

文章编号: 1674—8247(2023)05—0001—07

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.05.001

# 基于北沿江高速铁路开通的宁启铁路功能调整研究

孙 坚

(江苏省铁路集团有限公司, 南京 210012)

**摘 要:**探讨了北沿江高速铁路(沪渝蓉高速铁路)在我国“八纵八横”高速铁路沿江主通道中的重要性。随着北沿江高速铁路以及扬州站北东联络线的开通运营,需要对其同廊道的宁启铁路在多层次轨道交通中发挥的功能进行统筹规划。首先,基于运输需求发展趋势,对宁启铁路运量需求进行预测。接着,从通道客运功能和中长期货运功能两方面对宁启铁路功能定位进行调整和研究。最后,结合扬州站北东联络线的建设情况,对调整后的宁启铁路运能适应性进行分析。

**关键词:**北沿江高速铁路;宁启铁路;功能定位调整;运能适应性

中图分类号:U29

文献标志码:A

## A Study on Functional Adjustment to Nanjing-Qidong Railway Based on Shanghai-Chongqing-Chengdu High-speed Railway

SUN Jian

(Jiangsu Railway Group Co., Ltd., Nanjing 210012, China)

**Abstract:** This study explored the importance of Shanghai-Chongqing-Chengdu High-speed Railway as a key component of the main transportation corridor in China's "Eight North-South and Eight East-West" high-speed railway network along the Yangtze River. After Shanghai-Chongqing-Chengdu High-speed Railway and Yangzhou East Station Northeast Connection Line were put into operation, it is necessary to plan and coordinate the functions of Nanjing-Qidong Railway that shares the same corridor in the multi-level rail transportation system. For the purpose of this, first, the demand for transportation volume on Nanjing-Qidong Railway was predicted based on the development trend of transportation demand. Next, an adjustment was made to the functional positioning of Nanjing-Qidong Railway from the perspectives of passenger transportation functionality and medium- to long-term freight transportation functionality. Finally, considering the construction of the Yangzhou East Station Northeast Connection Line, an analysis was made to the transport capacity adaptability of Nanjing-Qidong Railway after adjustment.

**Key words:** Shanghai-Chongqing-Chengdu High-speed Railway; Nanjing-Qidong Railway; functional positioning adjustment; transport capacity adaptability

在北沿江高速铁路和扬州站北东联络线工程建成后,北沿江高速铁路与宁启铁路大体共通道布设,一方面加强了沿江城市的联系,另一方面也将释放宁启铁路的部分运能,宁启铁路的客货运功能也将

产生较大的变化。从政策层面来看,长三角地区将发展多层次轨道交通,廊道内各层级轨道交通应明确功能分工,以充分发挥运输优势并提升运输效率<sup>[1]</sup>。北沿江高速铁路作为国家沿江大通道干线铁路,适用

收稿日期:2023-08-11

作者简介:孙坚(1990-),男,工程师。

引文格式:孙坚. 基于北沿江高速铁路开通的宁启铁路功能调整研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(5): 1-7.

SUN Jian. A Study on Functional Adjustment to Nanjing-Qidong Railway Based on Shanghai-Chongqing-Chengdu High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5): 1-7.

于中长距离运输,其建设对于支撑长江经济带国家战略、优化长三角空间格局具有重要意义,同时也推动了地区高质量、一体化发展<sup>[2]</sup>。因此,需对宁启铁路在多层次轨道交通中所发挥的功能进行统筹考虑。针对地区货运发展趋势,以多式联运为核心的货运体系将发挥主导作用<sup>[3]</sup>,随着沿线港区铁路专区的建设,宁启铁路的货运功能应结合货运需求进行超前预留。

为预判北沿江高速铁路的影响,统筹区域铁路资源,并实现差异化分工,本文基于区域客货运需求,对北沿江高速铁路开通运营后宁启铁路功能定位调整进行思考,并对功能调整后的运能适应性进行验证。

1 运输需求解析

1.1 宁启铁路现状分析

宁启铁路是国家“八纵八横”铁路主通道的组成部分,对加快沿线港口和旅游资源的开发,促进地方经济发展具有重要意义<sup>[4]</sup>。宁启铁路是一条客货共线铁路,是我国少数几条能够让高速动车、普速旅客列车和货物列车混合行驶的线路。

宁启铁路现状以客运为主,根据中铁上海工程局集团有限公司运行图资料,2021年最大区段泰州至海安段图定开行47对客车(37对动车组及10对普速客车),货流密度重车方向69万t,主要为钢铁、化肥农药、集装箱。宁启铁路现状客货运量如表1所示。

表1 宁启铁路现状客货运量表

年度	客流密度/万人	图定客车对数/对			货流密度/万t	
		动车	普速	合计	上行	下行
2019年	607	15	11	36	35	60
2020年	444	32	12	44	41	82
2021年	470	37	10	47	39	69

1.2 运输需求发展趋势研判

1.2.1 客运发展

从城市群都市圈、城市毗邻地区、都市圈内部的角度分析客运需求发展趋势。一是城市群和都市圈地区客运需求快速增长。目前国家已将长三角一体化、粤港澳大湾区、京津冀协同发展上升为国家重要发展战略,与此同时,7个(南京、福州、成都、长株潭、西安、重庆、武汉)国家级都市圈发展规划也已获批。城市群是经济活动的重要增长极,而都市圈则是推进新型城镇化的重要手段和城市群的核心载体<sup>[5]</sup>。经济活力带动了地区间的高频出行,推动了交通需求的快速发展。二是城市毗邻地区的城际出行发展迅速。在城际交通需求日趋旺盛的背景下,城市毗邻地区的城际出行呈现高频次、规律性、向心性的特点。新建

通道的运行将在很大程度上缓解和突破传统平行通道的运能限制,将运能聚焦于城际出行。三是都市圈内部出行的通勤化特征更加明显。随着都市圈空间布局形态的持续发展,往往具有紧密通勤联系、整体职住平衡的特征。这将更加发挥各地区节点相应的功能,城市人口将向城市边缘城镇转移,居住、商业、办公等需求将呈现分化趋势<sup>[6]</sup>。

1.2.2 货运发展

从大宗物资、轻量化货物、电子商务等角度分析货运发展趋势。一是大宗物资运输需求增长放缓。随着地区产业结构进一步优化调整,煤炭等能源实施减量替代、淘汰落后产能,钢铁等重工业布局由沿江、环太湖地区向沿海地区转移,加之地区内河航运发达,使得铁路煤炭、钢铁等大宗物资货运强度有所下降。二是轻质化、高附加值货运需求加快增长。随着地区经济和产业转型升级步伐不断加快,高新技术产业带发展带来高附加值货物运输比重不断上升,集装箱运输、轻快货运需求逐步旺盛。集装箱运输目前已成为货运发展的主要方向<sup>[7]</sup>,高铁快运、空铁联运亟待发展。三是电子商务的蓬勃发展催生新的需求。沿江各市充分发挥区位优势和交通优势,强化物流枢纽的作用,进一步推动电商产业高质量发展。电子商务货运产品具有价高、质轻、批量少、批次多的特点,电子商务对货运最主要的影响在于货运班次的快速增长。

1.3 通道运输需求

1.3.1 客运需求分析

本文利用交通规划软件TransCAD,采用四阶段流量预测法,以扬州为研究对象,建立客流预测模型并对客运需求进行预测分析。

根据通道运输需求,对扬州市前往沿江城市的城际间铁路客流进行分析。截至2045年,扬州市区域内城际间铁路出行将达到单日4万人次,其中南京方向的城际旅客占到一半,泰州、南通方向的城际旅客超过单日1万人次。城际间铁路客流分析占比如图1所示。

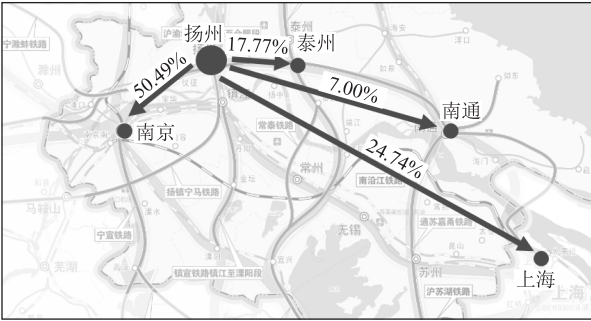


图1 城际间铁路客流分析占比图

根据通道运输需求,上海—南京通道远期运输需求达到 1.6 亿人,结合通道各线提供的运输服务,江北两条线路共需承担 3 400 万人,其中北沿江高速铁路将分担 2 800 万人,宁启铁路分担 550 万人。截至 2045 年,宁启铁路将承担 16% 上海—南京方向的客流,在满足江北地区普速客货运需求的情况下,考虑宁启铁路兼顾城际运输功能<sup>[8]</sup>。宁启铁路远期仍将承担 20 对动车组客车及 10 对普速客车。上海—南京通道各铁路线路流量分配情况如表 2 所示,各铁路线路示意如图 2 所示。

表 2 上海—南京通道各铁路线路流量分配情况表			
线路	初期/万人	近期/万人	远期/万人
京沪高速铁路	3 520	3 862	4 432
沪宁城际铁路	3 654	4 063	4 510
苏南沿江铁路	1 549	2 121	2 734
京沪铁路	1 324	1 295	1 247
沪渝蓉高速铁路沪宁段(北沿江高速铁路)	1 773	2 389	2 835
宁启铁路	456	482	550
通道合计	12 276	14 212	16 310

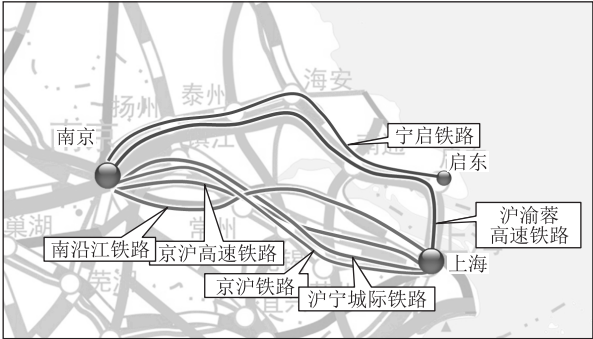


图 2 上海—南京通道各铁路线路示意图

1.3.2 货运需求分析

以扬州为研究对象进行货运需求分析,扬州地区货运发展以主要港口、物流园区及重点企业为重点,致力于畅通铁路运输的“最先一公里”和“最后一公里”。扬州规划建设江都港区专用线、仪征港区专用线、仪征汽车物流园专用线、苏中空港物流园专用线。改扩建既有仪征站货场和江都站货场,规划布局 2 个三级铁路物流基地,并结合扬州东存车场规划高速铁路快运基地。扬州铁路货运布局如图 3 所示。

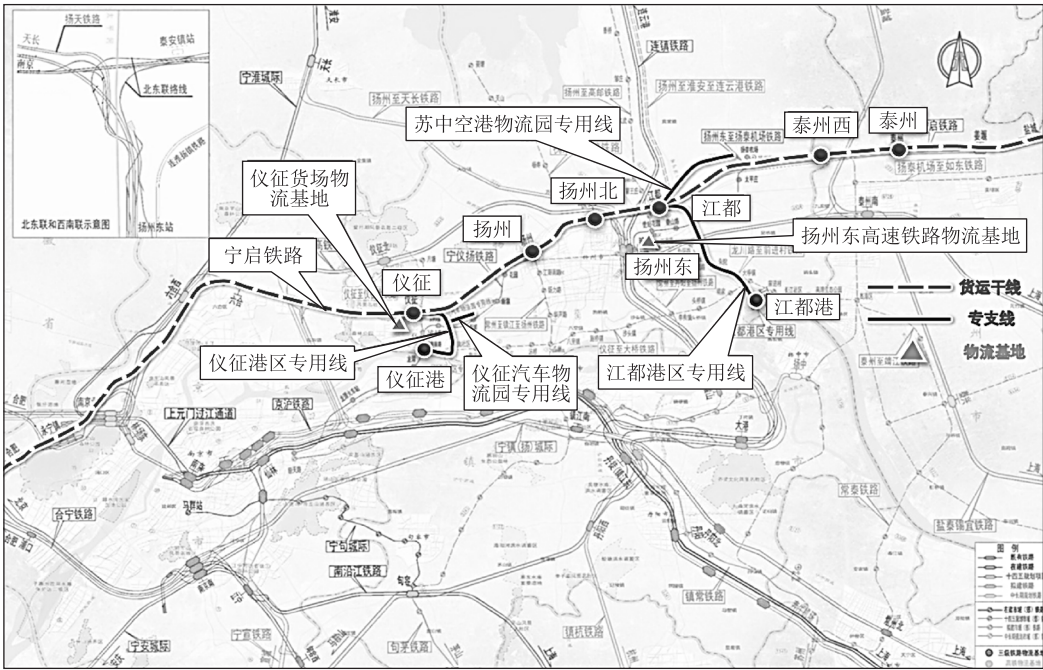


图 3 扬州铁路货运布局图

随着通道北沿江高速铁路建成通车,通道的客运需求主要由北沿江高速铁路承担,这将使得宁启铁路的运能得到释放,从而更好地服务货运需求。随着公转铁、海铁联运的进一步发展,宁启铁路将承担沿线港口与内陆腹地间的运输需求,主要以集装箱为主。

根据规划,宁启铁路是沿江铁路货运通道的组成部分,承担的运量主要来自沿线港口及上海港的海铁联运。根据区域货运需求分析及沿江货运以轻质为主的发展趋势,宁启铁路将承担约 1 000 万 t 的运输任务。宁启铁路承担货运量如表 3 所示。



表 3 宁启铁路承担货运量表			
区段	2030 年/万 t	2035 年/万 t	2045 年/万 t
南京—南通	670	763	982

2 宁启铁路功能定位调整策略

2.1 功能调整思路

“十四五”时期,随着连淮扬镇铁路的开通运营、北沿江高速铁路的开工建设以及扬州东站北东联络线的加快推进,宁启铁路的能力也将得到大幅释放。区域铁路发展将逐渐向“客货并举、强化货运”方向转变。

2.2 通道客运功能及分工

本次研究重点分析北沿江高速铁路和宁启铁路的线路功能差异化。这两条铁路是该地区主要的对外出行线路。

(1)北沿江高速铁路主要承担大通道中长途出行,宁启铁路侧重中短途城际及普速客运出行需求

北沿江高速铁路是中长期铁路网规划“八纵八横”之沿江通道的骨干线路,主要承担长江中上游、胶东半岛等地区往长三角地区的中长途客流,以及郑州以远、南昌以远与长三角地区的中长途客流;宁启铁路主要服务江苏省苏中沿江地区的城际客流,侧重满足中短途的出行需求。沿江通道(北沿江高速铁路)与宁启铁路走向如图 4 所示。

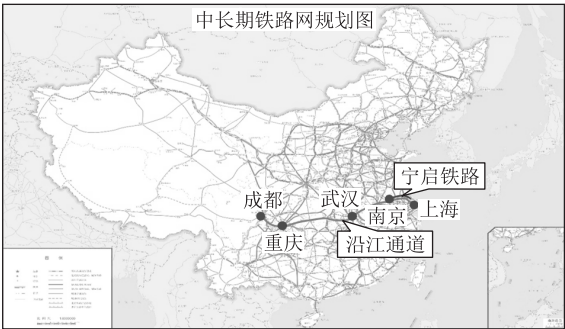


图 4 沿江通道(北沿江高速铁路)与宁启铁路走向示意图

随着长三角区域一体化、南京都市圈的发展,区域同城化、通勤化的出行需求不断提升。宁启通道内北沿江高速铁路更多的是承担国内大通道中的中长途距离出行,但对于区域内较短途的城际出行需求无法完全满足。

(2)北沿江高速铁路主要考虑重大经济节点,宁启铁路更多兼顾城镇经济节点

铁路经过城镇的影响可用铁路车站吸引范围来

分析,铁路车站吸引范围分为直接吸引范围和间接吸引范围。直接吸引范围是指旅客可以通过步行或乘坐市内交通工具直接到达车站的区域,间接吸引范围是指旅客需要通过其他方式经过换乘才能到达车站的区域。

北沿江高速铁路作为国家沿江大通道,更注重大通道线路的顺直性,因此在站点设置上更多地考虑了重要经济节点,而未兼顾中小城镇的需求。宁启铁路主要服务于苏中沿江地区的城际客流,因此在站点设置上更多地兼顾了城镇经济节点的发展,站点更加靠近城区。北沿江高速铁路与宁启铁路沿线城镇如图 5 所示。

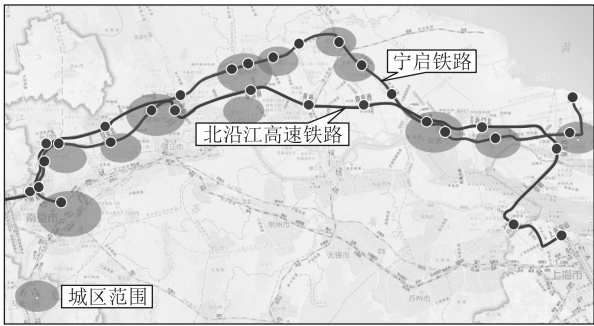


图 5 北沿江高速铁路与宁启铁路沿线城镇示意图

(3)宁启铁路在短途出行上能满足城市群、都市圈 1~2 h 出行圈的要求。

根据发改基础〔2020〕529 号《长江三角洲地区交通运输更高质量一体化发展规划》,长三角地区将围绕上海大都市圈和南京、杭州等都市圈,以城际铁路、市域(郊)铁路、城市轨道交通、城市快速路等为骨干,打造都市圈 1 h 通勤圈。宁启铁路在短途城际出行方面,出行时间 1~2 h,能够满足城市群、都市圈 1~2 h 出行圈的要求。同时,由于宁启铁路开行的是城际客运动车,在票价上也具有一定的优势。北沿江高速铁路、宁启铁路、长途客车的出行时间和费用对比如表 4 所示。

表 4 北沿江高速铁路、宁启铁路、长途客车出行时间和费用对比表(以扬州为例)

项目	起终点	北沿江 高速铁路	宁启 铁路	公路交通
出行时间 /min	扬州—南京	38	51	105
	扬州—泰州	20	35	90
	扬州—南通	55	100	150
票价/元	扬州—南京	60	35	45
	扬州—泰州	35	22	25
	扬州—南通	85	53	60

(4)利用宁启铁路开行市域(郊)列车方案

利用既有宁启铁路开行市域(郊)列车,以扬州为例,线路经过仪征、扬州、江都、郭村为扬州与南京、泰州一线通勤客流提供公交化运营服务。此举将推动沿江城市群一体化发展,并带动扬州市区内蜀冈—瘦西湖、茱萸湾等重要旅游景点的交通联系。在景点周边设站,有助于解决扬州旅游“最后一公里问题”,加强扬州、泰州一线至扬泰机场的轨道交通联系,缩短机场与城区间轨道交通通达时间,充分发挥既有资源价值,节约工程成本。宁启铁路扬州段开行市域(郊)列车站点布局如图 6 所示。

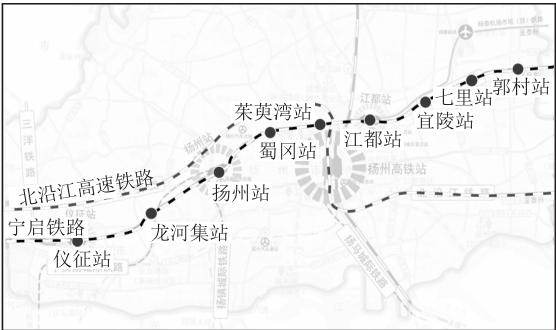


图 6 宁启铁路扬州段开行市域(郊)列车站点布局示意图

综上所述,宁启铁路目前是一条以客运为主的线路,未来将是上海及苏中地区与南京以西、以北方向交流的重要运输线路,是区域多层次轨道交通的重要组成部分,主要承担沿线旅客短途城际出行及普速出行,同时在有条件的情况下,也可兼顾市域(郊)出行。

3 中长期货运功能分析

3.1 宁启铁路现状货运水平分析

近年来,宁启铁路的货运水平较低,一直维持在 100 万 t,仅占全社会货运量的 0.3% 左右。宁启铁路经过的扬州市 2019 年的水路货运量占比超过了公路货运量占比,达到 58.38%,充分发挥了水运资源的优势,初步实现了运输结构调整。区域大宗货物主要由水运和新长铁路共同承担。扬州区域货运格局如图 7 所示。

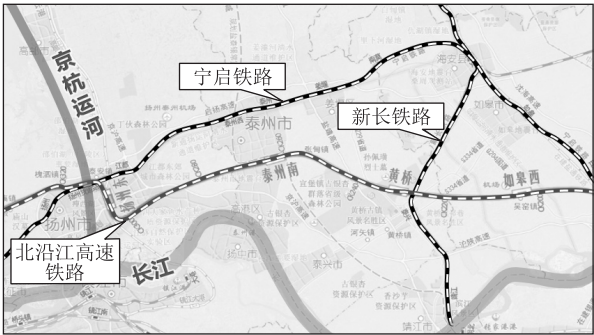


图 7 扬州区域货运格局图

3.2 宁启铁路货运发展趋势分析

区域经济和产业布局特征决定了货运的煤炭、石油等大宗货物调入和大量产成品调出,且大宗货物调入主要依赖长江水系和大运河水系。

随着上元门、七乡河过江通道的建成,南京长江大桥的运能将得到释放,这将增强宁启铁路承担的货运功能。未来将有多条港区铁路专用线接入宁启铁路,这将加快货物的周转效率,减轻了货物对城市道路的依赖,并为宁启铁路带来较大的诱增货流。未来铁路货运需求朝着高附加值、小批量的方向转变。集装箱作为铁路货运的重要增长极,随着“海铁(铁水)联运”等多式联运的进一步发展,将采用统一标准的集装箱运输。区域铁路货运未来的主要增长点是以集装箱为主的快捷货运,铁路将主要承担更多高附加值的轻质货物运输。

3.3 宁启铁路中长期货运功能定位

通过对宁启铁路现状货运水平及发展趋势的分析,可以从货运特征、货运现状和趋势等方面对其货运功能进行定位。

在货运特征方面,区域经济和产业布局特征决定了货运以煤炭、石油等大宗货物调入和大量产成品调出,且大宗货物调入主要依赖长江水系和大运河水系。

在铁路货运现状方面,宁启铁路目前的货运水平较低,近年来一直维持在 100 万 t 左右,仅占全社会货运量的 0.3%。

在铁路货运趋势方面,区域铁路货运未来主要增长点在以集装箱为主的快捷货运,主要承担更多高附加值的轻质货物运输。

因此,宁启铁路目前是一条以客运为主的线路。随着过江通道的建成以及多式联运的进一步发展,宁启铁路将发展成为一条满足多式联运需求和沿线港口、沿江货运需求的客货混运大能力快速通道。

综合以上对通道客运功能及分工和中长期货运功能分析,可以将宁启铁路功能定位为:宁启铁路目前是一条以客运为主的线路,未来将是上海及苏中地区与南京以西、以北方向交流的重要运输线路,是区域多层次轨道交通的重要组成部分,主要承担沿线旅客短途城际出行及普速出行,在有条件的情况下,也可兼顾市域(郊)出行;是发展多式联运,满足沿线港口和沿江货运需求的线路,是一条客货混运的大能力快速通道。

4 宁启铁路运能适应性验证

4.1 宁启铁路运量

根据对宁启铁路运输需求预测的分析,宁启铁路

承担的通道客货运输需求如表 5 所示。

表 5 宁启铁路客货流密度、旅客列车对数表

区段	客运对数/对			货流密度/万 t		
	2030 年	2035 年	2045 年	2030 年	2035 年	2045 年
南京—扬州	24	25	28	670	763	982
扬州—泰州	24	24	33			

考虑到扬州站北东联络线(南京方向)拟利用宁启铁路的一段区间,设计运量初、近、远期分别为 6 对、7 对和 33 对动车组客车。通过编制扬州地区的客车运行图,得到扬州站至西院所承担客车近、远期分别为 32 对和 61 对,如表 6 所示。

表 6 考虑扬州站北东联络线引入宁启铁路后的客货运量表

区段	客运对数/对			货流密度/万 t		
	2030 年	2035 年	2045 年	2030 年	2035 年	2045 年
南京—扬州	24	25	28	670	763	982
扬州—西院所	30	32	61			
扬州—泰州	24	24	33			

4.2 扬州站北东联络线对运能的影响

根据扬州站北东联络线(南京方向)的最新项目进展,南京方向的联络线采取预留条件的方案,本次按考虑南京方向联络线进行研究。因扬州站北东联络线(南京方向)利用一段宁启铁路区间引入部分客车,扬州站至西院线路所段成为宁启铁路能力限制区段,因此着重对该段进行适应性分析。

4.3 运输组织分析

扬州站北东联络线(南京方向)引入宁启铁路后,宁启铁路扬州站至西院线路所段的客车开行对数增加较为显著,尤其是远期建成扬马扬镇段(扬镇三四线)后,扬州站至西院线路所段的客车对数为近期 32 对、远期 61 对。据预测,宁启铁路开行的货物列车近期 15 对、远期 18 对。扬州地区客车列流图(扬马扬镇段远期建成)如图 8 所示。

4.4 能力适应性分析

根据相关规定,设计为客(动)货共线、动车组最高按 160 km/h 运行的线路以及经中国国家铁路集团有限公司同意按照运行动车组列车进行适应性改造的线路在开行动车组列车时,动车组与货车在区间不交会。特快货物班列、集装箱班列(不含敞顶箱)可与动车组在区间交会。

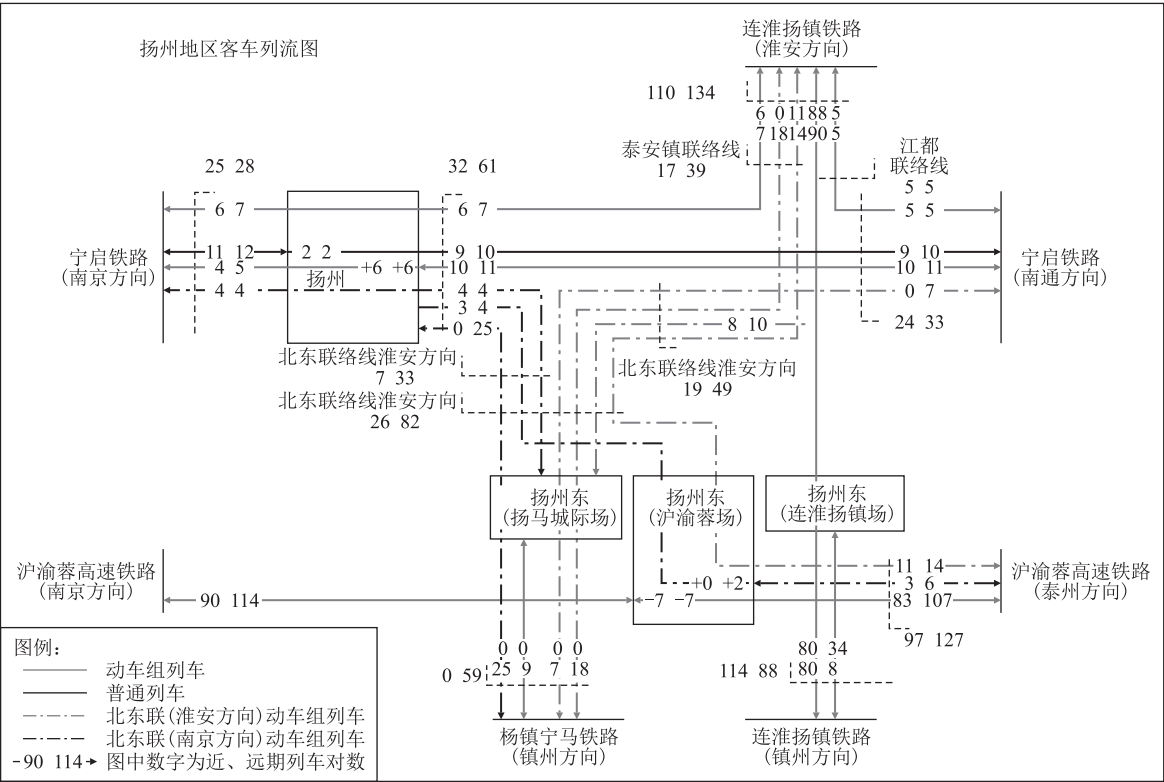


图 8 扬州地区客车列流图(扬马扬镇段远期建成)

宁启铁路扬州站至西院线路所区段线路的设计速度为 160 km/h,开行数量较多的动车组列车,与集

装箱和快运班列以外的货车在区间不交会。本研究暂不考虑市域(郊)列车,经计算,宁启铁路区间通过



能力可以满足运输需求。宁启铁路能力适应性分析 如表 7 所示。

表 7 宁启铁路能力适应性分析表

线别	区段	近期				远期			
		客车对数 /对	货车对数 /对	通过能力 /对	能力利用率 /%	客车对数 /对	货车对数 /对	通过能力 /对	能力利用率 /%
宁启 铁路	仪征—扬州	25	15	188	41	28	18	188	47
	扬州—西院线路所	32	15	188	50	61	18	188	76
	西院线路所—泰州	24	15	188	40	33	18	188	53

5 结束语

宁启铁路作为江苏中部一条重要的铁路通道,在同廊道的北沿江高速铁路建成后,其功能定位的调整对于区域铁路资源的统筹和差异化分工具有重要意义,同时也对宁启铁路、北沿江高速铁路等区域线路的可持续发展具有重大影响。本文以运输需求发展趋势的研判为基础,对宁启铁路运量需求进行预测,并从通道客运功能和中长期货运功能两方面对其功能定位进行调整研究。根据研究成果宁启铁路的功能定位为:上海及苏中地区与南京以西、以北方向交流的重要运输线路;区域多层次轨道交通的重要组成部分;主要承担沿线旅客短途城际出行及普速出行,在有条件的情况下也可兼顾市域(郊)出行;发展多式联运,满足沿线港口、沿江货运需求的线路;是一条客货混运的大能力快速通道。最后结合扬州站北东联络线的建设对宁启铁路运能适应性进行分析,调整后宁启铁路的区间通过能力可以满足运输需求。后续还可对宁启铁路重点培育沿线城镇节点城际市域郊客流、提升沿线综合开发强度、对既有铁路货场进行改造和发展以集装箱运输为主的多式联运等方面作进一步深入研究。

参考文献：

[1] 蔡润林,何兆阳,杨敏明. 轨道交通四网融合的发展需求、内涵和路径:以长三角城市群为例[J]. 城市交通, 2022, 20(5): 13 – 22, 30.  
CAI Runlin, HE Zhaoyang, YANG Minming. Development Demand, Connotation and Path of Four-network Integration of Rail Transit: a Case Study of Yangtze River Delta City Cluster [J]. Urban Transport of China, 2022, 20(5): 13 – 22, 30.

[2] 黄令海. 沪渝蓉高速铁路引入上海枢纽方案研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(3): 112 – 116.  
HUANG Linghai. A Study on the Scheme of Linking Shanghai-

Chongqing-Chengdu High-speed Railway with Shanghai Railway Hub [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(3): 112 – 116.

[3] 朱燕春. 长三角区域一体化背景下江苏多式联运集聚发展分析[J]. 综合运输, 2020, 42(4): 94 – 99.  
ZHU Yanchun. On the Development Strategy of Jiangsu Multimodal Transport Cluster under the Background of Regional Integration of the Yangtze River Delta[J]. China Transportation Review, 2020, 42(4): 94 – 99.

[4] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路客货运输专刊[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.  
China State Railway Group Co., Ltd. Special Issue of Railway Passenger and Freight Transport [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2020.

[5] 孙宝. 多网融合背景下江苏省都市圈市域(郊)铁路发展规划研究[J]. 铁道运输与经济, 2022, 44(7): 21 – 28.  
SUN Bao. Research on the Development Planning of Urban( Suburban ) Railways in Metropolitan Areas of Jiangsu Province under Multi-network Integration [J]. Railway Transport and Economy, 2022, 44(7): 21 – 28.

[6] 汪光焘,李芬,刘翔,等. 新发展阶段的城镇化新格局研究: 现代化都市圈概念与识别界定标准[J]. 城市规划学刊, 2021(2): 15 – 24.  
WANG Guangtao, LI Fen, LIU Xiang, et al. New Patterns of Urbanization in the New Development Stage-The Concept and Identification Standards of Modern Metropolitan Areas [J]. Urban Planning Forum, 2021(2): 15 – 24.

[7] 汤冕. 铁路现代主要物流形式发展趋势[J]. 铁道建筑技术, 2021(7): 183 – 186.  
TANG Mian. Development Trend of Main Railway Modern Logistics Form [J]. Railway Construction Technology, 2021(7): 183 – 186.

[8] 杨岳勤. 长三角沪宁间铁路通道功能分析及对策研究[J]. 中国铁道科学, 2019, 40(5): 103 – 109.  
YANG Yueqin. Functional Analysis and Countermeasure Research of Railway Passage between Shanghai and Nanjing in Yangtze River Delta [J]. China Railway Science, 2019, 40(5): 103 – 109.