文章编号：2097-5899(2026)02-0013-09　　**中图分类号**：U294.1　　**文献标识码**：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202502230001
引用格式：王兴中，杨在旭，宋宗莹，等. 列车群组运行对国家能源集团重载铁路线路通过能力的提升效果研究[J]. 铁路物流，2026，44(2)：13-21.
WANG Xingzhong，YANG Zaixu，SONG Zongying，et al. Research on Effectiveness of Train Group Operation in Enhancing Line Capacity of CHN Energy's Heavy-Haul Railway Lines[J]. Railway Logistics，2026，44(2)：13-21.

列车群组运行对国家能源集团重载铁路线路通过能力的提升效果研究

王兴中[1]，杨在旭[2]，宋宗莹[1]，陈宝清[2]，赵　军[2]

(1. 中国神华能源股份有限公司 煤炭运输部，北京　100011；2. 西南交通大学 交通运输与物流学院，四川 成都　611756)

摘　要：当前国家能源集团正在大力推进实施重载列车群组运行控制系统，研究列车群组运行对重载铁路线路通过能力的提升效果，有助于科学评估列车群组运行系统的经济社会效益。首先介绍了国家能源集团重载路网概况，其次分析了群组运行下列车追踪过程及重载铁路线路通过能力计算方法，最后，对列车群组运行下国家能源集团重载路网各线路通过能力进行计算，并分析其能力提升效果。结果表明，列车群组运行能够有效缓解国家能源集团重载铁路运输能力紧张的问题。基于计算结果提出了针对国家能源集团线路通过能力优化的建议，为我国重载铁路运输组织的优化及发展提供参考。

关键词：重载铁路；能力计算；群组运行；运输组织；神华铁路

0　引言

国家能源投资集团有限责任公司(以下简称“国家能源集团”)神华铁路作为我国重载铁路的代表，是我国煤炭、矿石等大宗货物运输的关键网络，为国家能源供应和资源运输提供了重要保障。随着我国经济的快速发展和能源需求的不断增长，货物运输需求不断攀升，现有线路运输能力已难以满足实际需求，部分区段在运输高峰期接近饱和状态，导致货物积压和运输效率降低，制约了整体运输效能的提升。如何在现有线路基础上提升线路通过能力，已成为国家能源集团亟待解决的关键问题。2022年，国家能源集团立项重大科技攻关项目“重载列车群组运行控制系统技术研究与应用”，由中国神华能源股份有限公司组织实施，北京全路通信信号研究设计院集团有限公司、中南大学、西南交通大学共同承担。项目预期将在国内率先突破3.5万t级长大重载列车操控关键技术难题，万吨组合列车发车间隔可压缩至5 min。当前，研究列车群组运行对重载铁路线路通过能力的提升效果，有助于科学评估该系统的经济和社会价值。

重载铁路具有运力需求高、运行条件复杂等特点，国内外学者持续致力于重载铁路能力的研究。褚文君[1]从线路条件和运输组织2个角度，将单线重载铁路的列车分为2类，提出基于车间调度问题的优化铺画方法，旨在最大化重载铁路的运力评估。王军[2]构建列车混合开行模式下重载线路的通过能力计算模型，并应用灰色系统理论研究单线重载铁路能力提升的技术途径。Dingler等[3]研究单线重载铁路列车异质性对能力的影响，通过仿真验证列车速度、加速度、制动、功率及优先级所带来的列车延误。

收稿日期：2025-02-23
通信作者：赵军(1986—)，男，四川宜宾人，西南交通大学交通运输与物流学院教授。
基金项目：中国神华能源股份有限公司科研项目(GJNY-22-7/2300-K1220053)

近年来，随着先进的无线通信和控制技术的发展，对虚拟编组技术及列车群组运行技术的研究逐渐增多。Di Meo 等[4]通过对比虚拟编组与常规闭塞方式的通过能力，发现虚拟编组下能力可达常规闭塞的 5 倍。Roscoe 等[5]考虑北美铁路信号及列控系统，通过仿真对比分析不同闭塞方式下的通过能力，研究移动闭塞在单、双线货运铁路上的应用潜力。Choobchian 等[6]通过优化列车控制算法，并考虑稳定性，实现了移动闭塞下列车编队追踪运行，并研究其在重载铁路上的应用。张辰东等[7]对重载列车群组控制系统的整体架构和关键技术进行研究。倪少权等[8]提出多元群组列车与单列车混行情况下双线多装卸站重载铁路的群组计划编制及优化方法。宋宗莹等[9]从列车控制理论、运行条件及运输组织模式适应性 3 个方面，对列车群组运行下重载铁路运输组织的挑战与未来研究方向做出综述研究。

同时，国内已有学者对神华铁路网的现有运输组织环节及能力情况进行评估及优化。关达等[10]利用分析计算法，基于现有实际运营数据分析包神铁路能力现状，识别线路瓶颈并给出改进措施。段宏海等[11]研究神华铁路货物列车动态开行方案编制优化问题。宋宗莹等[12]基于神华铁路实际数据，开展状态修检修模式模拟试验，对所涉及环节及体系规范等进行适应性验证，为状态修运输组织模式的优化与完善提供支撑。同时，近年来学者[13-15]针对神华铁路的列车工作计划、机车工作计划、空车调配方案等作业组织进行了初步研究。

综上，针对重载铁路线路通过能力的既有研究相对较少，为解决神华铁路能力紧张的问题，亟需开展运输组织技术上的革新。随着列车群组运行技术的发展，其可以成为提高重载铁路通过能力的新解决方案，能够大幅度提高既有线路的通过能力。因此，以国家能源集团神华铁路网为研究对象，探讨列车群组运行对其线路通过能力的提升效果，为神华铁路运输组织的优化提供基础。

1　国家能源集团重载路网概况

1.1　重载路网构成

神华铁路作为国家能源集团的重要组成部分，肩负着陕西、内蒙古等地区自产及外购煤炭的外运重任，是“西煤东运”的主要运输通道，在煤炭等大宗货物运输上发挥着重要的作用。目前，神华铁路网络覆盖广泛，包括包神铁路：包神线(包头—神木)、神朔线(大柳塔—朔州)、甘泉线(甘其毛都—万水泉南)和塔韩线(塔河—韩家园)；新朔铁路：巴准线(巴图塔—点岱沟)、大准线(大同—薛家湾)和准池线(外西沟—神池南)；朔黄铁路：朔黄线(神池南—黄骅港)、黄万线(黄骅南—万家码头)和黄大线(黄骅南—大家洼)等多条重要的煤炭运输线路，总运营里程达 2 408 km，神华铁路网示意图如图 1 所示。

1.2　重载铁路能力现状分析

神华重载路网年度列车运行图图定运输能力 5.88 亿 t，其中煤炭运输能力 5.5 亿 t，非煤运输能力 0.38 亿 t，神华铁路网线路与能力情况如表 1 所示。整体分析可知，双线铁路线路相对单线铁路，普遍铺画列车对数更多，输送能力更强，但存在能力匹配和分布不均问题。例如，巴准线和大准线等线路均体现出

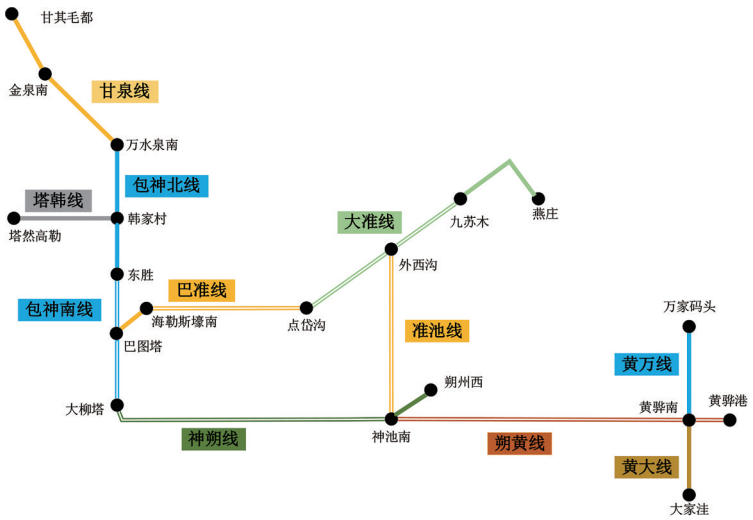


图1　神华铁路网示意图

Fig.1　Illustration of Shenhua Railway network

表1　神华铁路网线路与能力情况

Tab.1　Line situation and capacity of Shenhua Railway network

铁路公司	线路名称	线路情况	开行列车种类	图定能力
国能包神铁路集团有限责任公司	包神线	同时存在单、双线区段	普通列车和万吨列车	北线列车31对/d、通勤车1对/d，图定能力4 400万t；南线东胜—大柳塔间列车80对/d，图定能力1.65亿t
	神朔线	同时存在单、双线区段	普通列车和万吨列车	列车115对/d，图定能力2.96亿t
	甘泉线	单线	普通列车和万吨列车	北段列车18对/d，图定能力2 300万t；南段列车9对/d，图定能力1 150万t
	塔韩线	单线	普通列车	列车3对/d，图定能力450万t
国能新朔铁路有限责任公司	巴准线	同时存在单、双线区段	普通列车和万吨列车	单线区段列车16对/d，图定能力2 600万t；双线区段列车32对/d，图定能力6 900万t
	大准线	同时存在单、双线区段	普通列车和万吨列车	列车104对/d，双线区段图定能力2.16亿t，单线区段图定能力9 850万t
	准池线	双线	普通列车和万吨列车	列车46对/d，图定能力1.06亿t
国能朔黄铁路发展有限责任公司	朔黄线	双线	普通列车、万吨列车和2万吨列车	列车100对/d，图定能力4.19亿t
	黄万线	单线	普通列车	列车40对/d，图定能力5 500万t
	黄大线	单线	普通列车和万吨列车	列车18对/d，图定能力4 100万t

单双线能力存在明显不匹配的情况，单线区段能力较弱，在一定程度上会制约整个线路乃至区域内的运输效率提升。

2　列车群组运行原理

2.1　列车群组运行概念

列车群组运行为近年来为提高运输效率，通过通信、列控等设备的升级而产生的新技术。群组列车为由1列或多列实体列车组成的1个列车群，地面设备按照1列车对列车群进行整体控制，同时列车群内各列车之间信息共享，也可自主实现列车状态的协同调控。列车群组运行控制系统是将组合列车分解构造为独立智能单元列车，通过单元列车间自协同安全控制，构造出沿运行路径串行排列、动态间隔的列车群组，通过集群控制方法对整群多列车进行整体控制，形成小编组、高密度、大运能灵活机动运行方式的列车运行控制系统。

基于新型车载设备的配置及列车通信方式的升级，列车群组运行对线路条件无要求。组群及解群决策由群组控制中心根据群组计划制定并下发至列车。同时相邻列车之间根据相对距离及相对速度信息，实时对列车状态进行调整，实现动态调整。整体呈现群组计划为主，实时动态调整为辅的群组规则体系。列车群组中，通过车一车无线通信，实现前后车运行状态信息的实时互通，前后车整体协同运行，以极大缩小追踪间隔。相较于传统的固定闭塞、移动闭塞等方式，列车群组运行下后车追踪点已越过前车实时位置，为前车紧急制动后的车尾位置，极大地压缩追踪间隔，从而实现能力的大幅提升。而相较于虚拟编组技术，该技术实现列车群的整体协同控制，能够实现更加高效的列车调度。不同闭塞方式示意图如图2所示。

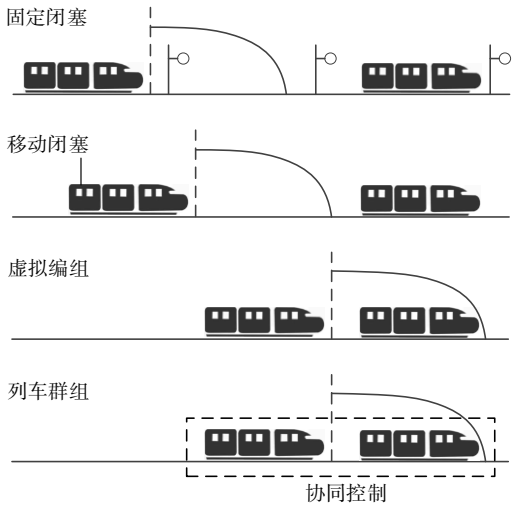


图2　不同闭塞方式示意图

Fig.2　Illustration of different blocking modes

2.2　群组运行下列车追踪过程

列车群组运行下，追踪间隔分为组内追踪间隔和组间追踪间隔。针对群组运行下能力的总体提升效果

进行研究，故重点考虑最普遍及最基础的情况，暂不考虑列车越行等复杂运行情况。因此，对群组运行下列车追踪间隔时间的分析，仅针对区间、出发及到达3种类型开展。组内列车追踪情况与虚拟编组形式下相同，且已有文献针对群组运行下组内追踪间隔的计算进行研究，本研究的组内列车追踪间隔时间计算参考既有研究[16-17]。而对于组间追踪间隔时间，其计算与线路既有闭塞制式相关。对于相邻2个列车群组，后行群组首车按照线路既有闭塞方式规定追踪前行群组末车，因此不同群组间列车追踪间隔由线路既有闭塞方式、群组规模及组内区间追踪间隔共同决定。

2.2.1　组间区间追踪间隔时间

组间区间追踪间隔定义为两相邻追踪列车群组中两首车间的追踪间隔，组间区间追踪示意图如图3所示。

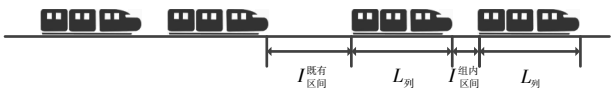


图3　组间区间追踪示意图

Fig.3　Illustration of inter-group interval tracking

组间区间追踪间隔时间$I_{区间}^{组间}$可表示为

$$I_{区间}^{组间}=I_{区间}^{既有}+\sum_{i=2}^{n}I_{区间,i}^{组内}+\frac{3.6\sum_{i=1}^{n}L_{列,i}}{60v_{追}} \tag{1}$$

式中：$I_{区间}^{既有}$为既有闭塞方式下区间追踪间隔时间，min；$I_{区间,i}^{组内}$为列车群组内第i列车追踪群组内前车的组内区间追踪间隔时间，min，由车载列车自动保护系统(ATP)以前车为目标速度—距离控制的监控距离进行计算，具体计算公式可参考既有研究[17]；$L_{列,i}$为列车群组内第i列车车长，m；n为列车群组内列车数，列；$v_{追}$为列车区间追踪运行平均速度，km/h。

2.2.2　组间出发追踪间隔时间

相邻2个列车群组连续从车站发出时，前行群组中末车出发，至后行群组中首车出发之间的间隔仍按线路既有闭塞方式下列车到达间隔的规定计算。列车群组运行下组间出发追踪示意图如图4所示。

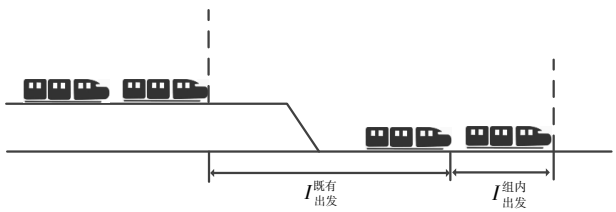


图4　组间出发追踪示意图

Fig.4　Illustration of inter-group departure tracking

组间出发追踪间隔时间$I_{出发}^{组间}$可表示为

$$I_{出发}^{组间}=\sum_{i=2}^{n}I_{出发,i}^{组内}+I_{出发}^{既有} \tag{2}$$

式中：$I_{出发,i}^{组内}$为列车群组内第i列车出发间隔，min，采用群组运行下车站高效接发车技术，利用短进路防护计算，具体计算公式参考既有研究[17]；$I_{出发}^{既有}$为既有闭塞方式下列车出发间隔，min。

2.2.3　组间到达追踪间隔时间

相邻2个列车群组连续到达车站时，前行群组中末车到达，至后行群组中首车到达之间的间隔仍按线路既有闭塞方式下列车到达间隔的规定计算。列车群组运行下组间到达追踪示意图如图5所示。

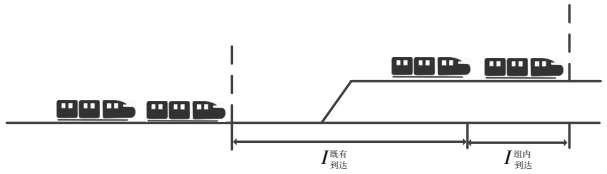


图5　组间到达追踪示意图

Fig.5　Illustration of inter-group arrival tracking

列车群组运行下组间到达追踪间隔时间$I_{到达}^{组间}$可表示为

$$I_{到达}^{组间}=\sum_{i=2}^{n}I_{到达,i}^{组内}+I_{到达}^{既有} \tag{3}$$

式中：$I_{到达,i}^{组内}$为列车群组内第i列车到达间隔，min，采用群组运行下车站高效接发车技术，由考虑重复进路的目标点监控距离和道岔作业安全间隔距离计算，具体计算公式参考既有研究[17]；$I_{到达}^{既有}$为既有闭塞方式下列车到达间隔，min。

3　群组运行下重载铁路线路通过能力计算

3.1　群组运行下单线铁路通过能力计算

对于单线重载铁路，其能力计算的关键在于找出限制区间，利用限制区间运行图周期计算得出全线通过能力。已有文献对虚拟编组下基于运行图周期的单线重载铁路能力计算方法进行了研究[16]，群组运行下单线重载铁路能力计算可参考该方法。结合群组运行技术特征，提出群组运行下单线重载铁路能力计算流程如图6所示。基于追踪过程及追踪间隔时间分析，结合图6所示的计算流程，即可得到群组运行下单线重载铁路通过能力。

3.2　群组运行下双线铁路通过能力计算

列车群组运行下，双线重载铁路线路通过能力仅与追踪间隔时间及群组列数有关。而衡量列车群组运

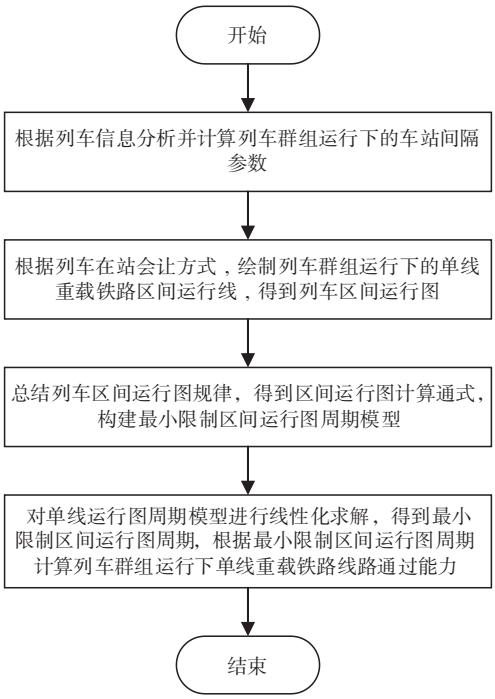


图6　群组运行下单线重载铁路能力计算流程

Fig.6　Flow chart for calculating capacity of single-track heavy-haul railways under group operation

行下双线重载铁路能力时，考虑到列车群组运行全过程经历不同阶段，且需对不同阶段的不同影响因素下的能力表现分别进行分析。将列车群组运行下双线重载铁路线路通过能力分为区间追踪、群组出发、群组到达及全线运行4个场景分别进行计算。

（1）列车群组区间追踪。此时，各列车群组均处于稳定运行状态，通过能力更多取决于群组间区间追踪间隔时间，能力计算公式为

$$N_{\text{双,区间}}^{\text{群组}}=n\cdot\left\lfloor\frac{T_{\text{运营}}-T_t}{I_{\text{区间}}^{\text{组间}}}\right\rfloor \tag{4}$$

式中：$N_{\text{双,区间}}^{\text{群组}}$为列车群组运行下双线铁路区间追踪场景下通过能力，对/d；$T_{\text{运营}}$为总运营时间，min；T_t为天窗时间，min，可根据不同天窗类型进行折算。

（2）列车群组出发追踪。此时，不同列车群组经历在站出发追踪过程，考虑到车站信号系统及作业组织，列车群组运行下组间发车追踪间隔时间较大于组间区间追踪间隔时间，能力计算公式为

$$N_{\text{双,出发}}^{\text{群组}}=n\cdot\left\lfloor\frac{T_{\text{运营}}-T_t}{I_{\text{出发}}^{\text{组间}}}\right\rfloor \tag{5}$$

式中：$N_{\text{双,出发}}^{\text{群组}}$为列车群组运行下双线铁路出发追踪场景下通过能力，对/d。

（3）列车群组到达追踪。该场景下，不同列车群组经历进站到达追踪过程，考虑进站信号系统、作业组织、列车解群、进站走行及行车安全等因素，列车群组运行下组间到达追踪间隔时间较大于组间出发追踪间隔时间，能力计算公式为

$$N_{\text{双,到达}}^{\text{群组}}=n\cdot\left\lfloor\frac{T_{\text{运营}}-T_t}{I_{\text{到达}}^{\text{组间}}}\right\rfloor \tag{6}$$

式中：$N_{\text{双,到达}}^{\text{群组}}$为列车群组运行下双线铁路线路到达追踪场景下通过能力，对/d。

（4）列车群组全线运行。该场景下，不再关注于某一个区间或车站，而是对运行线路整体通过能力进行计算，为保证列车群组在全线的正常运行，需考虑不同环节能力的相互协调，选取能力最紧张环节作为全线能力。此时，双线重载铁路线路通过能力计算公式为

$$N_{\text{双}}^{\text{群组}}=n\cdot\left\lfloor\frac{T_{\text{运营}}-T_{\text{t}}}{\max\left\{I_{\text{区间},i}^{\text{组间}},I_{\text{出发},i}^{\text{组间}},I_{\text{到达},i}^{\text{组间}}\right\}}\right\rfloor \tag{7}$$

式中：$I_{\text{区间},i}^{\text{组间}}$，$I_{\text{出发},i}^{\text{组间}}$和$I_{\text{到达},i}^{\text{组间}}$分别为$(i,\ i+1)$区间或$i$站的组间区间追踪间隔时间、组间出发追踪间隔时间及组间到达追踪间隔时间，min。

4　群组运行对国家能源集团线路通过能力的提升效果分析

基于群组运行下追踪运行过程及单/双线重载铁路通过能力计算方法，对神华铁路网上的包神、神朔、朔黄等10条线路进行通过能力提升效果分析。

4.1　计算前提

结合群组运行技术可行性及神华重载路网实际运营情况，在计算能力时设计以下前提。

（1）假设列车均具备群组条件，并严格按照群组计划执行。

（2）对于单线重载铁路，考虑平衡，假设列车成对开行。

（3）不考虑列车在站越行情况。

（4）列车群组的质量不超过线路当前开行列车的最大质量。

（5）规定1个列车群组总长度小于线路任一区间长度。

（6）考虑车站到发线数限制，单线铁路上会车站的到发线数不少于列车群组规模的2倍；不满足条件的车站不停站通过。

4.2　参数设置

结合神华铁路现有运行图资料及群组运行下技术标准，群组运行下组间追踪间隔时间如表2所示，组内

追踪间隔时间如表3所示。群组运行下相关数据均来源于实验室理想状态下神华铁路模拟仿真运行结果，可表示实际运行效果。既有闭塞方式下列车到达、出发间隔均取9 min，且全线均设置每日120 min的垂直矩形天窗。此外，对于单线重载铁路，模型所需的区间运行时分、起停附加时分及车站间隔时间等数据来源于各线路运行图资料。

表2　组间追踪间隔时间

Tab.2　Tracking interval between groups

运行场景	群组规模/列	群组间区间追踪间隔时间/min
普通列车群组运行	2	2.9
	3	4.2
	4	5.6
万吨列车群组运行	2	4.1
	3	6.1
	4	8.1

表3　组内追踪间隔时间　　min

Tab.3　Tracking interval within group

运行场景	间隔类型	股道安排	群组内追踪间隔时间
普通列车群组运行	出发间隔	同股道	1.6
		不同股道	3.2
	到达间隔	同股道	1.8
		不同股道	3.5
万吨列车群组运行	出发间隔	同股道	2.5
		不同股道	5.0
	到达间隔	同股道	2.9
		不同股道	5.4
普通+万吨列车群组运行	出发间隔	同股道	1.6
		不同股道	3.2
	到达间隔	同股道	2.2
		不同股道	4.2
万吨+普通列车群组运行	出发间隔	同股道	2.5
		不同股道	5.0
	到达间隔	同股道	2.5
		不同股道	4.5

4.3　计算结果

对于单线铁路，将线路、车站基本数据及表3所示组内追踪间隔数据代入图6所示计算模型，即可得到群组运行下单线铁路通过能力。对于双线铁路，将表2和表3中所示组间和组内追踪间隔数据代入式(4)—(7)中，即可得到群组运行下双线铁路通过能力。综上，得到群组运行下神华重载路网各线路的通过能力计算结果对比如表4所示。

4.3.1　能力提升效果分析

根据表4中结果，实施列车群组运行对神华重载铁路通过能力有不同程度的提升，总体可根据线路性质分为以下3类。

（1）在总体线路通过能力提升效果方面，对于单线区段，如包神北线、甘泉线、大准线燕庄—九苏木区段、黄大线，群组运行下能力提升效果总体较为显著。但对于神朔支线、黄万线，由于受部分车站到发线数量限制，群组运行时需要越过这些车站，实施群组运行后线路通过能力提升效果不明显。综合而言，群组运行可实现单线区段线路通过能力提升率最大80%(塔韩线)、最小2%(神朔支线)。对于双线半自动闭塞区段，如包神南线，群组运行可提升线路通过能力最大195列/d、提升率176%。对于双线自动闭塞区段，如神朔线、巴准线、大准线九苏木—点岱沟区段、准池线、朔黄线，群组运行可提升线路通过能力最大156列/d、提升率49%(朔黄线)。

（2）在群组运行模式方面，不同单元列车组合可实现的能力提升效果不同，结合实际运行情况，对于单线区段，包神北线、甘泉线和黄万线只开行普通列车，推荐采用2列普通列车群组运行；大准线燕庄—九苏木区段和黄大线同时开行万吨列车和普通列车，推荐采用普通列车＋万吨列车群组运行。对于双线区段，包神南线、巴准线、大准线九苏木—点岱沟区段和准池线同时开行万吨列车和普通列车，推荐采用万吨列车＋普通列车群组运行；神朔线主要开行万吨列车，推荐采用2列万吨列车群组运行；朔黄线同时运行2万吨列车、万吨列车和普通列车，推荐采用万吨列车＋普通列车按2＋2群组运行。

（3）在群组运行下最大线路通过能力方面，对于到发线有效长可容纳2万吨列车的线路，如朔黄线，因可实现普通列车和万吨列车同股道接发，线路通过能力更大，在万吨列车＋普通列车按1＋1群组运行时线路通过能力可达375列/d。而对于到发线有效长仅可容纳万吨列车的线路，如神朔线、巴准线、大准线九苏木—点岱沟区段、准池线，在万吨列车＋普通列车群组运行下只能按不同股道接发车，在万吨列车＋普通

表4　通过能力计算结果对比

Tab.4　Calculation result comparison of line capacity

区段	单/双线	闭塞方式	单元列车	群组规模	平图能力（普通列车/d）	群组平图能力（普通列车/d）	能力提升率/%
包神北线	单	半自动	普通列车	2	37	54	46
包神南线东胜—磁窑湾区段	双	半自动	万吨列车+普通列车	1+1	111	306	176
包神南线磁窑湾—神东区段	两单	半自动	普通列车+万吨列车	1+1	120	157	31
包神南线石圪台—布尔台区间	单	半自动	普通列车+万吨列车	1+1	51	72	41
神朔线	双	自动	万吨列车	2	260	348	34
神朔支线 朔州西—神池南区段	单	半自动	普通列车+万吨列车	1+1	51	52	2
甘泉线	单	自动站间	普通列车	2	16	24	50
塔韩线	单	半自动	普通列车	2	10	18	80
巴准线巴图塔—海勒斯壕南区间	单	自动站间	普通列车	2	28	40	43
巴准线海勒斯壕南—点岱沟区段	双	自动	万吨列车+普通列车	1+1	216	306	42
大准线燕庄—九苏木	单	自动	普通列车+万吨列车	1+1	60	74	23
大准线九苏木—点岱沟	双	自动	万吨列车+普通列车	1+1	216	306	42
大准线点岱沟—南坪	单	半自动	普通列车+万吨列车	1+1	66	87	32
大准线 龙王渠—薛家湾	单	半自动	普通列车+万吨列车	1+1	69	93	35
准池线	双	自动	万吨列车+普通列车	1+1	216	306	42
朔黄线	双	自动	万吨列车+普通列车	2+2	318	474	49
黄万线	单	自动站间	普通列车	2	35	36	3
黄大线	单	自动站间	普通列车+万吨列车	1+1	30	56	87

列车按1＋1群组运行时线路通过能力为306列/d，相比而言能力减少69列/d。

4.3.2　能力优化建议

群组运行下，神华重载铁路大部分干线的线路通过能力提升效果显著，能够有效改善线路能力紧张。但是，部分线路在群组运行下能力提升效果不明显，如神朔支线、黄万线等。为提升线路通过能力，提出以下优化建议。

（1）针对部分限制线路通过能力的车站，必要时可以进行改造，增加到发线数量。

（2）对于双线自动闭塞区段，可根据线路及车站具体情况，考虑主要开行万吨/2万吨群组列车，从而获得更大的能力提升；并且群组运行下，随着群组列数增加，线路通过能力持续增大。

（3）在进行线路升级时，需充分考虑具体货运需求的特点，如货物种类、运输时效和流量分布。还需从整体路网的角度出发，评估路网能力匹配情况，确保各条线路之间能力协调，避免局部线路能力提升后出现新的瓶颈问题[18-19]。

综上，针对神华铁路网的运能提升需求，在线路改造和技术升级过程中，应结合各线路具体货运需求、技术标准与整体路网特性，进行综合设计与优化，通过动态分析，制定切实可行的改进方案，从而在提升线路通过能力的同时，确保神华铁路运输系统的整体效率和可靠性。

5　结束语

针对当前重载铁路线路通过能力紧张的问题，研究了列车群组运行对国家能源集团神华重载铁路通过能力的提升效果。研究结果表明，群组运行能够显著提升神华铁路网的线路通过能力，有助于缓解当前重载铁路能力紧张的问题，提升运输效率并增加经济效益。对于部分能力提升效果不明显的线路，必要时可改造受限车站增加到发线数量；也可考虑在部分双线

区段开行万吨/2万吨群组列车，进一步提升通过能力；同时，在对神华铁路网进行线路升级时，应充分考虑具体货运需求和整体路网能力的匹配性，制定综合优化改进方案，为我国重载铁路运输组织优化及创新发展提供参考。

参考文献：

[1] 褚文君. 单线重载货运专线通过能力相关问题研究[D]. 北京：北京交通大学，2012.

[2] 王　军. 单线重载线路能力计算利用与加强关键技术研究[D]. 北京：北京交通大学，2013.

[3] DINGLER M H，LAI Y R，BARKAN C P. Effect of Train-Type Heterogeneity on Single-Track Heavy Haul Railway Line Capacity[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers，Part F：Journal of Rail and Rapid Transit，2014，228(8)：845-856.

[4] DI MEO C，DI VAIO M，FLAMMINI F，et al. ERTMS/ETCS Virtual Coupling：Proof of Concept and Numerical Analysis[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems，2020，21(6)：2545-2556.

[5] ROSCOE G，DICK C T. Comparing the Effectiveness of Fixed，Virtual，and Moving Block Train Control Systems on a Mixed Single and Double Track U. S. Freight Rail Corridor[J]. Transportation Research Record：Journal of the Transportation Research Board，2023，2677(9)：151-163.

[6] CHOOBCHIAN P，ROSCOE G，DICK T，et al. Leveraging Connected Vehicle Platooning Technology to Improve the Efficiency and Effectiveness of Train Fleeting under Moving Blocks[J]. Transportation Research Part C：Emerging Technologies，2023，148：104026.

[7] 张辰东，王文斌. 重载列车群组运行控制系统研究[J]. 铁路通信信号工程技术，2024，21(7)：1-6.
ZHANG Chendong，WANG Wenbin. Research on Heavy Haul Group Train Operation Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering，2024，21(7)：1-6.

[8] 倪少权，龚梓烨，宋宗莹. 基于列车群组运行的双线重载铁路群组计划优化研究[J]. 铁道科学与工程学报，2025，22(6)：2479-2492.
NI Shaoquan，GONG Ziye，SONG Zongying. Optimization Study of Group Plan on Double-Track Heavy-Haul Railways Based on Group Train Operation[J]. Journal of Railway Science and Engineering，2025，22(6)：2479-2492.

[9] 宋宗莹，丁　辉，王兴中，等. 基于列车群组运行的重载铁路运输组织研究综述[J]. 铁道运输与经济，2024，46(10)：73-81，97.
SONG Zongying，DING Hui，WANG Xingzhong，et al. Review of Heavy Haul Railway Transportation Organization Based on Group Train Operation[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(10)：73-81，97.

[10] 关　达，石　磊，孔　亮，等. 包神铁路能力计算与瓶颈识别疏解研究[J]. 铁道运输与经济，2020，42(4)：42-47.
GUAN Da，SHI Lei，KONG Liang，et al. A Study on the Carrying Capacity Calculation and Bottleneck Identification of Baotou-Shenhua Railway[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(4)：42-47.

[11] 段宏海，王　伟，何文晖，等. 神华铁路动态货物列车开行方案编制优化研究[J]. 计算机仿真，2024，41(6)：174-179.
DUAN Honghai，WANG Wei，HE Wenhui，et al. Study on Optimization of Dynamic Freight Train Operation Plan of Shenhua[J]. Computer Simulation，2024，41(6)：174-179.

[12] 宋宗莹，苗晓雨，丁　勇，等. 神华货车状态修检修模式模拟试验方案设计[J]. 铁道机车车辆，2022，42(1)：137-142.
SONG Zongying，MIAO Xiaoyu，DING Yong，et al. Design of Simulation Test Scheme for Condition Based Maintenance Mode of Shenhua Freight Car[J]. Railway Locomotive & Car，2022，42(1)：137-142.

[13] 张　驰. 神华铁路机车工作计划编制优化研究[D]. 成都：西南交通大学，2022.

[14] 李致远. 中国神华铁路空车调配方案优化研究[D]. 成都：西南交通大学，2023.

[15] 姜家豪. 中国神华铁路列车工作计划编制优化技术[D]. 成都：西南交通大学，2023.

[16] 杨晓明，杨在旭，宋宗莹. 基于虚拟编组技术的单线重载铁路通过能力计算方法研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(6)：17-26，41.
YANG Xiaoming，YANG Zaixu，SONG Zongying. Calculation Method for the Capacity of Single-Track Heavy-Haul Railway Line Based on Virtual-Coupling Technology[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(6)：17-26，41.

[17] 张万强. 基于群组运行控制的列车追踪间隔时间计算方法[J]. 铁路通信信号工程技术，2025，22(2)：24-31.
ZHANG Wanqiang. Calculation Method of Train Headway Time Based on Group Operation Control[J]. Railway Signalling & Communication Engineering，2025，22(2)：24-31.

[18] 徐雪艺，杨成宏. 浩吉铁路集疏运能力适配性分析及对策研究[J]. 铁道货运，2024，42(8)：21-27.
XU Xueyi，YANG Chenghong. Adaptability Analysis of Collection and Distribution Capacity of Haolebaoji-Ji'an Railway and Its Countermeasures[J]. Railway Freight Transport，2024，42(8)：21-27.

[19] 赵广富. 提高临哈铁路货运能力对策研究[J]. 铁道货运，2024，42(5)：1-5，11.
ZHAO Guangfu. Countermeasures to Improve Freight Capacity of Linhe-Hami Railway Line[J]. Railway Freight Transport，2024，42(5)：1-5，11.

（责任编辑：李丹丹）

Research on Effectiveness of Train Group Operation in Enhancing Line Capacity of CHN Energy's Heavy-Haul Railway Lines

WANG Xingzhong[1], YANG Zaixu[2], SONG Zongying[1], CHEN Baoqing[2], ZHAO Jun[2]

(1. Dispatching and Transportation Department, China Shenhua Energy Company Limited, Beijing 100011, China; 2. School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, Sichuan, China)

Abstract: CHN Energy is currently promoting the implementation of the heavy-haul train group operation control system. The study of the effect of train group operation on the enhancement of line capacity of heavy-haul railways is of great significance in scientifically evaluating the economic and social benefits of the train group operation system. This paper commenced with an overview of the heavy-haul railway network of CHN Energy. It then undertook an analysis of the train tracking process and the calculation method of the line capacity of heavy-haul railways under train group operation. The paper calculated the capacity of each line of the heavy-haul railway network of CHN Energy under train group operation and analyzed the effect of the capacity enhancement. The results demonstrate that train group operation can effectively alleviate the problem of strained heavy-haul railway capacity of CHN Energy. Based on the calculation results, a proposal for the optimization of the line capacity of CHN Energy was put forward, which provides a reference for the optimization and development of the heavy-haul railway transportation organization in China.

Keywords: Heavy-Haul Railway; Capacity Calculation; Train Group Operation; Transportation Organization; Shenhua Railway

(上接第 12 页)

Integrated Construction Scheme of EMU Depot and High Speed Railway Logistics Base under Large-scale Operation of Freight EMUs

LI Huajun[1], YANG Zihan[2], YUAN Shicheng[2], ZHANG Mengmeng[2]

(1. Henan Railway Construction Investment Group Co., Ltd., Henan Railway Construction Investment Logistics Group Co., Ltd., Zhengzhou 450000, Henan, China; 2. Department of Planning Research, Planning and Standard Research Institute of the National Railway Administration, Beijing 100055, China)

Abstract: To explore the integrated construction of EMU depot and high speed rail logistics base under large-scale freight EMUs operation, this paper studied the operational process and layout requirements of high speed railway express. Two planar layout schemes were proposed: EMU depot expansion and existing yard renovation. Two three-dimensional development schemes were also presented: upper-cover logistics functional area and double-deck yard. Comparative analysis shows that planar expansion suits projects with ample land reserves. Existing yard renovation applies to land-constrained projects with a small demand scale, requiring emphasis on risk isolation and emergency response. The upper-cover logistics functional area scheme fits land-limited projects with medium-to-large demand, necessitating safety management focus during construction and operation phases. The double-deck yard scheme targets strategic urban core projects, requiring solutions for key cross-disciplinary technologies and specialized supporting facilities. The results support the large-scale development of high speed railway express and provide guidance for the integrated construction of EMU depots and high speed railway logistics bases.

Keywords: High Speed Railway Logistics Base; EMU Depot; High Speed Railway Express; Construction Scheme; Three-Dimensional Development