特性,在此基础上提出了基于 ABMS 的铁路客运专线网核心产品结构设计方案,并研究了基于 IP_{xy} 模型的青荣城际铁路列车开行方案,此外分析了高速铁路换乘延误管理的问题及列车运行调整问题,初步探讨了基于行业属性的铁路经营管理方略。作为铁路运营管理的组成部分,本书也研究了以铁路为核心的货运服务供应链设计策略,以及固定数量条件下动车组的优化运用方案等问题。

第二节 高速铁路能力计算与评估

铁路能力不仅是运输资源配置的基本条件,也是评价资源运用状况的重要指标。铁路能力计算与评估是一个比较经典的研究课题,具有一定的学术研究意义及实践应用价值。本书旨在对国内外关于铁路能力计算与评估的理论与方法的主要发展脉络及发展趋势进行系统的分析评述;针对能力计算准确性不尽如人意的现实问题,充分把握铁路能力的动态性和不确定性等特征,从基础设施物理拓扑结构——旅客市场需求——时刻表规划的角度提出高速铁路列车服务-需求意向集合,以完成给定时间内列车服务-需求意向集合 (train service-demand intention set, TSDIS) 所需占用基础设施时间为目标更新能力的衡量标准,构建时刻表规划阶段无运行图条件下高速铁路车站节点、线路和路网的能力计算与评估框架体系,提出相应的能力计算与评估的策略和方法,并给出具体的算法与案例应用,探讨在经过优化的使用方式下高速铁路基础设施能力计算与评估之理论和方法。

从学术意义上,铁路能力计算与评估是一个比较经典的研究课题;在铁路运输实践中,能力计算与评估亦是铁路系统运营规划与管理的一个必备前提。铁路运输能力不仅是运力资源分配的基本条件,也是对于运力资源使用情况进行评价的一项重要指标集。中国既有传统铁路通常利用扣除系数法及其改进方法来计算能力,用这种方法计算得到的能力是最大理论能力;但由于以货运为主要服务对象的既有传统铁路的能力计算是以充分发挥铁路运输设备效能为出发点,致使过去计算能力时过于强调列车数而忽略了其他与运输服务质量相关的一些约束条件,比如列车运行过程中的平均速度、列车的异质性、时刻表的稳定性以及铁路网络效应的影响。然而,铁路能力(特别是高速铁路能力)恰恰是在这些因素作用影响下的综合平衡的结果。

能力研究的目的在于从总体及各环节、各要素上把握运输能力,以指导运输组织生产实践,合理而有效地利用能力。为解决这些问题,优化高速铁路运力资源配置,指导高速铁路列车运营组织的实践,在高速铁路基础设施建设完成后,有必要从时刻表规划的角度出发去充分把握能力的动态性与不确定性。本书系统的分析评述国内外关于铁路能力计算与评估的理论与方法,并把握主要发展脉络及发展趋势;针对能力计算准确性不尽如人意的现实问题,充分把握铁路能力的动态性和不确定性等特征,从基础设施物理拓扑结构——旅客市场需求——时刻表规划角度提出高速铁路列车服务-需求意向集合,以完成给定时间内列车服务-需求意向集合 (TSDIS) 所需占用基础设施时间作为目标更新能力的衡量标准,构建时刻表规划阶段无运行图条件下高速铁路车站节点、线路和路网的能力计算与评估框架体系,提出相应的能力计算与评估的策略和方法,并给出具体的算法与案例应用,探讨在优化的使用方式下高速铁路

基础设施能力计算与评估之理论与方法。以更加科学的方式定义中国高速铁路能力计算与评估的衡量标准,通过深入研究铁路能力计算与评估的理论与方法,为中国高速铁路构建一个能力计算与评估的框架体系,并提出点、线和基于点线协调的高速铁路能力计算与评估技术,这不仅对于车站、线路的能力计算与评估及路网的瓶颈识别是必不可少的,而且对于高速铁路基础设施(高速铁路基础设施的能力设计、高速铁路基础设施的能力利用评估)和高速铁路运行管理(确定特定服务需求、服务质量下所需的基础设施配置,为编制列车运行计划、列车开行方案提供能力约束)也将具有极为深远的意义。

关于高速铁路能力计算与评估,本书主要研究工作与创新点归纳总结如下:

一、提出了铁路能力计算与评估衡量的新标准。

本书根据能力的动态性和不确定性特征,依据高速铁路车站、线路、路网特点及其所服务的客流特征,结合不同时段作业要求,探讨从基础设施物理拓扑结构——旅客市场需求——时刻表规划角度定义高速铁路列车服务-需求意向集合(TSDIS),以完成特定的列车服务-需求意向集合(TSDIS)所需的基础设施占用时间作为衡量高速铁路能力的新标准。基于不同场景与条件,将高速铁路能力划分为基础能力、现实能力和可开发能力。

二、高速铁路能力计算与评估相关基础时间项的研究总结。

铁路基础设施能力的影响因素众多,但大多影响最终都体现在时间维上;从微观角度应用牛顿动力学分析列车运行过程中可能得到的各项时间的精确值,从数学意义上分析,铁路能力的计算要兼顾到这种微观的精确性。在时间维,铁路运输系统是一个灰色系统,各项作业时间带有一定的模糊性;在空间维,铁路基础设施各子系统作业之间要有一定的协调匹配性;铁路能力的评估要兼顾到这种模糊性与协调匹配性。基于此,本书在进行铁路基础设施能力计算与评估时,分析了列车运行的静态描述与动态过程,总结分析了闭塞时间与基础设施占用时间、间隔时间与最小间隔时间、缓冲时间及维修时间,并为了改变目前铁路能力的单纯刚性计算而加入柔性分析,从而提高能力计算与评估结果的可信度与准确性。在此基础上,提出了以“时间”作为高速铁路能力计算与评估的新衡量标准。

三、混合类型条件下高速铁路列车运行计划的综合平衡分析。

列车运行计划决定了铁路基础设施的使用方式,本书研究了在混合交通流条件下列车数、平均速度、稳定性、异质性及其相互影响关系,提出了 Pareto 最优状态下列车运行计划的综合平衡思想,以 Pareto 最优条件下的异质性数值作为铁路能力计算与评估、列车运行计划编制与评价的基本标准依据。

四、高速铁路能力计算与评估方法研究及案例应用。

根据客流时空分布规律,从客流市场需求的角度,基于一定的服务质量要求,构建了一定服务质量条件下的高速铁路能力计算与评估体系。

（一）高速铁路车站能力计算与评估方法研究及案例应用

根据高速铁路车站自身特点及其所服务的客流特征,结合不同时段作业要求,定义并构建各时段特定场景的列车服务-需求意向集合 $t@s\text{-tsdis}$, 总结分析了几种高速铁路车站能力计算与评估策略, 并提出总体层-局部层的双层模型体系来计算与评估高速铁路车站能力。对某高速铁路车站 BJSS, 运用双层模型体系, 在总体层得出了某时段 BJSS 站 $t@s\text{-tsdis}$ 任务列表中列车占用车站股道的优化时序, 并通过局部层的检验最终得出完成 BJSS 站 $t@s\text{-tsdis}$ 任务列表所需的时间(即 BJSS 站的时段能力), 并指出 BJSS 站能力的瓶颈所在。

（二）高速铁路线路能力计算与评估方法研究及案例应用

依据 UIC406 能力手册, 将列车数、平均速度、异质性及稳定性作为能力使用的核心元素, 定义了高速铁路线路列车服务-需求意向集 $t@l\text{-tsdis}$, 兼顾运输服务质量与铁路运营效益, 构建多目标(最小化异质性、最大化可靠性、最小化运行时间)优化的高速铁路线路能力计算与评估模型(mathematical program for line capacity, MPLC), 给出了 MPLC 以问题为导向的带约束的多目标滚动优化的模型求解算法(改进的 Pareto 存档进化策略与交互法相结合), 并将模型与算法应用于京沪高速铁路线路能力计算与评估。我国高速铁路线路可分为城际型、通道型、网络末端型, 本书提出的高速铁路线路能力计算与评估的模型与算法不仅适用于京沪线这种通道型的, 也同样适用于城际型及网络末端型高速铁路线路的能力计算与评估。

（三）高速铁路路网能力计算与评估

在探讨了高速铁路列车服务网络设计问题, 分析了网络化条件下轨道交通系统的的能力的前提下, 提出了高速铁路网络服务质量框架体系及高速铁路网络能力计算与评估的基本思路, 并针对高速铁路网是一个多级递阶控制系统的特点, 分析了高速铁路的网络效应。

第二章 铁路旅客运输环境结构特性分析

第一节 铁路旅客出行需求特性分析

旅客运输需求是指在一定时期内和一定价格水平下，旅客社会经济生活在旅客空间位移方面所提出的具有支付能力的需要。通道或区域内客运需求的影响因素主要包括社会经济发展水平及城市化水平、人口数量及结构、人均收入水平、综合交通的发展水平和客运产品的价格等。旅客运输市场的划分见表 2.1。我国铁路旅客运输市场总量大，受地域影响，旅客平均运距大，客流流向分散、分布不均衡。按出行目的划分，我国既有传统铁路客流成分主要有公务、商务、旅游、学生、农民工出行等几部分。在某些时期各种客流会大量叠加，比如春运、暑运、黄金周等，而从需求偏好属性上看更注重安全性、经济性、可达性，且对票价敏感性较高。

表 2.1 旅客运输市场划分

划分依据	划分类别	具体描述
运输距离	长途客运市场	运输距离在 1 200 km 以上，铁路具有票价优势
	中长途客运市场	运输距离为 300~1 200 km，铁路占主导地位
	短途客运市场	运输距离在 300 km 以内，铁路具有一定竞争力
客流性质	学生客运市场	寒暑假期间的往返高峰
	农民工客运市场	春节前后往返高峰
	商务客运市场	经常性商务公务往返
	旅游、日常通勤客运市场	旅游、通勤客流的往返
服务区域	城际客运市场	远距离城市间的商业、通勤乘客往来
	城郊客运市场	城市与城郊的通勤往来
	城间客运市场	大城市之间的商业、经济、旅游等客流服务
	跨国客运市场	服务跨越国境线的乘客

自 1997 年以来随着铁路列车六次大提速、高速铁路客运专线、城际铁路的开通运营，路网结构与路网质量得到优化提升；但客流需求压力大，在产品多样化、能力短缺等方面竞争力不足现象仍然明显。铁路客流呈现时间性、方向性的不均衡分布特征，如波动性（寒暑假、春运、农忙、双休日、小长假）、刚性需求（如公务、商务、务工等出行）、地域性（绝大部分铁路局管内客流比例显著大于其直通客流比例，如据齐致源（2014）调查研究表明，呼铁局直通管内比例是 38：62，且直通客流主要以京沪、西南方向及北京地区为主，春暑运时东北方向能力紧张，管内、直通客流均呈现出一定的地域性）。高速铁路客运专线建成后，铁路通道内客流主要有高速铁路客运专线本线客流、高速铁路客运专线跨线客流、既有线客流、高峰期客流等。在网络化条件下，铁路会诱增更多的跨线长途客流，旅客的出行距离会更远；

与既有线相比,高速铁路客流吸引范围更大。特别是高速铁路运营线路长,客流需求特征在沿线地区乘降区间、运行速度、价格、服务质量以及客流所处的阶层等方面存在很大的差异;高速列车动车组运行时间长,站间距离大,每列车内的旅客对高速铁路运行中服务需求存在很大的差异。从需求偏好属性上看,高速铁路旅客时间价值高,对安全性、快速性、准时性、方便性、舒适性有较高的要求。

一、铁路旅客出行距离与出行时间

旅客的出行距离对旅客的交通行为有着很大的影响,也是各种客运交通方式优势互补、协调配合的根本着眼点。在高速铁路未发展时的西欧,铁路客运的最优距离为 600 km,铁路的优势竞争旅行时间在 8 h 左右,小汽车在 500 km 以内优于铁路,公路的优势竞争旅行时间在 3~4 h 以内,运距在 600 km 以上时最受欢迎的交通方式为航空。据杜春江(2007)对哈尔滨铁路局管内旅客出行调查结果分析,铁路旅客能够承受的心理旅行距离为 200~1 500 km,最受旅客认可的旅行距离是 200~500 km,比重达 46.5%,其中哈尔滨铁路局管内哈尔滨-齐齐哈尔(约 288 km)、哈尔滨-牡丹江(约 355 km)、哈尔滨-佳木斯(约 507 km)是最受旅客认同的产品,29.8%的旅客认同旅行距离为 500~1 500 km;最受动车组旅客认可的理想旅行距离是 500~1 500 km,比重达 41.1%,如哈尔滨—沈阳(约 546 km)、哈尔滨—北京(约 1 249 km),41.1%的旅客认为动车组旅行距离 500~1 500 km 较合适,37.1%的旅客认为动车组旅行距离 200~500 km 较合适。根据人机工程学的研究成果,一般当旅行时间超过 6 h 便会引起人的疲劳。杜春江(2007)的调查研究也表明,铁路旅客能够承受的心理旅行时间为 2~12 h,在 200~1 500 km 这一距离区段铁路客运的优势竞争心理旅行时间为 2~5 h(44.4%的旅客认同),被认为是铁路最佳旅行时间,29%的旅客认同 5~12 h,但是当旅行时间超过 5 h,旅客的承受能力开始变差,超过 12 h 以后,旅客的承受能力急剧降低。其分析得出的结论认为如果列车能够保证 120~160 km/h 的运行速度,辅之以合理的到发时间和列车密度,那么铁路具有非常明显的市场竞争优势,并建议集中发展旅行时间 10 h 以内的旅客运输。

旅客运输市场可按照旅客行程、旅客对旅行条件的要求、运行径路、地理位置、流向分布、旅客出行目的等进行细分。陈章明,戢晓峰(2009)以 300 km/h 高速列车运行时间为标准,将铁路旅客运输市场细分为通勤流、近程城际流、远程城际流、夕发朝至流、一日到达流五个子市场。贾俊芳(2013)综合考虑出行距离和旅行时间,通过将运行时间按高铁最高运行时速 300 km/h 乘以 0.8 除以运行里程近似得到,将客运市场划分为短途、中途、中长途、长途 4 个子市场。综合既有相关研究,根据旅行距离与旅行时间,细分快速铁路客运市场如表 2.2 所示。相关研究表明,运距小于 700 km 市场,高速铁路与航空相比具有较强的竞争优势;运距在 700~1 000 km 市场,是高速铁路与航空竞争的重要市场;运距大于 1 000 km 市场,航空具有较强的竞争优势;不同速度等级的高速列车有其各自的优势距离(速度 210 km/h 的优势距离为 300~500 km,速度 250 km/h 的优势距离为 250~700 km,速度 300 km/h 的优势距离为 200~950 km)。铁路企业在进行客运产品设计时,需要秉承突出市场竞争优势的原则,进行客运市场细分,找准优势距离,这样才有利于自身竞争优势的发挥。

表 2.2 快速铁路客运市场细分

序号	细分市场类型	旅行时间（h）	旅行距离（km）	市场特点
1	短途流	<1.5	<300	大部分为通勤客流,客运产品主要竞争对手为既有铁路、公路,竞争重点更多在于费用、方便、服务等软因素
2	中途流	1.5~3	300~800	大部分为近程城际流,客运产品与既有铁路、公路竞争激烈,快速铁路可以实现“朝发夕归”,具有相对竞争优势
3	中长途流	3~5	800~1 500	大部分为近程城际流、远程城际流,客运产品与既有铁路、公路相比,在旅行时间上具有竞争优势;与航空相比,在价格、服务上具有竞争优势
4	长途流	5~8	1 500~2 000	大部分为远程城际流、夕发朝至流,客运产品与航空相比,旅行总耗时接近,但在价格、服务上具有竞争优势
5	超长途流	>8	>2 000	大部分为夕发朝至流、一日到达流,客运产品与航空相比,航空的竞争优势为旅行时间;若开行卧铺动车组,快速铁路也可实现“夕发朝至”,虽然其费用可能与航空持平,但由于可以充分利用夜间旅行,会有一定竞争优势

二、铁路客运服务质量的衡量指标

旅客运输服务产品的特性包括安全性、快速性、经济性、准时性、方便性、舒适性等几方面,不同运输产品的质量技术特性存在客观区别,对旅客的吸引程度也不同;因此应确立以旅客运输需求为导向的经营管理和运输组织原则,充分考虑到旅客需求的动态性、多样性特点,规划设计满足客户个性化需求的、适合市场变化的、柔性化的铁路客运产品。铁路旅客需求行为主要反映为要求铁路客运产品具有安全、及时、便捷、经济、舒适等方面的特性,这也是决定旅客选择交通方式的因素,铁路客运产品的质量属性或衡量标准可以概括为安全性、舒适性、快速性、便捷性、准时性、经济性几个方面,其中安全性主要包括列车运行秩序,治安秩序;舒适性主要包括到发时刻、时长,列车等级,服务质量,设备设施;快速性主要包括开行区间及停站,到发时刻、时长,列车等级;便捷性主要包括可达性(开行区间、停站),中转换乘接续,开行频率,购票、行包托运、提取等增值性附加服务的便利程度,是旅客选择出行客运产品的重要条件;准时性主要包括能否遵守规定的时刻按时到达、出发,决定了旅客出行时间点是否有保障;经济性主要包括列车等级,设备设施,服务质量,定价策略,时间成本等方面。据李明生(2005)调查分析结果显示,旅客运输需求行为首选为安全的占 56.2%,首选为时间的占 17.3%,首选为经济的占 13.0%,首选为买票的占 5.6%,首选为班次的占 2.9%,首选为舒适的占 2.9%,首选为服务的占 2.1%;如果把买票和班次归属为便捷,则首选便捷的占 8.5%;如果把服务并于舒适,则首选舒适的占 5%。

不同出行目的的旅客对铁路客运服务质量要求的侧重点不尽相同,出差的旅客属公费旅行,对经济性的需求会弱一些,对舒适性、快速性、便捷性的需求会强烈一些;自费出行的一般旅客对经济性的需求往往是比较强烈的。根据 1997 年某项(刘卫果,1998)以铁路旅客

列车为主、兼顾车站的全国铁路客运市场调查显示，几个指标的重要性权值分别为：安全性 1.44，舒适性 0.97，便捷性 0.99，快速性为 0.97，准时性 1.00。随着社会经济的发展，旅客对舒适性、快速性、便捷性等的需求将逐步弱化对经济性的需求，但这几个指标的提高均是以经济性的降低为前提的，而普通旅客的购买力是有限的，因而其对经济性的要求也是不可避免的。据研究，短途客流对服务频率非常敏感。可靠性、安全性、快速性、方便性、舒适性、经济性、可达性等是整个轨道交通系统共有的客流需求偏好特征，但不同轨道交通方式对上述各项的偏好程度又有所不同。面向旅客的高速铁路运输服务应以人为主体的，不是传统意义上的给列车排列进路，而应是着眼于把握客流需求特征，充分考虑高速铁路客流需求与运能供给间的综合平衡。

第二节 铁路旅客运输供给特性分析

运输供给是指分布在一定空间上的能力，运输业是一种特殊的行业，因此具有特殊的供给特点。铁路运输供给水平受路网基础设施、移动设备、运营计划、计划实施几个方面的影响，根据铁路运输供给的基本理论，铁路运输供给水平层次结构如图 2.1 所示。

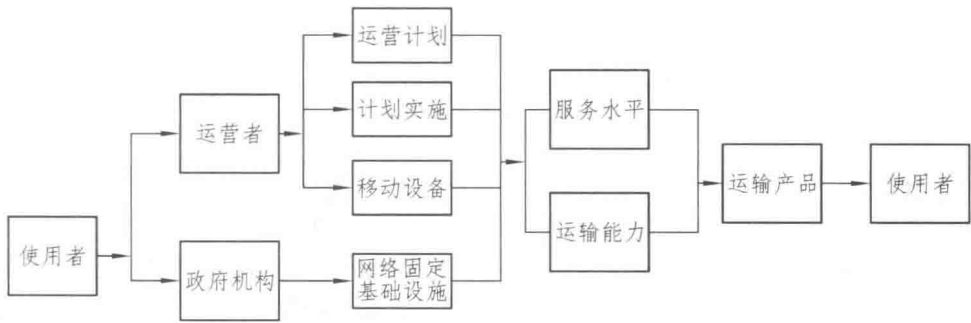


图 2.1 铁路运输供给水平层次结构

铁路客运服务水平客观上表现为供给对需求的适应性，其中对质量需求的适应情况主要通过铁路硬件、软件设施设备等资源及用户满意度得以体现，而对数量需求的适应情况主要通过列车时刻表得以体现，如旅客发送能力、路网节点覆盖率、车站服务频次、列车平均停站距离、列车始发终到时刻、直达与换乘方便性、列车平均运距、列车平均旅行时间、高速列车运行情况等，尤其表现在旅客发送量和列车平均运距等指标上。铁路运输企业提供的运输产品，也是一种服务产品，具有一般服务产品的特征。但是，铁路运输企业提供的服务是介于有形的实物产品与无形的服务产品之间的特殊产品，它综合了有形产品和无形产品的一般特征。

一、铁路客运网中列车的分类

根据前铁道部关于旅客列车等级的规定，我国旅客列车等级包括普通快车、快速列车、特快列车、直达特快、动车组、城际列车、高速列车等，区段内开行的产品类型按动车、直达、特快、快车、普快划分为不同等级的列车又有不同的席别，如硬座、软座、硬卧、软卧。