文章编号：1003-1421(2026)06-0090-09
引用格式：保鲁昆，周黎，李博，等. 高速铁路网运输能力计算与运用优化研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48[J]：90-98.
BAO Lukun，ZHOU Li，LI Bo，et al. Research on Calculation and Utilization Optimization of Transportation Capacity for High Speed Railway Network[J]. Railway Transport and Economy，2026，48[J]：90-98.

高速铁路网运输能力计算与运用优化研究

保鲁昆[1,2]，周　黎[3]，李　博[2]，徐利民[2]

(1.中国铁道科学研究院 研究生部，北京　100081；2.中国铁道科学研究院集团有限公司 运输及经济研究所，北京　100081；3.中国铁道学会，北京　100844)

摘　要：高速铁路路网运输能力的影响因素众多且具有强耦合性，目前关于路网运输能力的定义、体系和评价指标尚未形成共识，研究高速铁路路网运输能力对路网结构调整和能力利用优化具有重要的理论和现实意义。在分析基础设施、移动装备和运输组织方案3方面高速铁路路网运输能力影响因素的基础上，提出了基于三者耦合作用下的高速铁路网运输能力的生成机理和体系组成并分别给出了相应评价指标，分析提出了高速铁路路网有效运输能力的计算概念模型；并从基础设施运用优化、移动装备能力运用优化和运输组织模式调整3个方面针对性地提出了高速铁路路网运输能力的优化方案。相关研究为高速铁路路网运输能力定义、计算和运用优化提供理论支持。

关键词：高速铁路；路网运输能力；网络运营；生成机理；概念模型；运用优化
中图分类号：U292.5　　**文献标识码**：A　　**DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250311002

Research on Calculation and Utilization Optimization of Transportation Capacity for High Speed Railway Network

BAO Lukun[1,2]，ZHOU Li[3]，LI Bo[2]，XU Limin[2]

(1. Postgraduate Department, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China; 2. Transportation & Economics Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China; 3. China Railway Society, Beijing 100844, China)

Abstract: The influencing factors of transportation capacity of high speed railway networks are numerous and have strong coupling. Currently, there is no consensus on the definition, system, and evaluation indicators for the transportation capacity of the railway network. Researching the transportation capacity of high speed railway networks has important theoretical and practical significance for railway network structure adjustment and capacity utilization optimization. On the basis of analyzing the influencing factors of transportation capacity of high speed railway networks from three aspects of infrastructure, mobile equipment, and transportation organization plan, the generation mechanism and system composition of transportation capacity of high speed railway networks based on the coupling effect of the three aspects were proposed, and the corresponding evaluation indicators were given respectively. Moreover, a calculation conceptual model for the effective transportation capacity of high speed railway networks was analyzed and proposed. Furthermore, targeted optimization schemes for transportation capacity of high speed railway

收稿日期：2025-03-11　　**修订日期**：2026-02-04
基金项目：中国国家铁路集团有限公司科技开发计划课题(P2024B001，N2022X022)

networks were proposed from three aspects: infrastructure utilization optimization, mobile equipment capacity utilization optimization, and transportation organization mode. The related research provides theoretical support for the definition, calculation, and utilization optimization of transportation capacity of high speed railway networks.

Keywords: High Speed Railway; Railway Network Transportation Capacity; Network Operation; Generation Mechanism; Conceptual Model; Utilization Optimization

0　引言

截至2024年底，中国高速铁路营业里程达到4.8万km，建成世界最大的高速铁路网[1]，有力地支撑了人民对美好出行的需要。国家铁路运输能力总体上能够适应客货运输需要，但仍存在部分区域、线路和时段运输能力紧张，如高速铁路有12个繁忙区段列车密度超过150对/d，路网干线能力存在堵点卡点，北京、上海、广州等主要枢纽能力基本饱和，如何评估和优化高速铁路网能力运用成为亟需研究的问题。关于高速铁路能力研究，逐步从车站通过能力、区段通过能力，发展到路网通过能力[2]。早在1994年，相关学者就提出铁路运输能力发展研究，旨在研究路网能力，关于单一线路能力研究已有综合的优化方法和技术，然而路网运输能力的加强与优化较单一线路面临更为复杂的情况[3]。随着未来交通结构调整，仍将会有大量客运需求转向高速铁路，将会给高速铁路能力利用带来新的挑战。目前关于铁路网运输能力尽管已开展了大量研究，但关于如何定义、评估和计算高速铁路路网系统运输能力尚未达成共识。

1　国内外研究现状

1.1　国内研究情况

国内关于铁路网运输能力的研究，大致可以分为2个阶段。第1阶段是2013年前，铁路网运输能力的研究主要集中在普速铁路，相关学者给出路网能力定义，设计了路网能力体系，并提出了相应的计算方法。如1996年施其洲[4]从系统的角度给出路网能力的概念，认为路网系统运输能力为在现有基础设施、活动设备、人力、一定运输需求及车流路径分配方案和行车组织水平条件下，单位时间内铁路网络系统在整体上最大可能的运输产品生产能力，即铁路网络系统运输能力。随后何世伟等[5]、雷中林等[6-7]研究提出铁路网系统运输能力应以单位时间内完成的周转量作为计算指标较为合理，并提出路网系统总体运输能力、总体有效运输能力、潜在运输能力的概念体系。郑亚晶等[8-9]研究认为普速铁路路网运输能力是铁路网在整体上最大可达到的客货发送量、客货运输周转量和列车周转量的综合表达，以上3个指标量的匹配关系构成了铁路路网运输能力的内涵。李晓娟等[10]使用列车数衡量路网能力，分析了影响路网能力的主要因素，并从能力利用率、能力供需关系和能力鲁棒性3个方面评估路网能力。纪丽君[11]从铁路网货物运输能力与需求匹配的角度研究，铁路网货物运输能力是单位时间内铁路网所能够提供的最大可能货物运输产品生产量，并不仅仅是一个总数值，而是一个由货物运输总量、运输服务(运输需求)空间分布形式及数量比例3项构成的整体。

第2阶段大致在2013年后，随着我们国家高速铁路网初具规模，关于高速铁路网运输能力的研究逐步增多，张嘉敏等[12]借鉴运行图压缩法相关思想，将高速铁路网络的能力定义为在最小化异质性、最大化可靠性的同时，最小化完成列车在高速铁路网络的列车服务与需求意向集合所需基础设施占用时间，即运行时间。姚迪[13]把高速铁路网能力定义为在单位时间内高速铁路网络所能完成的总运输量，是由通过能力和输送能力协同利用形成的综合运输能力。薛宇飞[14]认为高速铁路网络能力不仅与可开行的列车对数有关，而且还与列车行驶的区段距离相关，故以单位时间内能完成或已完成的列车周转量为计算指标。邓波尔[15]结合已有研究将路网运输能力定义为单位时间内(通常指一昼夜)高速铁路路网系统在整体上能实现的运输产品的最大可能运输能力，计算单位为列车公里/单位时间或人公里/单位时间。

1.2　国外研究情况

国外相关学者对铁路网能力也开展了大量研究，多数研究集中在铁路相对发达的欧洲国家，主

要研究方向包括路网能力评估和路网能力与服务质量关系等。如 Malavasi 等[16]以最大开行列车数为目标，研究了基于车站和线路协调的铁路网总体承载能力计算评估方法；Burdett 等[17]构建了多目标优化模型，模型根据一组明确定义的竞争关系，确定铁路网的绝对能力；Szymula 等[18]研究提出铁路网能力是给定时间段内，根据给定的服务特征(即线路规划和换乘)和基础设施布局，网络中发车的最大列车数量；Nikolayzik 等[19]设计了一种线性优化模型，该模型综合考虑最小列车间隔、线路能力和各类车站间隔等约束，来计算全网最大列车数量。从国外关于铁路网运输能力研究来看，由于国外列车开行距离相对均衡，一般使用单位时间内开行的列车数(对数)作为路网能力的评价指标。

综上所述，国内外关于铁路网运输能力的研究思路和研究方法差异较大，再加上路网系统运输能力的复杂性，目前尚未形成统一的铁路路网系统运输能力概念、体系和衡量指标。

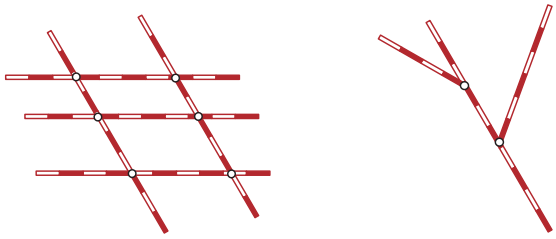
2　高速铁路路网运输能力及其体系设计

2.1　高速铁路路网运输能力主要影响因素

高速铁路路网运输能力主要受到基础设施、移动装备和运输组织方案的影响，既取决于基础设施的设置和相互配置结构，也取决于移动装备的时空配置，还取决于基础设施、移动装备和运输组织方案的相互适配。

（1）基础设施。在宏观层面，路网规模和路网结构是影响高速铁路网运输能力的主要因素。理论上高速铁路路网规模越大路网运输能力越大；而高速铁路路网结构主要是指把车站和线路分别抽象成点和边后所形成的网络特征和属性。高速铁路路网示意图如图 1 所示，图 1a 网络连通度较高，各区段之间可以更有效地分担车流压力，从而有利于提升路网的整体运输能力，图 1b 网络稀疏，网络连通度较低，部分区段集中通过大量列车，成为网络整体通过能力瓶颈。

（2）移动装备。高速铁路移动装备主要是指动车组，动车组的保有量和配属方案是保障运行图能够顺利实现的先决条件，当没有足够数量的动车组来担当运行图中每条运行线的运输任务时，部分高



a　高连通度铁路网　　b　低连通度铁路网

a　High-connectivity railway network　b　Low-connectivity railway network

图 1　高速铁路路网示意图

Fig.1　Schematic diagram of high speed railway network

速铁路列车无法按计划运行，从而导致能力的损失。其次，动车组的编组辆数和定员也是影响输送能力重要因素，在开行列车数量一定时，列车编组数量越大定员越多，能够输送的旅客数量则越多。再次是动车组的牵引和制动性能，动车组牵引和制动性能是列车追踪时间间隔、动车组区间运行速度等重要决定因素，不同动车组性能影响列车区间运行时分，从而影响路网运输能力。

（3）运输组织。在基础设施和移动装备固定的基础上，高速铁路路网运输能力大小主要取决于运输组织方案。在宏观层面上，高速铁路运输组织主要包括运行列车速度等级和客运组织模式设计，其中不同速度等级列车的速差主要影响区间通过能力；客运组织模式可分为全换乘模式、全直达模式，以及换乘和直达相结合的模式，不同的客运组织模式决定了跨线列车数量，从而影响高速铁路网运输能力。在微观层面，主要体现在列车开行方案和设备运用方案，列车开行方案规定的列车运行径路、始发终到站、停站方案等直接影响路网运输能力；设备运用方案主要是指动车组接续规则、检修模式等影响可用动车组数量，从而间接影响路网能力。

2.2　高速铁路网运输能力生成机理

基础设施能力一般认为是路网的理论最大能力，基础设施能力是线路、车站、信号系统、牵引供电能力等因素耦合作用形成的，其大小由“木桶短板理论”决定；移动装备能力受到动车组数量、配置方案、动车组检修标准、动车组运用方案、动车组席位数等影响，移动装备能力的发挥受到路网基础设施能力的制约。一般情况下路网基础设施能力大于移动装备能力。在铁路网基础设施能力和移

动装备能力固定的基础上，采用一定的运输组织方案形成高速铁路网有效运输能力，是三者耦合作用后的结果。而运输组织方案又受到旅客运输需求、基础设施能力和移动装备能力的制约。高速铁路网运输能力生成机理如图2所示。

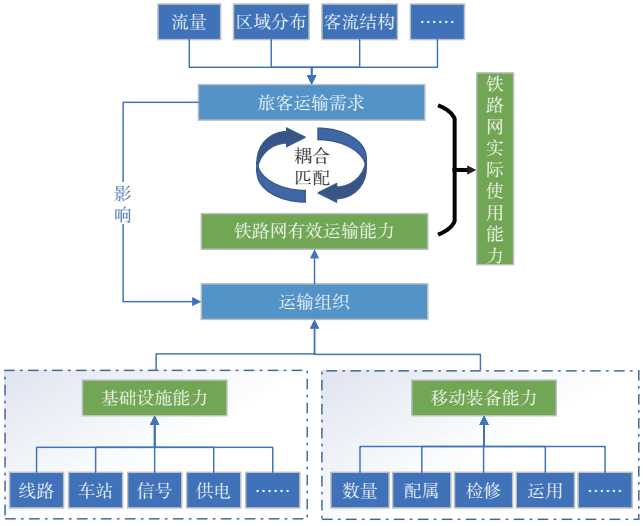


图2　高速铁路网运输能力生成机理

Fig.2　Generation mechanism of transportation capacity of high speed railway network

2.3　高速铁路网运输能力定义及体系设计

根据高速铁路网运输能力的生成机理，定义高速铁路网运输能力为：在一定的路网基础设施和移动装备数量和空间配置、一定的客流需求结构条件下，采用一定的运输组织方案，高速铁路路网在单位时间内(通常指一昼夜)所能完成的最大运输产品量。

根据考虑的高速铁路网运输能力影响因素的不同，高速铁路网运输能力可分为：理论最大运输能力、理论可用运输能力、现实有效运输能力和实际使用运输能力。基础设施能力决定了铁路网理论最大运输能力，增加考虑移动装备能力后变为理论可用运输能力，再次增加考虑运输组织方案后变为现实有效运输能力，最后综合考虑客运需求后变为实际使用运输能力。随着不同属性约束的加入，高速铁路网运输能力递减，高速铁路网运输能力体系如图3所示。

（1）理论最大运输能力：是指在基础设施固定的情况下，路网中每条线路分别采用其设计速度等级，列车按照最小时间间隔，扣除天窗时间后，高

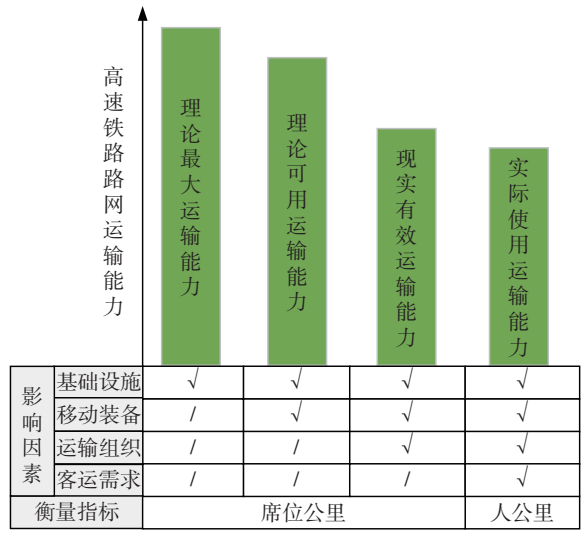


图3　高速铁路网运输能力体系

Fig.3　System of transportation capacity of high speed railway network

速铁路网一昼夜所能产生的席位公里数。理论最大运输能力主要用于反映路网建设规模，当路网规模增加时，高速铁路路网理论最大运输能力相应增加。

（2）理论可用运输能力：是指在基础设施固定的情况下，综合考虑移动装备数量、配置和使用方案，高速铁路网单位时间内所能完成的最大运输量，即高速铁路网理论可用运输能力，使用席位公里衡量。

（3）现实有效运输能力：是指在基础设施和移动装备固定的基础上，采用一定的运输组织方案，单位时间内高速铁路网络系统所能提供的最大运输量，即高速铁路网现实有效运输能力，使用席位公里衡量。

（4）实际使用运输能力：是指现实有效运输能力与客运需求匹配耦合后所产生的能力，反映了铁路部门提供运输产品的使用效果，使用人公里衡量。

3　高速铁路路网有效运输能力计算概念模型

首先对铁路网进行建模，高速铁路车站可以抽象为运输网络中的节点集合$V(G)$，而高速铁路线路区段则可以抽象为运输网络中的边集合$E(G)$。所有节点和边的组合形成了高速铁路运输网络G，其中$G=\{V(G), E(G), \psi_G\}$，ψ_G为点与边的关联函数。

若从网络映射的角度分析高速铁路运输网络G，需要同时考虑点与边的性质。高速铁路车站作

为节点在高速铁路网络中起着关键的作用。通过对节点设施设备的分析，可以得出其所能承受的最大通过能力，形成节点属性参数。高速铁路线路区段，即网络中的边，通过分析线路设计速度、设施设备配置方案，可以确定区段理论通过能力，形成边属性参数。

高速铁路列车运行区段和经过车站的有序组合形成列车运行径路，在网络图中表现为多个有向边与顶点的有序集合。基于高速铁路物理网络，考虑与客流需求结构的匹配协同，以运输组织模式作为宏观约束，可以确定某OD间的列车运行径路备选集，即可行的列车径路集合，并形成不同径路与线路区段的映射关系。

在列车径路网络基础上，进一步考虑列车停站、旅客乘降、换乘行为等因素，可将列车径路网络与客流需求融合，形成高速铁路服务网络，实现路网列车开行与客流需求的强耦合关系。通过基于服务网络的客流需求分配，一方面能够获得列车开行方案，另一方面能够识别和分析影响整体高速铁路运输网络能力的瓶颈。通过对瓶颈的识别，及时调整网络中关键要素的配置，如调整列车径路、增设线路区段或车站等，以提升整个铁路网络的运输能力和服务水平。

在服务网络基础上，进一步考虑运力资源在时空层面配置方案，可形成时空网络，实现对列车开行方案、列车运行图、动车所布局、动车组数量及周转等全要素刻画。若以高速铁路运输能力最大为目标优化列车运行图铺画，则该时空网络可称为面向高速铁路路网运输能力的时空网络，实现高速铁路路网运输能力的高效利用。在突发事件发生时，可通过高效智能调整列车运行图，有效提升高速铁路路网运输能力的韧性。高速铁路路网运输能力计算的网络类型如图4所示。

由上述分析，物理网络、需求网络和运输路径网络建立服务于高速铁路路网运输能力计算概念模型的基础参数准备，而计算路网运输能力的核心在于服务网络和时空网络的合理构建，及基于该网络的数学模型的建立与求解。服务网络构建的目的是根据客流需求合理求解得到列车开行方案，包括列车开行数量、区段、停站等信息；基于列车开行方案，建立时空网络是为了有效结合动车组资源、动车段所布局等情况，科学合理铺画列车运行图，并得到相应的动车组运用方案，从而实现路网运输能力的有效刻画。当需求数量过大，列车开行方案中并非所有列车均能在运行图中得到全部铺画，则需要建立列车开行方案与列车运行图和车底周转方案的迭代机制，实现三者间的协同优化，最终完成路网运输能力的有效计算。

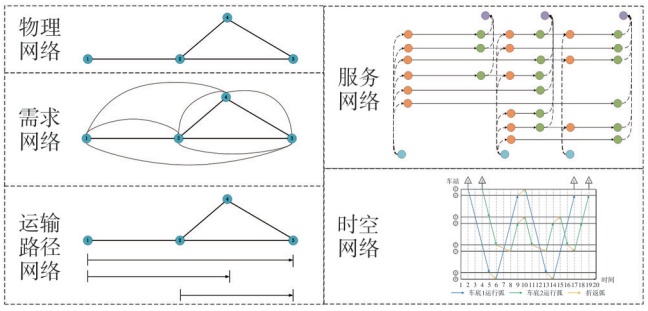


图4　高速铁路路网运输能力计算的网络类型

Fig.4　Network types in calculation of transportation capacity of high speed railway network

高速铁路路网运输能力计算概念模型如图5所示。首先，以不同线路和车站的技术参数、客流需求结构等作为参数输入，考虑客流分配策略、客流分配守恒等约束，以列车开行成本最小为目标函数，建立高速铁路服务网络优化模型，目的在于求解得到与客流需求结构相匹配的列车开行方案；以列车开行方案作为输入，协同动车组数量、追踪时间等参数，考虑动车组接续、列车越行等约束，以运输能力最大为目标，建立高速铁路时空网络优化模型，测试是否所有列车都能满足运行图铺画需求。通过建立服务网络和时空网络二者间的反馈迭代机制，实现高速铁路路网运输能力的计算求解，从而获取一定运输组织模式下与客流需求相匹配、满足固定设施和移动装备配置条件的高速铁路路网有效运输能力。

4　高速铁路路网运输能力运用优化方案

高速铁路网运输能力主要受到基础设施、移动装备和运输组织方案的影响，分别从以上3个方面提出高速铁路网运输能力运用优化方案。

4.1　基础设施能力利用优化

一是推进高速铁路网与普速铁路网合理分工。针对未来“八纵八横”高速铁路网建成后将形成大

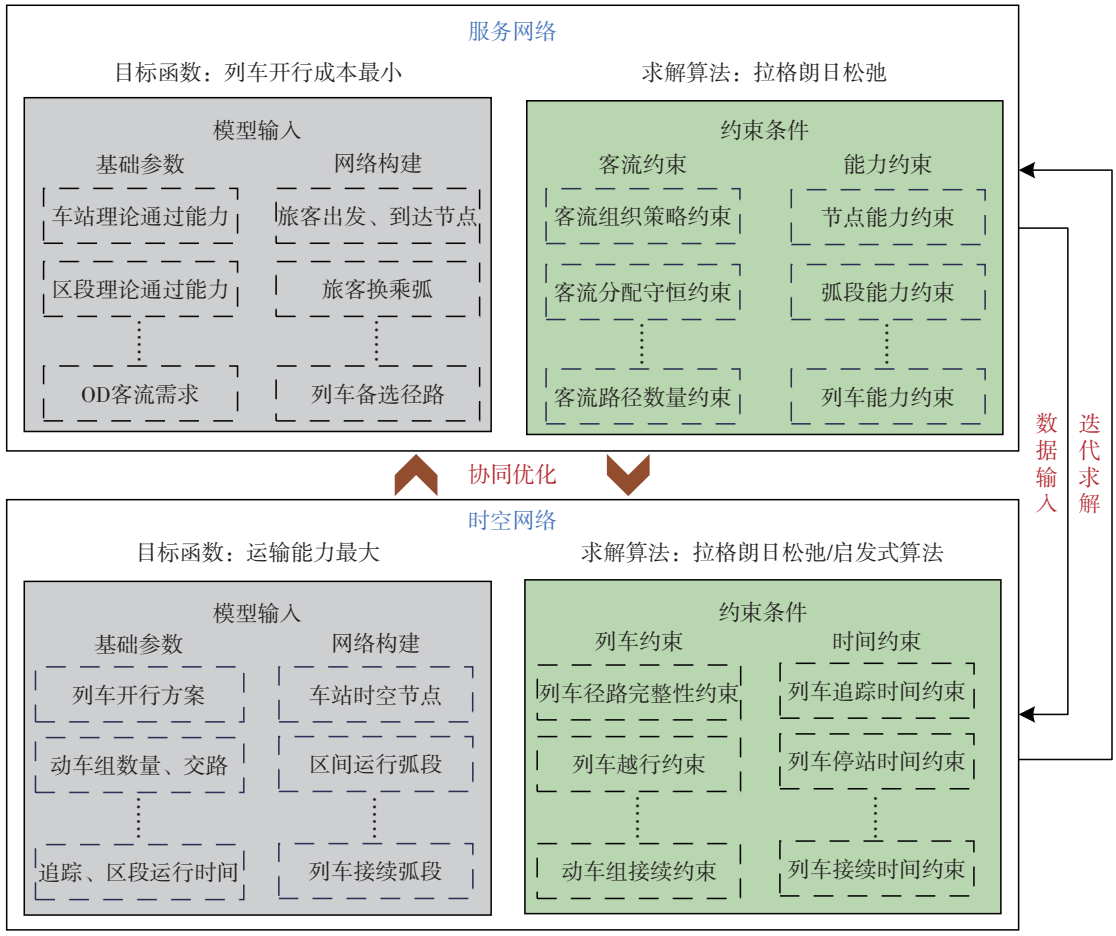


图5　高速铁路路网运输能力计算概念模型

Fig.5　Calculation conceptual model for transportation capacity of high speed railway network

量起讫点相同的高普平行通道的情况，充分发挥高速铁路网与普速铁路网各自优势，保持产品的多样性，兼顾不同层次旅客需求、兼顾经济效益和社会效益、兼顾客运需求和货运需求，实现双网合理分工、融合互补。在高普平行区段，合理安排列车等级、运行时刻、停靠站点等，引导普速客流向高速铁路转移，用满高速铁路通道能力，普速铁路以满足货运需求为主、兼顾客运。高速铁路主要服务于大中型城市之间的旅客运输，以日间开行当日达产品为主，面向商务、公务、通勤、探亲、旅游等客流，普速铁路主要服务于中、小城市与大城市连接的旅客运输，以夕发朝至、长距离卧铺列车产品为主，面向旅游、探亲等客流。

二是高速铁路枢纽节点能力利用优化。从前期研究成果看，部分高速铁路路网枢纽(节点)能力限制高速铁路网能力发挥，加强重要枢纽节点与高速铁路线路通道之间的能力协调匹配，释放路网综合能力。其主要途径是优化主要枢纽客站分工，综合考虑枢纽客站能力负荷、机辆检修运用、存车能力、市政配套等情况，对枢纽客站分工进行优化调整，将能力紧张车站的部分始发旅客列车，转移到技术条件具备、能力相对富余的其他车站办理，均衡客站间作业负荷，最大限度提高枢纽内设施利用效率，提升枢纽整体运力。

4.2　移动装备能力运用优化

一是完善常态化调配机制。坚持移动装备资源跟着运输需求走，实行动车组等移动装备在全路范围内的常态化调配，优化配置结构，同步调整检修布局和作业组织方式实现移动装备资源与通道能力、运输需求的协调匹配。

二是充分利用动车组修程修制改革成果。通过动车组修程修制改革，延长了动车组一级修里程，提升了可用动车组数量，在列车开行方案编制过程中，用满动车组一级修走行里程，压缩检修频次和

停时，优化动车组运用交路。其次，坚持动车组错峰检修，旺季多开、淡季送修，最大限度提高客流饱满时段供给能力。

4.3　运输组织模式优化

一是逐步推行接续换乘的旅客列车开行模式。优化调整旅客列车开行模式，以各城市群的中心城市为支点，以大型客运枢纽为换乘中心，逐步增加枢纽节点旅客列车的接续换乘，缩短超长运行距离列车的运行区段。以换乘中心为支点，科学设计列车开行框架，实现动车组列车与动车组列车、动车组列车与普速旅客列车运行时刻的有序衔接，便利旅客快速换乘。

二是动态调整优化列车开行方案。充分运用大数据手段，建立客运市场调查分析监测机制、列车效益评估机制和资源优化配置机制，实施好旅客列车“一日一图”。针对一、三季度客运旺季，二、四季度货运旺季的季节性运输规律，常态化实施“一季一图”，使运力资源的配置与不同季节的客货需求、设备维修施工相匹配。同时，通过调整列车径路缓解个别线路运输能力紧张状况，从而提升路网整体运用效率[20-21]。

5　案例分析

5.1　案例背景及研究范围

东北高速铁路网主要由中国铁路哈尔滨局集团有限公司、中国铁路沈阳局集团有限公司组成，是我国典型的区域性高速铁路网，节点密集、跨线列车占比高、枢纽能力约束显著。截至2024年底，东北高速铁路线路总长约4 838.5 km，涵盖京哈(北京朝阳——哈尔滨)、秦沈(秦皇岛—沈阳北)、沈大(沈阳北—大连北)、哈齐(哈尔滨西—齐齐哈尔)、哈牡(哈尔滨—牡丹江)、长珲(长春—珲春)、沈丹(沈阳南—丹东)等干支线，东北高速铁路网示意图如图6所示[22]，其中红色线条表示设计速度300 km/h

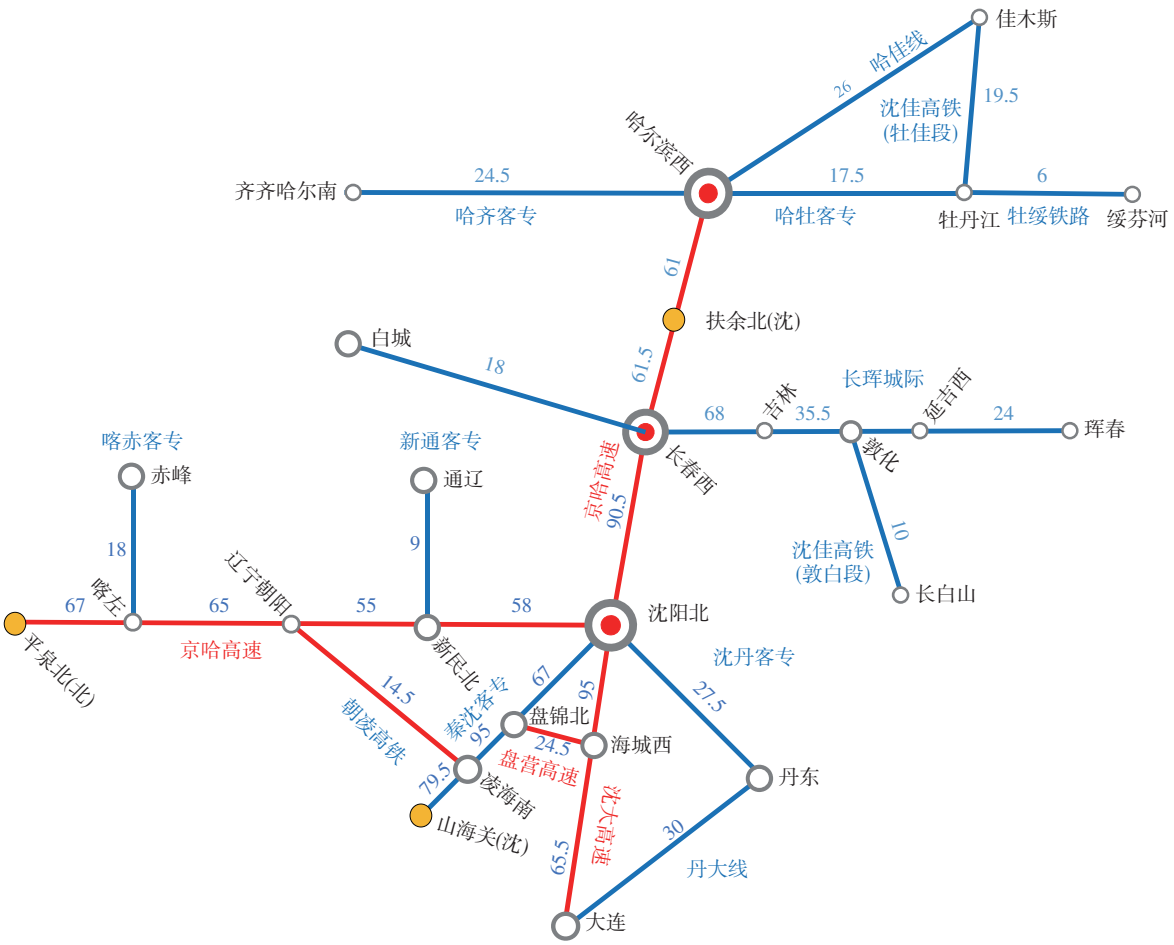


图6　东北高速铁路网示意图

Fig 6　Schematic diagram of northeast high speed railway network

及以上线路，蓝色线条表示设计速度200~250 km/h及以上线路，线条上数字表示开行动车组列车对数。

5.2　理论最大能力和有效运输能力计算

理论最大运输能力计算如式(1)所示，式中C^{theo}为理论最大运输能力，席位公里/d；N_l为区段日运行列车数，对/d，这里取值150；D_l为区段里程，km；S为列车定员，人/列车，这里取值550；L为所有区段。计算所有区段，可得东北高速铁路网全网理论最大能力为605 346 300席位公里/d。

$$C^{\text{Theo}} = \sum_{l \in L} 2 \times N_l \times D_l \times S \tag{1}$$

现实有效运输能力计算如式(2)所示，式中C^{Effect}为有效运输能力，席位公里/d；n_l为区段实际开行列车对数，对/d，如图6中区段上数字所示。计算所有区段，可得东北高速铁路网全网有效运输能力为221 960 310席位公里/d。

$$C^{\text{Effect}} = \sum_{l \in L} 2 \times n_l \times D_l \times S \tag{2}$$

东北高速铁路网理论最大能力与有效运输能力之间存在较大差距，有效运输能力一方面受到运输需求的影响，另一方面受到路网结构的影响(如沈阳枢纽能力约束)。本案例验证了前文提出的能力生成机理与计算体系的适用性，为高速铁路路网运输能力的定义和评估提供了可行的思路和方法。

6　结束语

通过分析影响高速铁路运输能力的主要因素，揭示了高速铁路运输能力的生成机理，定义了高速铁路网运输能力，按照考虑因素不同提出了高速铁路网运输能力体系结构及席位公里或人公里的评价指标，分析了高速铁路路网有效运输能力的计算概念模型，并基于路网能力主要影响因素提出了高速铁路网能力运用优化措施。研究提出的高速铁路路网运输能力生成机理、体系结构和评价指标，为高速铁路路网运输能力的研究提供了新的分析视角，具有一定的理论和现实意义。后续将结合高速铁路平行进路，开展列车径路优化，开展高速铁路路网运输能力运用优化研究。

参考文献：

[1] 中国国家铁路集团有限公司．中国国家铁路集团有限公司2024年统计公报[EB/OL]. (2025-03-05)[2025-03-11]. http：//www. china-railway. com. cn/xwzx/zhxw/202503/t20250305_143296. html.

[2] 徐辉章，张德福，范家铭，等．高速铁路通过能力利用研究综述[J]. 铁道运输与经济，2025，47(11)：18-35.
XU Huizhang，ZHANG Defu，FAN Jiaming，et al. A Review of Utilization of High Speed Railway Capacity[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(11)：18-35.

[3] 胡安洲，杨　浩．关于铁路运输能力问题的系列研究[J]. 铁道经济研究，1994(1)：39-41，43.

[4] 施其洲．铁路网络系统运输能力与车流路径模型[J]. 铁道学报，1996，18(4)：1-9.
SHI Qizhou. Models for Rail Network System Transportation Capacity and Traffic Pathing[J]. Journal of the China Railway Society，1996，18(4)：1-9.

[5] 何世伟，宋　瑞，戴新鎏，等．路网运输能力及计算方法的研究[J]. 铁道学报，2003，25(2)：5-9.
HE Shiwei，SONG Rui，DAI Xinliu，et al. Study on Optimal Methods for Evaluating the Carrying Capacity of Railroad Network[J]. Journal of the China Railway Society，2003，25(2)：5-9.

[6] 雷中林．铁路网系统运输能力可靠性理论研究[J]. 铁道学报，2008，30(4)：84-88.
LEI Zhonglin. Study on the Theory of Carrying Capacity Reliability of Railway Networks[J]. Journal of the China Railway Society，2008，30(4)：84-88.

[7] 雷中林，何世伟．铁路路网系统运输能力灵活性研究[J]. 铁道学报，2009，31(1)：26-30.
LEI Zhonglin，HE Shiwei. Study on the Carrying Capacity Flexibility of Railway Network[J]. Journal of the China Railway Society，2009，31(1)：26-30.

[8] 郑亚晶，张星臣．铁路路网系统运输能力的新算法研究[J]. 物流技术，2011，30(11)：65-68，74.
ZHENG Yajing，ZHANG Xingchen. Study on a Novel Algorithm for Railway Network System Carrying Capacity Calculation[J]. Logistics Technology，2011，30(11)：65-68，74.

[9] 郑亚晶，李雨恒，李耀辉．基于可达性的铁路路网抗毁性研究[J]. 铁道运输与经济，2019，41(10)：76-81.
ZHENG Yajing，LI Yuheng，LI Yaohui. A Study on

Survivability Analysis of Railway Network Based on the Accessibility[J]. Railway Transport and Economy，2019，41(10)：76-81.

[10] 李晓娟，韩宝明，李得伟. 高速铁路路网能力评估方法研究[J]. 综合运输，2013，35(2)：67-70.

[11] 纪丽君. 铁路网货物运输能力供给与运输需求适应性研究[D]. 北京：北京交通大学，2013.

[12] 张嘉敏，张嘉锐. 高速铁路网络能力计算研究[J]. 铁路计算机应用，2016，25(8)：16-20.
ZHANG Jiamin，ZHANG Jiarui. Calculation of Network Capacity for High Speed Railway[J]. Railway Computer Application，2016，25(8)：16-20.

[13] 姚　迪. 动车段所布局对高速铁路网络能力运用效率的影响分析[D]. 成都：西南交通大学，2018.

[14] 薛宇飞. 高速铁路网络能力研究[D]. 成都：西南交通大学，2018.

[15] 邓波尔. 考虑服务水平的高速铁路路网能力研究[D]. 成都：西南交通大学，2020.

[16] MALAVASI G，RICCI S. Carrying Capacity of Railway Networks：Interaction of Line and Node models[C]//BREBBIA C A，ALLAN J，HILL R J，et al. Computers in Railways Ⅶ. Southampton：WIT Press，2000：977-986.

[17] BURDETT R L. Multi-Objective Models and Techniques for Analysing the Absolute Capacity of Railway Networks[J]. European Journal of Operational Research，2015，245(2)：489-505.

[18] SZYMULA C，BEŠINOVIĆ N，NACHTIGALL K. Quantifying Periodic Railway Network Capacity Using Petri Nets and Macroscopic Fundamental Diagram[J]. Transportation Research Part C：Emerging Technologies，2024，158：104436.

[19] NIKOLAYZIK D，MAUS M，NIEßEN N. Investigation of Railway Network Capacity by Means of Dynamic Flows[J]. Applied Sciences，2024，14(18)：8233.

[20] 李　崇. 东北铁路运输能力适应性分析和补强措施研究[J]. 铁道货运，2024，42(11)：25-30.
LI Chong. Adaptability Analysis and Reinforcement Measures of Northeast Railway Transportation Capacity[J]. Railway Freight Transport，2024，42(11)：25-30.

[21] 于　剑，杨华峰，陆　瑶，等. 铁路运输能力紧张区段车流径路调整方法研究[J]. 铁道经济研究，2024(6)：71-78.
YU Jian，YANG Huafeng，LU Yao，et al. Method of Adjusting Traffic Flow Route in Busy Sections of Railway Transportation[J]. Railway Economics Research，2024(6)：71-78.

[22] 孙　民. 面向货车车流径路的铁路网点线通过能力数字化分析方法[J]. 铁路物流，2025，43(3)：1-8.
SUN Min. Digital Analysis Method for Railway Network Point and Line Passing Capacity for Freight Wagon Flow Routing[J]. Railway Logistics，2025，43(3)：1-8.

(责任编辑　魏　然)