文章编号：1003-1421(2026)07-0088-09
引用格式：宋琦，刘磊，蔡柏元，等.高原铁路维修作业车组上线时机优化与天窗有效时间提升研究[J].铁道运输与经济，2026，48(7)：88-96.
SONG Qi，LIU Lei，CAI Boyuan，et al. Study on Optimization of Deployment Timing of Maintenance Vehicle Groups and Improvement of Effective Time of Maintenance Windows for Plateau Railways[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(7)：88-96.

高原铁路维修作业车组上线时机优化与天窗有效时间提升研究

宋 琦[1,2]，刘 磊[1,2]，蔡柏元[3]，武万鹏[4]，孙国锋[1,2]

(1.兰州交通大学 交通运输学院，甘肃 兰州 730070；2.兰州交通大学 高原铁路运输智慧管控铁路行业重点实验室，甘肃 兰州 730070；3.中国铁路兰州局集团有限公司 兰州车务段，甘肃 兰州 730050；4.中国铁路北京局集团有限公司 调度所，北京 100000)

摘 要：高原铁路因高海拔、高寒、气候恶劣等特殊自然环境，导致维修作业效率低下，维修天窗利用率不足。为提高天窗有效时间并化解列车运行与维修作业的矛盾，提出维修作业车组上线时机优化策略，即在保证运营安全的前提下，提前安排维修作业车组进入区段，利用天窗与运行线间的空费三角区，延长维修天窗有效作业时间。研究基于现有作业模式提出追踪作业模式与连发作业模式2种改进作业模式，通过理论模型与算例分析验证其效果。结果表明，2种作业模式都能提升维修天窗时间利用率，而追踪作业模式在提升效果方面更显著，相较于原作业模式有效作业时长平均提升7.9%以上，最大提升达到11%。研究为高原铁路维修作业优化提供了技术支撑，有助于保障线路安全与运营效率。

关键词：高原铁路；维修天窗；天窗有效时间；维修作业车组上线时机；追踪作业；连发作业

中图分类号：U29 **文献标识码**：A **DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250407006

Study on Optimization of Deployment Timing of Maintenance Vehicle Groups and Improvement of Effective Time of Maintenance Windows for Plateau Railways

SONG Qi[1,2]，LIU Lei[1,2]，CAI Boyuan[3]，WU Wanpeng[4]，SUN Guofeng[1,2]

(1. School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. Key Laboratory of Railway Industry on Plateau Railway Transportation Intelligent Management and Control, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 3. Lanzhou Train Operation Depot, China Railway Lanzhou Group Co., Ltd., Lanzhou 730050, Gansu, China; 4. Dispatching Center, China Railway Beijing Group Co., Ltd., Beijing 100000, China)

Abstract: Due to special natural environments such as high altitude, severe cold, and harsh climates, plateau railways suffer from low efficiency of maintenance operations and insufficient utilization rate of maintenance windows. To improve the effective time of maintenance windows and resolve the

收稿日期：2025-04-07
基金项目：中央引导地方科技发展资金项目(24ZYQA044)；国家自然科学基金项目(71761023，72161023)；甘肃省自然科学基金项目(24JRRA223)

conflict between train operations and maintenance operations, this paper proposed an optimization strategy for the deployment timing of maintenance vehicle groups. Specifically, under the premise of ensuring operational safety, maintenance vehicle groups were arranged to enter the section in advance, and the idle triangular area between the maintenance window and the train operation line was utilized to extend the effective operation time of the maintenance window. Based on the existing operation mode, two improved operation modes, namely the tracking operation mode and the consecutive operation mode, were proposed, and their effects were verified through theoretical models and case analyses. The results show that both operation modes can enhance the time utilization rate of maintenance windows, with the tracking operation mode exhibiting a more significant improvement effect. Compared with the original operation mode, the effective operation duration increases by an average of over 7.9%, with a maximum improvement of 11%. This research provides technical support for the optimization of maintenance operations on plateau railways, which helps to ensure line safety and operational efficiency.

Keywords: Plateau Railway; Maintenance Window; Effective Time of Maintenance Window; Deployment Timing of Maintenance Vehicle Group; Tracking Operation; Consecutive Operation

0　引言

维修天窗是列车运行图中预留的、供多部门协同维护铁路基础设施的固定时段，其利用率直接关乎维修质量与运输效率。高原铁路特有的高海拔、低氧、极端低温及多风等恶劣环境，显著降低了人员与设备效能，使得天窗时间不足与维修需求之间的矛盾尤为突出。因此，提升高原铁路综合维修天窗利用率成为亟待解决的关键问题。

既有研究从多维度优化了维修天窗利用率，主要集中于以下4个方向。①运输组织与施工技术创新：游利平等[1-2]聚焦于通过改进运输组织方法、创新施工技术及优化管理模式来挖掘天窗资源潜力，为优化天窗资源配置和流程设计提供了重要的实践思路。②管理机制优化：周荣祥等[3-6]侧重于通过精细化考核机制、优化维修计划、调整生产布局、转变作业方式及完善管理制度等软性手段提升效率，强调了管理因素在提升天窗利用率中的关键作用。③数学模型优化：王宇嘉等[7-14]构建多种优化模型，目标涵盖天窗利用率最大化、运输效益最大化、费用最小化等，并应用于解决资源协同、时序冲突、方案比选及特殊场景(如高寒地区)下的优化问题，为天窗资源调度的定量化、精细化研究提供了方法论支撑。④作业流程标准化：宋志刚[15]通过强化安全管理、细化考核制度等手段提升天窗点内的作业效率，体现了对执行环节规范性的重视。

既有研究为提升天窗利用率提供了丰富的理论、方法和管理经验[16-17]，然而其焦点主要集中于作业组织内部优化、管理机制创新及抽象模型构建层面，对维修作业关键载体——维修作业车的运行组织及其与天窗时空资源的深度协同调度研究相对薄弱。传统作业模式要求维修作业车必须等待天窗开启后方能上线，导致有效维修时间被辅助运行时间大量挤占，高原环境对作业效率的负面影响因此被显著放大。突破传统模式限制，通过维修作业车运行模式的创新，实现其与列车运行图、天窗时空资源的高效协同，从而最大化释放天窗维修效能，已成为高原铁路运维优化中亟待突破的关键问题。

1　高原铁路维修天窗利用率分析

1.1　天窗利用率制约因素

高原铁路相较于非高原地区铁路的显著特点在于线路区间更大，造成天窗时间内维修作业车的走行时间更长，维修天窗的利用率远低于非高原铁路，收集某高原铁路A—F段与陇海铁路连云—新浦东段、京沪铁路上海—安亭段2条非高原铁路的数据，取维修天窗时长240 min，维修作业车运行速度70 km/h，计算维修天窗利用率情况。高原与非高原地区铁路维修天窗利用率对比如表1所示。

此外，在线路环境方面，海拔升高导致的空气含氧量降低会对人工效率产生显著影响，随着海拔高度增加，普通作业群体的工作效率呈现阶梯式下降趋势。除海拔影响外，高寒气候特征对基础设施维护作业同样构成多重挑战。该区域每年10月—次年5月为持续降雪期，积雪期长达8个月，在此期间山区道路通行受阻，致使常规汽车养护维修作

表1　高原与非高原地区铁路维修天窗利用率对比

Tab.1　Comparison of utilization rate of railway maintenance windows between plateau and non-plateau regions

线路	作业区间	站间距/km	走行时间/min	作业时间/min	天窗时间利用率/%
某高原铁路	A—B	24	41.1	198.9	82.9
	B—C	31	53.1	186.9	77.9
	C—D	36	61.7	178.3	74.3
	D—E	39	66.9	173.1	72.1
	E—F	43	73.7	166.3	69.3
陇海铁路连云—新浦东段	连云—墟沟	7	12.0	228.0	95.0
	墟沟—连云港东	5	8.6	231.4	96.4
	连云港东—云台山	7	12.0	228.0	95.0
	云台山—盐坨	5	8.6	231.4	96.4
	盐坨—新浦东	6	10.3	229.7	95.7
京沪铁路上海—安亭段	上海—上海西	5	8.6	231.4	96.4
	上海西—江桥镇	4	6.9	233.1	97.1
	江桥镇—南翔	5	8.6	231.4	96.4
	南翔—黄渡	7	12.0	228.0	95.0
	黄渡—安亭	6	10.3	229.7	95.7

业难以实施。以某高原铁路某区段为例，该线路95.66%的区段由隧道构成，沿线隧道口的地方容易出现雪崩的风险，需要加强隧道口的防护工作量，加剧了维护难度。

综上，高原铁路相较于非高原铁路，维修天窗利用率更低，作业难度更大。为此，提升高原铁路维修天窗利用率显得尤为迫切。

1.2　天窗时间利用率优化方法

维修天窗利用率优化方法如表2所示。为了缓解运行与维修之间的矛盾，通常可以采用表2中的4种方法提高高原铁路综合维修天窗利用率，从而提高线路通过能力。前3种方法会增加投资且可能导致设备和人员的利用效率降低，第4种方法通过优化维修作业车调度，无需增加过多经济成本，因此可以考虑优化维修作业车组上线时机的方法来提高天窗时间利用率。

表2　维修天窗利用率优化方法

Tab.2　Optimization methods for utilization rate of maintenance windows

优化方法	优势	局限
提升设备机械化水平	直接提升作业效率	高寒环境适应性不足
增加人力与设备投入	缩短任务完成时间	成本高、资源利用率低
减少辅助作业时间	直接提升有效作业时间	增加改造成本、调度复杂度
优化维修作业车组上线时机	成本低、延长有效作业时间	需精准调度与安全保障

2　维修作业车组上线时机分析

2.1　维修作业车组上线时机优化的提出

维修天窗作业时间如图1所示，包括辅助作业时间和纯作业时间。辅助作业时间指某维修工区内维修作业车组从车站A出发到达维修作业点和从维修作业点返回车站A的总运行时间，即从维修工区出发到第一项维修作业开始的时间，以及最后一项维修作业结束到维修作业车组返回维修工区的时间。

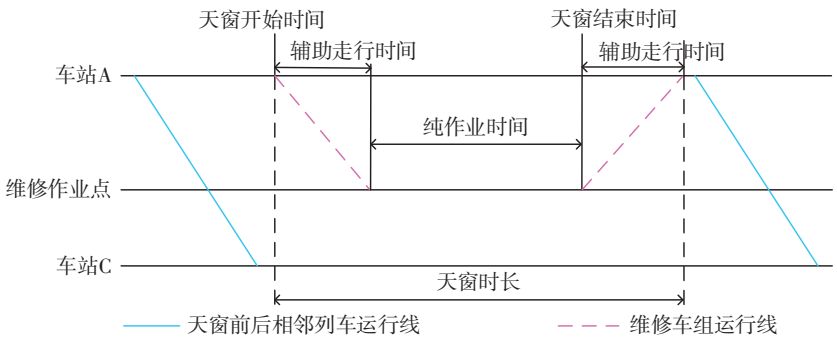


图1　维修天窗作业时间

Fig.1　Operation time of maintenance window

目前，维修作业车组在天窗开通后接到列车调度员准许进行施工、维修作业的调度命令后方准上线作业，导致天窗与运行线之间形成空费三角区。另外，辅助作业时间占据了天窗的一部分，减少了纯作业时间。高原铁路相较于非高原铁路在提升天窗有效作业时间方面尤为迫切，可考虑通过对施工维修作业车进入作业地点时机的优化，在施工维修作业开始前，安排施工维修作业车跟随最后一列车提前进入作业地段，利用天窗与运行线之间的空费三角区，增加天窗的有效作业时间。

2.2　维修作业车组作业模式改进

原作业模式下，需待列车通过施工维修作业地段、具备作业条件后，施工维修作业车组方可进入封锁区间或区段作业，致使天窗有效作业时间减少。高原铁路站间区间大，维修车组辅助作业时间更长，天窗有效时间较非高原铁路更短，且受天气、地形地貌、交通条件限制，作业人员无法借其他交通方式提前抵达作业地点，均需路用列车运送。因此，迫切需要改进维修作业车作业模式，优化作业车组上线时机，进而提出连发模式与追踪模式2种改进作业模式。

某高原铁路为双线自动闭塞线路，其中某维修工区管辖范围为A—D区间，某月某日车站A与车站B之间，有一待修封锁区间(或待修作业点)，假设维修车组在待修区间的前方车站停靠等待，维修车组从车站A出发，在作业起点前方停车，按照施工人员指示进行作业至作业终点，施工完毕后返回车站A，提出的2种改进作业模式如下。

（1）追踪作业模式如图2所示，维修车组在天窗前最后一列列车离开车站A进入区间AB后，考虑一定技术安全时间I_1从车站A进入区间AB，由于维修车组作业速度低于正常列车运行速度，维修作业车组提前上线可大幅提高其作业时长。

（2）连发作业模式如图3所示，与追踪作业模式类似，在天窗前最后一列列车到达待修区间作业起点时，安排维修车组间隔时间$\tau_{连}$从车站A进入区间AB，当列车运行通过后维修车组进入待修区间进行维修作业。

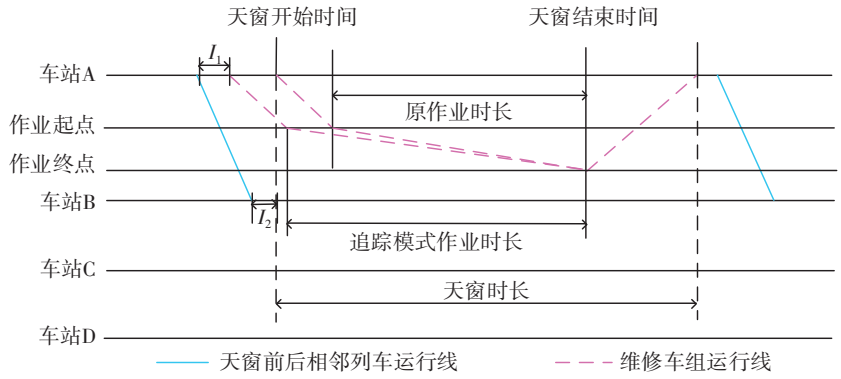


图2　追踪作业模式

Fig.2　Schematic diagram of tracking operation mode

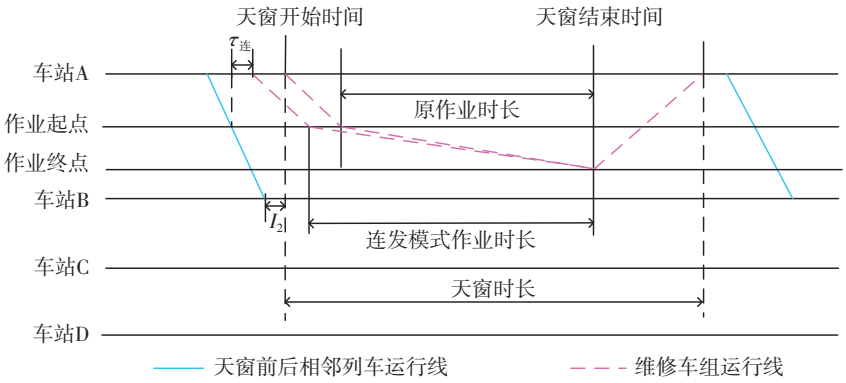


图3　连发作业模式

Fig.3　Schematic diagram of consecutive operation mode

《铁路技术管理规程》(普速铁路部分)第380条规定：施工封锁前，通过施工地点的最后一趟列车前进方向为不大于6‰的上坡道时，列车调度员可根据施工负责人的请求，在调度命令中注明该次列车通过施工地点后即可开工(按自动闭塞法行车时可安排施工路用列车跟踪该次列车进入区间)，列车到达前方站后，再封锁区间。上述命令应抄交司机，该列车不得后退。

由此，在自动闭塞线路上，连发作业模式和追踪作业模式的适用条件应为：①考虑除运送作业人员车组外，线路是否有其他作业车组，若有则可采用连发作业模式，若没有则可采用追踪作业模式；②考虑最后一趟列车前进方向是否有大于6‰的坡道，列车前进方向均为超过6‰的坡道，此时可采用连发模式，列车前进方向均为不超过6‰的坡道，此时可采用追踪模式。

3　维修作业车组改进作业模式下天窗有效时长计算

以大机捣固施工为例，取天窗时长为240 min，分析维修作业车组采用2种改进作业模式后天窗有效时长的计算。

3.1　追踪作业模式

维修作业车组上线运行采取追踪作业模式的作业时长计算如图4所示。

采用原作业模式时，即天窗开始后维修作业车组从车站A运行到作业起点，然后在完成维修养护作业后，从作业终点返回车站A，此时可作业时长为

$$T_1 = 240 - \frac{l_1}{v_{维修}} - \frac{l_2}{v_{维修}} \tag{1}$$

式中：T_1为原作业模式天窗作业时长，min；$v_{维修}$为维修作业车组运行至待修区间和返回驻地过程的运行速度，km/h。

采取追踪作业模式时，天窗开始前假设最后一列货物列车从车站A通过待修区间运行至车站B，并与作业终点保持安全时间间隔I_2，维修作业车组在车站A与货物列车保持追踪间隔时间I_1紧随运行至待修区间作业起点。维修作业车组在追踪作业模式下天窗开始时刻到达情况如图5所示。

结合图5可知，若维修作业车组在天窗开始后到达作业起点，如图5a，则图4中天窗作业时长可表示为

$$若\frac{l_{AB}}{v_{货}} + I_2 < \frac{l_1}{v_{维修}} + I_1，则T_2 = 240 + \frac{l_{AB}}{v_{货}} - \frac{l_1 + l_2}{v_{维修}} + (I_2 - I_1) \tag{2}$$

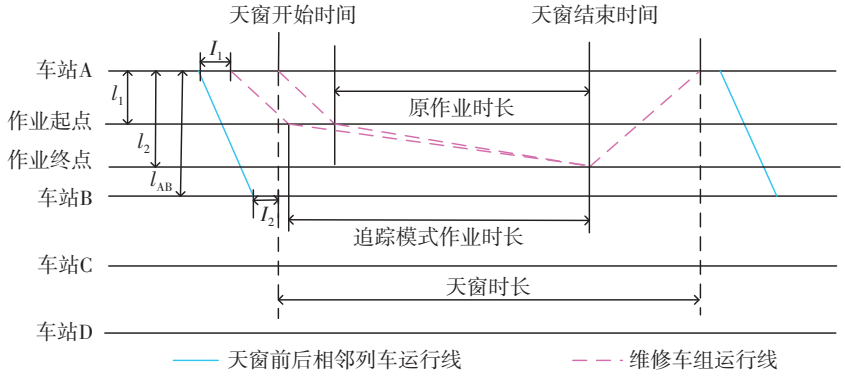
式中：$v_{货}$为天窗前最后一列货物列车运行速度，km/h；T_2为改进作业模式后天窗作业时长，min。

若维修车组在天窗开始前到达作业起点，如图5b，则图4中天窗作业时长可表示为

$$若\frac{l_{AB}}{v_{货}} + I_2 \geqslant \frac{l_1}{v_{维修}} + I_1，则T_2 = 240 - \frac{l_2}{v_{维修}} \tag{3}$$

此时获得的天窗作业时间延长为

$$T_\Delta = \begin{cases} \dfrac{l_{AB}}{v_{货}} + (I_2 - I_1) & 若\dfrac{l_{AB}}{v_{货}} + I_2 < \dfrac{l_1}{v_{维修}} + I_1 \\ \dfrac{l_1}{v_{维修}} & 若\dfrac{l_{AB}}{v_{货}} + I_2 \geqslant \dfrac{l_1}{v_{维修}} + I_1 \end{cases} \tag{4}$$

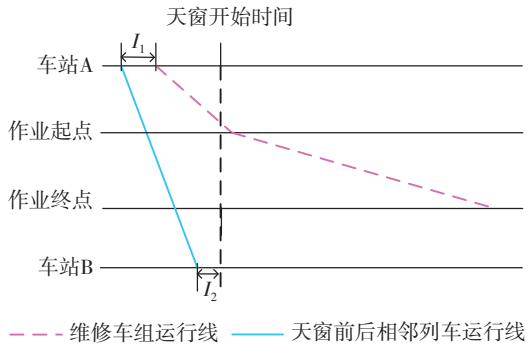


注：l_1为车站A到待修区间作业起点的距离，km；l_2为车站A到待修区间作业终点的距离，km；l_{AB}为车站A到车站B的距离，km；I_1为采取追踪作业模式时维修作业车与天窗前最后一列列车的追踪间隔时间，min；I_2为天窗前最后一列列车与天窗的安全间隔时间，min。

图4　追踪作业模式的作业时长计算

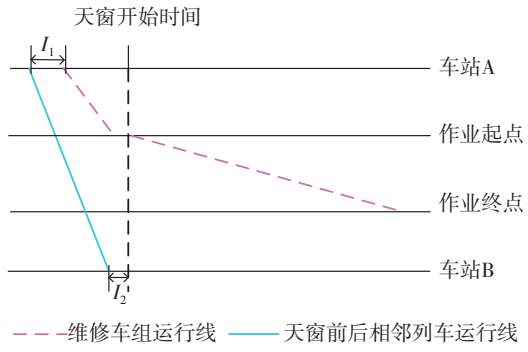
Fig.4　Calculation of operation duration of tracking operation mode

式中：T_{Δ}为改进作业模式得到的天窗作业时间延长，min。



a　维修车组在天窗开始后到达作业起点

a　Maintenance vehicle groups arrive at the starting point of the operation after the start time of the maintenance window



b　维修车组在天窗开始前到达作业起点

b　Maintenance vehicle groups arrive at the starting point of the operation before the start time of the maintenance window

图5　维修作业车组在追踪作业模式下天窗开始时刻到达情况

Fig.5　Arrival situation of maintenance vehicle groups at the start time of maintenance window under tracking operation mode

3.2　连发作业模式

维修作业车组上线运行采取连发作业模式的作业时长计算如图6所示。

采用连发作业模式时，天窗前最后一列货物列车在天窗开始前到达待修区间作业起点时，维修车组从车站A满足间隔时间$\tau_{连}$从车站A出发运行至待修区间作业起点，维修车组在作业起点等待该列车离开待修区间后，开始作业至作业终点，最后返回车站A。维修作业车组在连发作业模式下天窗开始时刻到达情况如图7所示。

若维修作业车组在天窗开始后到达作业起点，如图7a，则图6中天窗作业时长可表示为

$$若\frac{l_{AB}}{v_{货}}+I_2<\frac{l_1}{v_{货}}+\frac{l_1}{v_{维修}}+\tau_{连}，则T_2=240+\frac{l_{AB}}{v_{货}}+I_2-\frac{l_1+l_2}{v_{维修}}-\left(\frac{l_1}{v_{货}}+\tau_{连}\right) \tag{5}$$

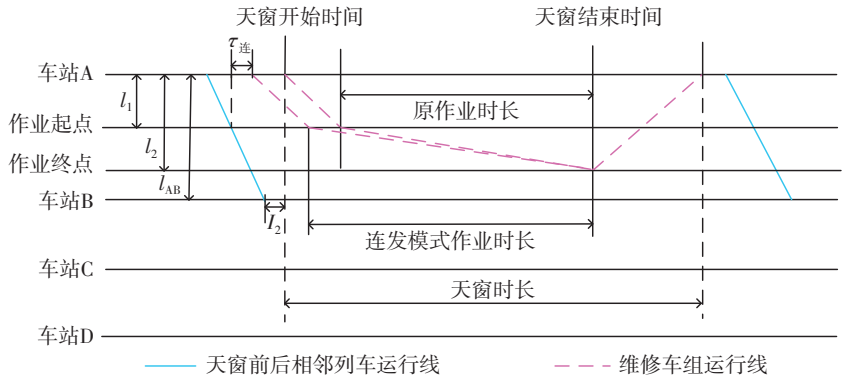
若维修车组在天窗开始前到达作业起点，如图7b，则图6中天窗作业时长可表示为

$$若\frac{l_{AB}}{v_{货}}+I_2\geqslant\frac{l_1}{v_{货}}+\frac{l_1}{v_{维修}}+\tau_{连}，则T_2=240-\frac{l_2}{v_{维修}} \tag{6}$$

此时获得的天窗作业时间延长为

$$T_{\Delta}=\begin{cases}240+\dfrac{l_{AB}}{v_{货}}+I_2-\dfrac{l_1+l_2}{v_{维修}}-\left(\dfrac{l_1}{v_{货}}+\tau_{连}\right) \\ \quad 若\dfrac{l_{AB}}{v_{货}}+I_2<\dfrac{l_1}{v_{货}}+\dfrac{l_1}{v_{维修}}+\tau_{连} \\ 240-\dfrac{l_1}{v_{维修}} \\ \quad 若\dfrac{l_{AB}}{v_{货}}+I_2\geqslant\dfrac{l_1}{v_{货}}+\dfrac{l_1}{v_{维修}}+\tau_{连}\end{cases} \tag{7}$$

由公式(1)—(7)可知，针对不同维修作业场景2种改进作业模式下的天窗有效时长，与维修距离、维修作业车及货物列车的运行速度、追踪间隔时



注：$\tau_{连}$为天窗前最后一列列车到达待修区间作业起点时，安排维修车组从车站A进入区间的间隔时间，min。

图6　连发作业模式的作业时长计算

Fig.6　Calculation of operation duration of consecutive operation mode

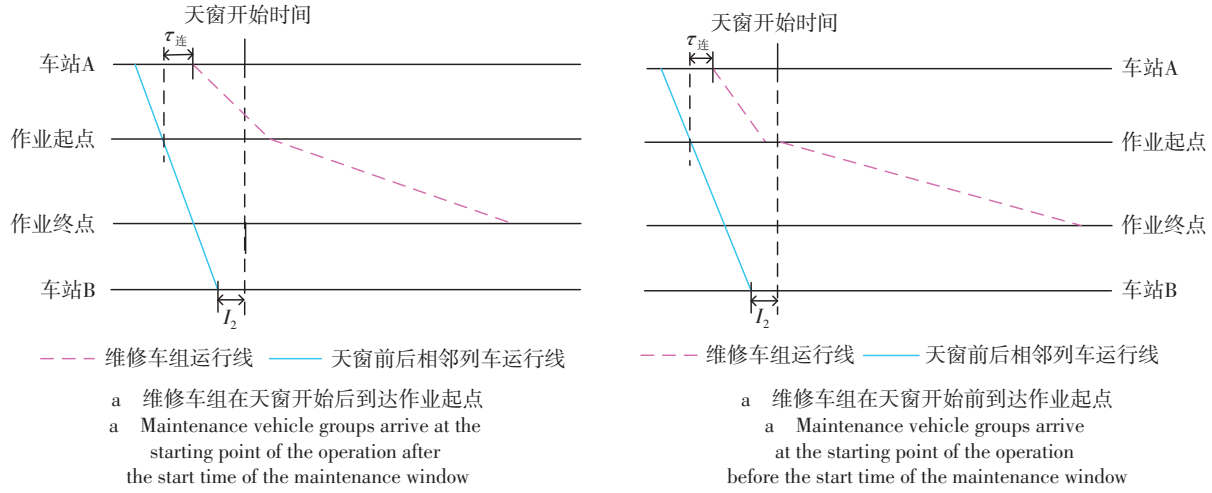


图7　维修作业车组在连发作业模式下天窗开始时刻到达情况

Fig.7　Arrival situation of maintenance vehicle groups at the start time of maintenance window under consecutive operation mode

间有关。

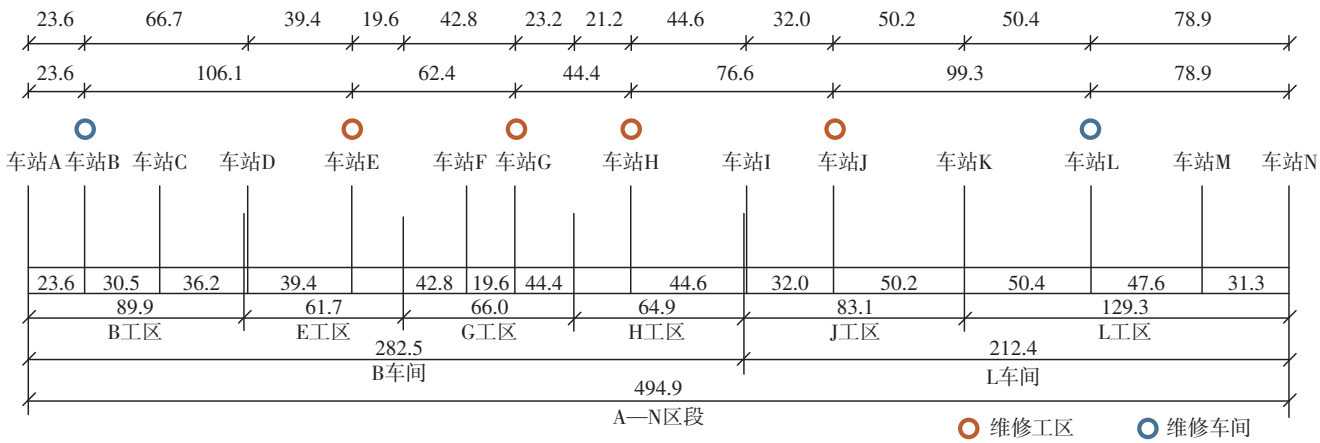
4　算例分析

以某高原铁路A—N区段为例进行算例分析，A—N区段长494.9 km，设有车间2处，分别为B维修车间、L维修车间；设有工区6处，分别为B工区、E工区、G工区、H工区、J工区、L工区。A—N区段基础设施维修管辖范围如图8所示。

采取追踪作业模式时，取追踪间隔时间I_1 = 5 min，天窗安全间隔时间I_2 = 5 min，采用连发作业模式时间隔时间$\tau_{连}$ = 2 min，综合维修天窗时间为240 min，货物列车运行速度为120 km/h，维修作业车组运行速度为70 km/h。若线路上各车站都有维修车组停靠，线路区间都具备追踪作业模式和连发作业模式的条件，某日某时需前往各区间中点进行1项维修作业，可计算得到不同作业模式下天窗时间利用率。2种改进作业模式与原作业模式天窗作业时长比较如表3所示。

从表3可以看出，追踪作业模式和连发作业模式都能很好地延长维修天窗有效作业时长。其中，追踪作业模式在长区段，如J—K段、K—L段，提升维修天窗有效作业时长效果良好，连发作业模式提升幅度低于追踪作业模式，总体上追踪作业模式在提升效果上相较于连发作业模式更优。

2种改进作业模式对平均天窗利用率的提升如表4所示，由表可知，连发作业模式提升幅度始终较低，追踪作业模式对天窗利用率的平均提升和最大提升都明显优于连发作业模式。



注：图中数据单位为km。

图8　A—N区段基础设施维修管辖范围

Fig.8　Jurisdiction scope of infrastructure maintenance in Section A-N

表3　改进作业模式与原作业模式天窗作业时长比较

Tab.3　Comparison of operation duration of maintenance windows between improved operation modes and original operation mode

维修作业区段	列车运行速度/(km/h)	维修作业车组运行速度/(km/h)	原作业模式/min	追踪作业模式/min	追踪作业提升时长/min	连发作业模式/min	连发作业提升时长/min
A—B	120.00	70.00	219.8	229.9	10.1	228.7	8.9
B—C	120.00	70.00	213.9	226.9	13.1	224.5	10.6
C—D	120.00	70.00	209.0	224.5	15.5	221.0	12.1
D—E	120.00	70.00	206.2	223.1	16.9	219.1	12.9
E—F	120.00	70.00	203.3	221.7	18.3	217.0	13.7
F—G	120.00	70.00	223.2	231.6	8.4	231.1	7.9
G—H	120.00	70.00	201.9	221.0	19.0	216.0	14.1
H—I	120.00	70.00	201.8	220.9	19.1	215.9	14.2
I—J	120.00	70.00	212.6	226.3	13.7	223.6	11.0
J—K	120.00	70.00	197.0	218.5	21.5	212.5	15.6
K—L	120.00	70.00	196.8	218.4	21.6	212.4	15.6
L—M	120.00	70.00	199.2	219.6	20.4	214.1	14.9
M—N	120.00	70.00	213.2	226.6	13.4	224.0	10.8

表4　2种改进作业模式对平均天窗利用率的提升　%

Tab.4　Improvement of average utilization rate of maintenance windows by two improved operation modes

作业模式	平均提升	最大提升
追踪作业模式	7.9	11.0
连发作业模式	6.2	7.9

5　结论

（1）2种改进后的维修车组作业模式均能有效提升维修天窗时间利用率，但适用场景与效果差异显著。追踪作业模式在长区段等场景下提升维修天窗有效作业时间优势更加明显，可实现天窗时间利用率平均提升7.9%，可作为提升天窗利用率的主要手段。但线路是否具备维修追踪作业模式条件，需要考虑线路前进方向上是否有大于6‰的坡道及线路是否还有其他作业车组，对于不具备追踪作业条件的区段，连发作业模式可以作为辅助优化方案。

（2）维修作业车组的速度限制会降低整体的天窗利用率，但通过对作业车组非作业时间的优化，采取作业车组追踪或连发模式进入封锁区间或区段，可显著弥补有效作业时长的损失，保证维修作业在有限的天窗期内最大化完成轨道检测、设备更换等关键任务。

参考文献：

[1] 游利平．提高既有接触网施工天窗利用率的措施[J]．铁道运输与经济，2005，27(4)：45-46.
YOU Liping. Measurements on Improving the Utilization of Construction Skylight for Catenary[J]. Railway Transport and Economy，2005，27(4)：45-46.

[2] 徐利民，石钦文．改善铁路天窗修模式的研究[J]．铁道运输与经济，2008，30(8)：85-87.
XU Limin，SHI Qinwen. Research on Improving the Railway Skylight Maintenance Model[J]. Railway Transport and Economy，2008，30(8)：85-87.

[3] 周荣祥．提高铁路运输设备“天窗修”利用率的思考[J]．铁道运输与经济，2009，31(11)：32-35.
ZHOU Rongxiang. Thoughts on Increasing the Utilization Rate of Skylight Maintenance of Railway Transport Equipments[J]. Railway Transport and Economy，2009，31(11)：32-35.

[4] 康红新．提高接触网天窗修利用率的对策[J]．铁道运输与经济，2012，34(11)：32-35.
KANG Hongxin. Countermeasures on Increasing Utilization Rate of Catenary Maintenance Window[J]. Railway Transport and Economy，2012，34(11)：32-35.

[5] 赵兴寨．提高铁路工务系统“天窗修”利用率途径的探讨[J]．山西建筑，2014，40(32)：252-253.
ZHAO Xingzhai. On Exploration for Channels to Promote Utility Ratio of Maintenance Skylight of Railway Maintenance System[J]. Shanxi Architecture，2014，40(32)：252-253.

[6] 彭　辉．提高综合天窗修利用率的对策[J]．铁道运输与经济，2006，28(4)：58-59.

[7] 王宇嘉．高速铁路综合维修天窗优化研究[D]．北京：中国铁道科学研究院，2016.

[8] 林　宏. 高速铁路综合维修计划编制方法优化研究[J]. 铁道运输与经济，2017，39(7)：13-17.
LIN Hong. Study on Optimizing the Method of High Speed Railway Comprehensive Maintenance Planning[J]. Railway Transport and Economy，2017，39(7)：13-17.

[9] 陈历泉，施莉娟，田茗舒. 基于多目标优化模型的综合天窗作业调度研究[J]. 铁道运输与经济，2020，42(S1)：111-117.
CHEN Liquan，SHI Lijuan，TIAN Mingshu. Traffic Control for Integrated Operations at Maintenance Window Based on Multi-Objective Optimization Model[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(S1)：111-117.

[10] 陆维阳. 铁路施工天窗设置方案优化研究[D]. 兰州：兰州交通大学，2018.

[11] 郭　然，韩宝明，王福田. 整数型铁路线路养护维修计划优化模型[J]. 交通运输系统工程与信息，2013，13(4)：149-156.
GUO Ran，HAN Baoming，WANG Futian. Integral Optimization Model for Scheduling Railway Maintenance[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology，2013，13(4)：149-156.

[12] 高国良. 朔黄铁路天窗设置优化探讨[J]. 山西科技，2013，28(4)：132-134.
GAO Guoliang. Probe into the Optimization of Skylight Settings on Shuohuang Railway[J]. Shanxi Science and Technology，2013，28(4)：132-134.

[13] 彭小倩，张　杰，袁　林，等. 考虑天窗利用率的综合维修作业车提前上线与运行线铺画方法研究[J]. 铁道运输与经济，2023，45(1)：1-6.
PENG Xiaoqian，ZHANG Jie，YUAN Lin，et al. Early Launching of Integrated Maintenance Vehicle and Drawing Method of Operation Line Considering Utilization Rate of Skylight[J]. Railway Transport and Economy，2023，45(1)：1-6.

[14] 彭小倩. 高寒地区长大坡道条件下高速铁路综合维修机构布局与天窗开设优化研究[D]. 成都：西南交通大学，2021.

[15] 宋志刚. 关于铁路工务“天窗”合理利用的探讨[J]. 山西建筑，2014，40(5)：151-153.
SONG Zhigang. Discussion on the Reasonable Utilization of Railway Sector “Skylight”[J]. Shanxi Architecture，2014，40(5)：151-153.

[16] 方兴军，方立海. 铁路运输调度施工组织优化研究[J]. 铁道货运，2022，40(10)：6-11.
FANG Xingjun，FANG Lihai. Research on Optimization of Railway Transportation Scheduling Construction Organization[J]. Railway Freight Transport，2022，40(10)：6-11.

[17] 崔朝晖，保鲁昆，贺　东，等. 基于智能优化的铁路营业线施工天窗管理研究[J]. 铁道货运，2023，41(12)：33-37.
CUI Zhaohui，BAO Lukun，HE Dong，et al. Management of Construction Skylights in Operational Lines of Railways Based on Intelligent Optimization[J]. Railway Freight Transport，2023，41(12)：33-37.

(责任编辑　李丹丹)

(上接第87页)

223-226.

[11] 张友兵. 支持多网融合的市域铁路列车控制系统研究[J]. 铁道工程学报，2024，41(5)：61-66，72.
ZHANG Youbing. Research on Urban Railway Train Control System Supporting Multi-Network Integration[J]. Journal of Railway Engineering Society，2024，41(5)：61-66，72.

[12] 蔡君君. 多网融合下市域铁路互联互通关键技术研究[J]. 铁道工程学报，2024，41(6)：93-97.
CAI Junjun. Research on the Key Technologies for Interconnection and Interoperation of Suburban Railway under Multi-Network Integration[J]. Journal of Railway Engineering Society，2024，41(6)：93-97.

[13] 周雪梅，胡静洁. 综合客运枢纽多方式协同信息系统设计[J]. 铁道运输与经济，2019，41(6)：69-74.
ZHOU Xuemei，HU Jingjie. A Design of Multi-Mode Collaborative Information System for Integrated Passenger Transport Hub[J]. Railway Transport and Economy，2019，41(6)：69-74.

[14] 周浪雅. 高速铁路综合客运枢纽协同管理研究[J]. 铁道运输与经济，2020，42(5)：25-29.
ZHOU Langya. A Study on the Collaborative Management of High Speed Railway Integrated Passenger Transport Hub[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(5)：25-29.

[15] 刘向阳. 城市轨道交通枢纽治理：理论框架与运作模式[J]. 中国铁道科学，2022，43(5)：188-198.
LIU Xiangyang. Governance of Urban Rail Transit Hub：Theoretical Framework and Operational Mode[J]. China Railway Science，2022，43(5)：188-198.

(责任编辑　刘宁馨)