

文章编号: 1003-1421(2026)08-0160-08

引用格式: 陈怡, 张德超, 黄旭晖. 基于夜间正线停车的城市轨道交通运营组织优化研究[J]. 铁路运输与经济, 2026, 48(8): 160-167.
CHEN Yi, ZHANG Dechao, HUANG Xuhui. Research on Operation Organization Optimization of Urban Rail Transit Based on
Nighttime Mainline Stabling[J]. Railway Transport and Economy, 2026, 48(8): 160-167.

基于夜间正线停车的城市轨道交通运营组织优化研究

陈 怡¹, 张德超², 黄旭晖³

(1. 上海地铁第二运营有限公司, 上海 200063; 2. 上海地铁第二运营有限公司 质量安全部, 上海 200063; 3. 上海地铁第二运营有限公司 2号线管理部, 上海 200063)

摘 要: 夜间正线停车是指在夜间利用正线股道或车站配线停放列车的组织方式, 其目的是减少车辆段用地需求、降低空驶里程、延长夜间维护时间窗口。基于线路夜间正线停车的原则和需求分析车站实行夜间正线停车的可行性, 以提升列车运行效率、减少运营成本和土地占用为目标, 分析车站在夜间正线停车模式下列车巡道时间、空驶时间的变化, 并结合实际运营需求, 提出相应的优化措施。通过对不同车站特征的分析, 优化结果表明夜间正线停车能够显著优化列车的巡道效率和减少空驶时间, 从而提高全线的运行效能, 还为设备及轨道的维护提供了更充裕的时间。研究不仅能够为城市轨道交通夜间正线停车提供理论依据, 也为进一步的实践应用提供了重要参考。

关键词: 城市轨道交通; 夜间正线停车; 运营组织; 上海地铁2号线; 列车运行图

中图分类号: U293.5; U121 文献标识码: A DOI: 10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250606002

Research on Operation Organization Optimization of Urban Rail Transit Based on Nighttime Mainline Stabling

CHEN Yi¹, ZHANG Dechao², HUANG Xuhui³

(1. Shanghai Huangpu Metro Operation Co., Ltd., Shanghai 200063, China; 2. Quality and Safety Department, Shanghai Huangpu Metro Operation Co., Ltd., Shanghai 200063, China; 3. Line 2 Management Department of Shanghai Huangpu Metro Operation Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: Nighttime mainline stabling refers to an operation organization mode of parking trains on mainline tracks or station auxiliary tracks during nighttime, and its purpose is to reduce depot land requirements, decrease deadhead mileage, and extend nighttime maintenance time windows. Based on the principles and requirements of nighttime mainline stabling on the line, this paper analyzed the feasibility of implementing nighttime mainline stabling at stations. With the objectives of improving train operation efficiency, reducing operation costs, and decreasing land occupation, this paper analyzed the variations in train patrol time and deadhead time under the nighttime mainline stabling mode at stations and proposed corresponding optimization measures combined with actual operation requirements. Through the analysis of different station characteristics, the optimization results indicate that nighttime mainline stabling can significantly optimize the train patrol efficiency and reduce deadhead time, thereby improving the operation efficiency of the whole line and providing more sufficient time for the maintenance of equipment and tracks. The research can not

收稿日期: 2025-06-06 修订日期: 2026-06-16
基金项目: 国家自然科学基金项目(72371154)

only provide a theoretical basis for the nighttime mainline stabling in urban rail transit but also provide an important reference for further practical application.

Keywords: Urban Rail Transit; Nighttime Mainline Stabling; Operation Organization; Shanghai Metro Line 2; Train Working Diagram

0 引言

城市轨道交通具有运量大、准时性与速达性^[1]、空间利用率高^[2]、低碳环保^[3]等优点。近年来,随着轨道交通网络规模的扩大,面临土地资源紧张、运营成本高、维护时间不足等问题^[4]。传统运营模式下车辆段或停车场停放列车占用大量城市土地资源^[5],且部分线路因地理条件限制难以扩建^[6]。为解决上述问题,学者们从不同的角度优化停车方式。贺万里^[7]综合考虑方便运营,减少列车出入的空走时间、正线行车干扰等设计出入场线。辛丽平等^[8]在综合考虑车底运行里程、检修安排和双车辆段检修能力等约束的基础上实现车辆资源的均衡配置。曾钰宁等^[9]通过研究车辆基地资源共享技术和布局形式提高网络运行效率和资源利用率。

正线停车作为一种创新运营模式逐渐受到关注^[10],可减少车辆段用地需求、降低空驶里程、延长夜间维护时间窗口^[11]。温朋哲等^[12]通过减少备用车辆数开展正线停车设计,有效降低车辆基地停车列检位。袁航等^[13]通过列车运行调度协同优化、共线运营模式下的客流分配提升轨道交通系统的运营效率。杨在旭等^[14]提出单线双向行车模式满足夜间行车停车需求。李德宏等^[15]采用FAO项目自动化场段设计实现列车自动入库并精确停车。

现有停车模式要求列车夜间回段整备,导致空驶里程长、作业流程复杂化及运维成本增加。实施夜间正线驻车并同步维护,可减少空驶、缩短早高峰准备时间、延长维护窗口并降低用地需求。然而现有研究多聚焦于停车线设计、车辆段一体化控制或全自动技术,普遍缺乏将夜间停车位置选择与空驶总里程、巡道里程及维护时间窗口之间的耦合关系进行优化探讨。因此,遵循夜间正线停车相关要求与原则,以具备夜间正线停车条件的上海市地铁2号线车站为研究对象,系统分析并优化其停车方案,结合空驶总里程、巡道里程及维护时间窗口等关键因素,提出优化后的运营组织方案,最终形成具有普适性和可推广性的夜间正线停车优化思路。

1 上海地铁2号线线路概况

上海地铁2号线作为连接虹桥火车站与浦东1号2号航站楼两大交通枢纽的主动脉线路,呈现出鲜明的“西展东延”布局特征。线路西起国家会展中心站,东抵浦东1号2号航站楼站,运营里程60.339 km,在上海地铁网络东西向属于骨干线路。上海地铁2号线采用国标A型车编组,6节或8节灵活编组的列车配置可满足日均百万级客流的运输需求。运营组织方面,线路设置国家会展中心、上海科技馆、海天三路(备用)、浦东1号2号航站楼站4个过夜车停放基地,形成“两点主备、双翼呼应”的车辆调度格局。

随着运营规模扩大和线路资源紧张,现有车辆段容量逐渐趋于饱和,正线空驶距离长、调度压力大。开展夜间正线停车,可有效缓解车辆段压力、缩短列车上线路径、节约空驶里程,进一步提升早晚高峰发车效率和线路整体运营效能;同时,也有利于延长夜间设备检修时间窗口,提高正线设备维护的安全性及可操作性。上海地铁2号线具备推行夜间正线停车的现实基础与组织条件,为后续运营优化提供可行路径,将为上海地铁带来更大的经济收益。上海地铁2号线简图如图1所示。

2 夜间正线停车条件分析

2.1 夜间停车原则及要求

为确保上海地铁2号线夜间停车灵活高效且安全可靠,车站实施夜间正线停车时应遵守相应原则并满足一定需求。基于《地铁设计规范》(GB 50157—2013)第6.4.3条,夜间正线停车应遵循以下2个原则。①尽端式停车线:有效长度 $\geq$ 列车长度+50 m(不含车挡长度)。②贯通式停车线:有效长度 $\geq$ 列车长度+60 m(不含车挡长度)。

基于上海地铁2号线现场管理经验,夜间正线停车通常遵循以下4个原则。①安全性:停车地点应具备良好的安全条件,周围环境应布置合理,以避免对工作人员和设备的潜在威胁。②可靠性:选

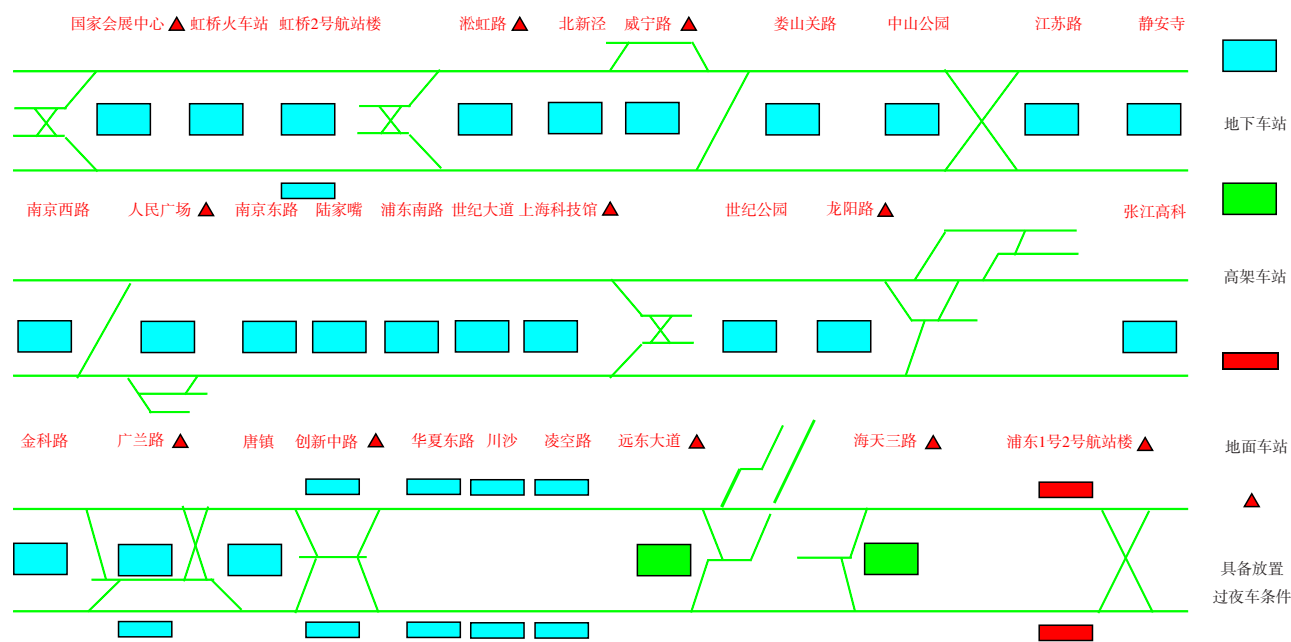


图1 上海地铁2号线简图
Fig.1 Schematic diagram of Shanghai Metro Line 2

择的停车点应经过充分验证，确保在夜间停车后次日能够满足列车的技术和操作需求，例如列车供电等。③灵活性：停车地点应便于调度，允许列车灵活进出且不影响夜间施工列车，以提升夜间调度的可塑性，也能够支持突发情况的应对。④可维护性：停车的位置需要考虑到后续的设备检查要求，方便人员开展日常的检查工作。

夜间正线停车场景下，线路设施设备系统应满足以下需求。①停放形式：对于正线停车，列车须按照规定的停车方式停放，以避免因停放位置不当引发意外事故，通常为ATO模式(或其他自动模式)进入折返线后以自动模式停稳。②停放安排：停放的列车应依据其长度、对轨道的占用情况与所需的安全间距来合理安排，确保不影响其他列车的正常运营与夜间施工车辆的通行。③监控管理：对停车区域实施视频监控，确保在夜间能够有效监测停放列车的状态。④车辆安排：过夜车由在24 h内已完成日检的列车担任。以上海地铁2号线为例，所有过夜车在出库前必须完成日检后以晚高峰出库车的方式从库内发出，以确保其在过去24 h内经过了例行检查。这一措施有效保障了车辆的安全性，包括制动系统、电子设备及其他关键部件的正常运作。⑤建筑设施要求：为满足夜间正线停车的功能需求，停放过夜车的车站应设置一处列车司机的休息和出勤

区域；此外，在停放过夜车的位置应设有一处联络楼梯，以方便列车司机从折返线、存车线下车到达站台，确保其能够顺利进行交接及休息。

基于上海地铁2号线的运行特点与停放原则，目前具备放置过夜车条件的车站包括：国家会展中心、淞虹路、威宁路、人民广场、上海科技馆、龙阳路、广兰路、创新中路、远东大道、浦东1号2号航站楼。

2.2 夜间停车车站分析

2.2.1 已使用夜间正线停车模式车站

目前，国家会展中心、上海科技馆、海天三路(备用)、浦东1号2号航站楼已成为过夜车的常规停车地点。

2.2.2 不适合夜间正线停车模式车站

(1) 威宁路站。作为西段过轨能力薄弱节点，威宁路站存车线设计存在显著功能缺陷，其单侧下行方向的折返模式导致列车仅能以虹桥方向单向进出，无法实现双向调度功能。在早高峰时段，当东向客流需求激增时，受制于单方向运行限制，停放列车需空驶至淞虹路站才能调整运行方向，造成无效周转时间。威宁路站简图如图2所示。

(2) 人民广场站。受限于20世纪90年代建设标准，人民广场站地下3层岛式站台仅配置2条有效长120 m的存车线，最大容纳量仅为2列6节编

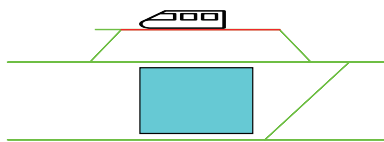


图2 威宁路站简图

Fig.2 Schematic diagram of Weining Road Station

组列车。在现行8节编组主导的运营体系下，每列过夜车需拆解为“6+2”节编组停放，次日重组耗时增加将严重影响早高峰出车效率。此外，该站作为三线换乘枢纽，夜间维保窗口期需优先保障接触网检修、道岔维护等基础作业，过夜车停放导致的轨行区占用将使维保时间压缩，直接威胁次日设备可靠性。人民广场站简图如图3所示。

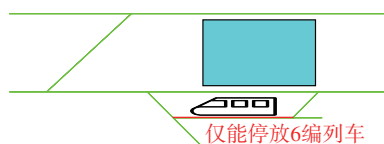


图3 人民广场站简图

Fig.3 Schematic diagram of People's Square Station

(3) 淞虹路、龙阳路、远东大道站。淞虹路站距北翟路车辆段仅1.8 km，龙阳路站与龙阳路停车场直线距离2.3 km，远东大道站至川沙停车场仅1.5 km。过近的车场距离导致其存车线功能与车场库线高度重叠，致使3站存车线利用率长期低。在运营层面，该布局引发“双重调度冲突”，列车进出存车线需频繁穿越车场调度区，容易造成信号系统优先级混乱。更严重的是，3站均缺乏独立供电分区和隔离门系统导致风险传导系数升高，一旦发生设备故障将直接波及车场正线，其停放模式实质上加剧了运营链的脆弱性。淞虹路、龙阳路、远东大道站简图如图4所示。

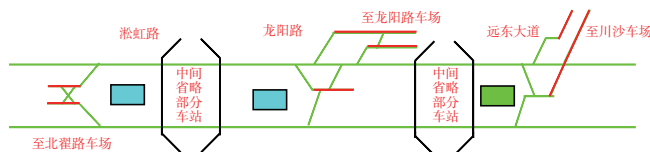


图4 淞虹路、龙阳路、远东大道站简图

Fig.4 Schematic diagram of Songhong Road, Longyang Road, and Yuandong Avenue Stations

2.2.3 适合夜间正线停车模式车站

(1) 广兰路站。广兰路站作为东延伸区段的咽喉区，将过夜车放置在此是十分合适的。该站存车线可以允许停放的列车灵活运行至上行与下行，提

供给调度在工作上有更多的可塑性，显著解决了一些折返线只能朝单一方向运行的困扰；且2号线的小交路列车在广兰路站也作为终点站，该站平时也用于折返列车，使用率较高，可以确保其使用上的安全。广兰路站简图如图5所示。

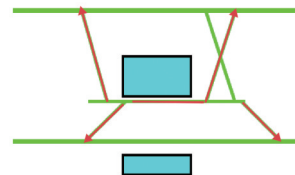


图5 广兰路站简图

Fig.5 Schematic diagram of Guanglan Road Station

(2) 创新中路站。创新中路站的条件与广兰路站相似，且均采用三开道岔。将过夜车放置在此是十分合适的。该站存车线允许停放的列车灵活运行至上行与下行，提供给调度在工作上有更多的可塑性，显著解决了一些折返线只能朝单一方向运行的困扰。创新中路站简图如图6所示。

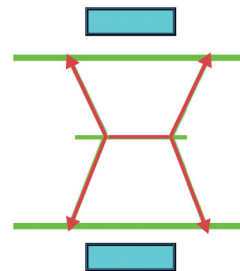


图6 创新中路站简图

Fig.6 Schematic diagram of Middle Chuangxin Road Station

3 夜间停车优化模型

3.1 模型构建

在夜间正线停车优化研究中，应充分考虑夜间停车位置选择与运营组织相关指标之间的内在耦合关系。一是夜间停车方案直接影响列车的空驶总里程，即停车位置越接近次日首班车发出位置及早高峰客流聚集点，列车空驶距离就越短。二是夜间停车位置决定了次日凌晨及当晚运营结束后的巡道范围与巡道里程。若停车点分布与线路维护作业区段相匹配，可减少维护人员的往返距离，提高巡道作业效率。三是夜间停车方案对夜间维护时间窗口具有显著影响。当停车位置布置合理、空驶及巡道距离最优时，可最大限度压缩列车调车与运行时间，

为设备检修和线路维护留出更多连续作业时间，从而提升夜间运维作业的安全性及有效性。

为实现夜间正线停车效益最大化，以最小化空驶里程和最大化维护时间窗口为目标，考虑列车停放能力、列车唯一性、空驶路径、维护时间窗口限制、巡道里程限制等约束条件，构建多目标决策模型。符号定义如表1所示。其中 x_{ks} ， y_{ij}^k 为决策变量。

表1 符号定义
Tab.1 Definition of symbols

符号	定义
S	候选车站集合
T	列车集合
d_{ij}	车站 <i>i</i> 至 <i>j</i> 的空驶距离
t_s^k	列车 <i>k</i> 在车站 <i>s</i> 的巡道时间
cap_s	车站 <i>s</i> 存车线容量(可停放列车数)
L_s	车站 <i>s</i> 存车线的有效长度
L_{train}	列车编组长度(8节编组)
x_{ks}	列车 <i>k</i> 是否停放于车站 <i>s</i>
y_{ij}^k	列车 <i>k</i> 是否从 <i>i</i> 空驶至 <i>j</i>
L_{night}	夜间总空闲时间
Z_1	空驶总里程
Z_2	维护窗口时间
t_{min}	夜间可用于维护作业的最小时间
t_{max}	夜间可用于维护作业的最大时间

为实现最大化夜间正线停车从而减少列车空驶，目标函数为最小化空驶总里程、最大化维护窗口时间，分别表示为式(1)—(2)。

$$\min Z_1 = \sum_{k \in T} \sum_{i, j \in S} d_{ij} y_{ij}^k \quad (1)$$

$$\max Z_2 = \sum_{s \in S} (t_{night} - \sum_{k \in T} t_s^k x_{ks}) \quad (2)$$

式(3)和式(4)为决策变量的取值范围，式(3)为决策列车*k*是否停放在车站*s*；式(4)为决策列车是否需要从车站*i*行驶至车站*j*。式(5)为车站停放列车能力约束。式(6)为停车线列车长度约束。式(7)为停车唯一性约束，每列车只能停在1个停车点。式(8)为空驶路径约束。式(9)为维护时间窗口限制约束。式(10)为巡道里程限制约束。

$$x_{ks} = \begin{cases} 1 & \text{列车}k\text{停放于车站}s \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

$$y_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{列车}k\text{从}i\text{空驶至}j \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

$$\sum_{k \in T} x_{ks} \leq cap_s \quad s \in S \quad (5)$$

$$L_s \geq \begin{cases} L_{train} + 50 & \text{尽端式停车线} \\ L_{train} + 60 & \text{贯通式停车线} \end{cases} \quad \forall s \in S \quad (6)$$

$$\sum_{s \in S} x_{ks} = 1 \quad \forall k \in T \quad (7)$$

$$y_{ij}^k \leq x_{ki} x_{kj} \quad \forall i, j \in S, \forall k \in T \quad (8)$$

$$t_{min} \leq t_{night} - t_s^k \leq t_{max} \quad (9)$$

$$\sum_{s \in S} d_{is} x_{ks} \leq D_{max} \quad \forall k \in T \quad (10)$$

3.2 算法求解

为实现夜间停车优化模型的求解，提出一种结合最短路径与改进分支定界法的混合求解算法，在确保最优性的基础上，提升算法求解效率和质量。该求解算法主要包括正线停车路径预处理、候选方案筛选、目标函数优化及解的选择4个步骤。

考虑列车从终点站返回存车线所产生的空驶成本，需优先建立候选车站之间的空驶路径网络。基于Dijkstra最短路径算法，在候选车站集合*S*的基础上构建空驶距离 $D=[d_{ij}]$ 。其中，路径的终点节点仅限于具备夜间停车能力的车站(即候选车站集合*S*)，而中间节点则包含所有可能经停的正线车站。若车站*i*与车站*j*之间不满足联通性约束或受轨行区运行限制，其对应路径在矩阵构建过程中予以剔除，从而确保所得矩阵仅反映可行的空驶运行路径。

结合优化模型中的约束条件，通过深度优选搜索与剪枝策略对各列车的停放组合进行枚举。采用线性加权法，将“最小化空驶总里程”与“最大化维护窗口时间”统一转化为单目标优化问题。

$$\min Z = \alpha \sum_{i, j, k} d_{ij} y_{ij}^k - \beta \sum_{s \in S} (t_{night} - \sum_{k \in T} t_s^k x_{ks}) \quad (11)$$

式中： α 和 β 为权重系数，用于调控空驶总里程与维护窗口时间的优先级，根据实际情况，假设 $\alpha=0.7$ ， $\beta=0.3$ ，优先优化空驶路径的同时确保维护窗口的释放。

引入改进分支定界法(Branch and Bound Algorithm)，基于可行解集合，构建多层次分支结构，以每列车的停放选择作为一级分支，空驶路径选择作为二级分支。在每个节点，计算当前子解的最小可能目标值(下界)，若该下界已不优于当前最优解即进行剪枝，最终得到全局最优解。算法流程如图7所示。

4 优化结果和效果分析

4.1 优化方案分析

为提升夜间正线停车的效率与施工空窗期，本

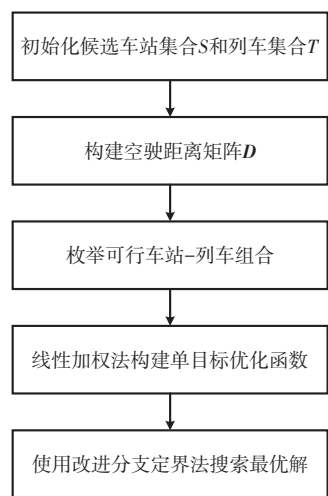


图7 算法流程
Fig.7 Algorithm flowchart

次优化方案基于2024年10月启用的上海地铁2号线第245-1工作日列车运行图,集中在过夜车可担任的任务安排、巡道任务完成时间、巡道车次3个方面。

4.1.1 过夜车可担任的任务安排

- (1) 广兰路存车线: 由前一天国家会展中心至广兰路存车线的末班车(国家会展中心上行发点22:45)作为过夜车。担任巡道任务于广兰路巡道至浦东1号2号航站楼站。
- (2) 创新中路存车线: 由前一天国家会展中心至广兰路存车线的最后第2班列车(国家会展中心上行发点22:37)担任, 然后空驶至创新中路存车线作为过夜车。担任巡道任务于创新中路巡道至龙阳路站。

4.1.2 巡道任务完成时间

上海地铁2号线第245-1工作日列车运行图图定202次(以下简称“202次”), 4:45发车龙阳路巡道至浦东1号2号航站楼, 于5:31到达, 共计用时46 min。

上海地铁2号线第245-1工作日列车运行图图定203次(以下简称“203次”), 4:51发车远东大道巡道至龙阳路, 于5:29到达, 共计38 min。

4.1.3 巡道车次

广兰路存车线过夜车方案: 将202次分段巡道, 原202次改为龙阳路上行巡道至广兰路上行, 广兰路过夜车由广兰路存车线巡道至浦东1号2号航站楼上行, 广兰路存车线过夜车方案如图8所示。

创新中路存车线过夜车方案: 将203次分段巡道, 原203次改为远东大道下行巡道至创新中路下行, 创新中路巡道车由创新中路下行巡道至龙阳路, 创新中路巡道至龙阳路时间为24 min, 比原方案38 min可节约14 min用于空窗期施工, 创新中路存车线过夜车方案如图9所示。

4.2 优化结论与效果分析

4.2.1 线路参数及过夜车站

以上海地铁2号线车站为候选车站, 其中广兰路、创新中路为新增过夜车站, 车站存车线数量和长度如表2所示。上海地铁2号线上线列车数73列; 夜间总维护时间为4.25 h, 夜间可用于维护作业的最大时间为3 h、最小时间为1 h。采用最短路径与改进分支定界法通过商业求解器对模型进行求解。

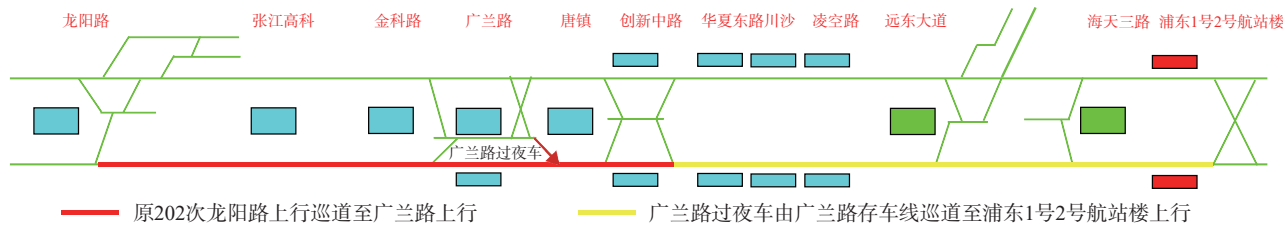


图8 广兰路存车线过夜车方案
Fig.8 Overnight train plan of Guanglan Road storage line

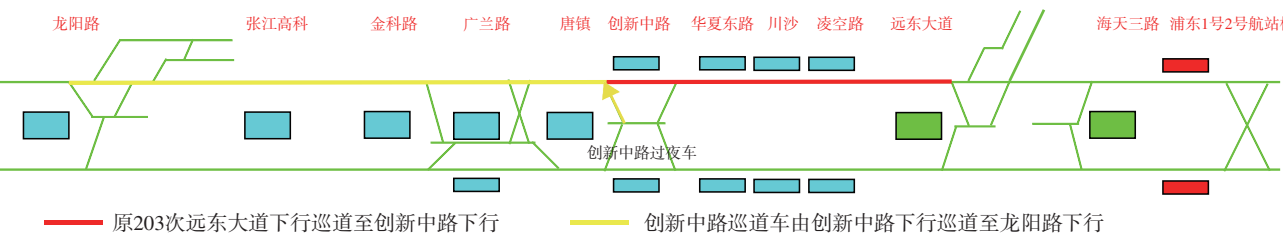


图9 创新中路存车线过夜车方案
Fig.9 Overnight train plan of Middle Chuangxin Road storage line

表2 车站存车线数量和长度
Tab.2 Number and length of station storage lines

车站	存车线长度/m	存车线数量/条
龙阳路	213	1
创新中路	198	1
海天三路	236	1
广兰路	186	1
上海科技馆	209	2
淞虹路	232	2
国家会展中心	241(折返线) 235(存车线)	2(折返线) 2(存车线)
浦东1号2号航站楼	250	2
人民广场	145	1(6节编组)
威宁路	216	1

4.2.2 列车空驶里程优化分析

在减少空驶里程方面,经过此次优化,广兰路过夜车的空驶里程减少了14.136 km,创新中路的过夜车减少了13.449 km,合计减少27.585 km。原国家会展中心过夜车因在前一天新增1列出库车,故出库里程没有减少,且原巡道任务(淞虹路至国家会展中心)拆分至后一列次,故总空驶里程不变。原浦东1号2号航站楼因在前一天新增1列出库车,故出库里程没有减少,且原巡道任务(远东大道至浦东1号2号航站楼)拆分至后一列次,故总空驶里程不变。

4.2.3 维护时间窗口优化分析

在维护时间窗口优化方面,巡道时间的缩短意味着夜间维护窗口的延长。在经过这次优化后,新增广兰路过夜车后巡道时间减少11 min,下降了23.9%;新增创新中路过夜车后巡道时间减少14 min,下降了36.8%。合计增加有效维护时间25 min,提升轨行区设备检修、道岔维护等关键作业的完成率,新增过夜车后优化时间对比如图10所示。

目前上海地铁2号线采用国家会展中心和浦东

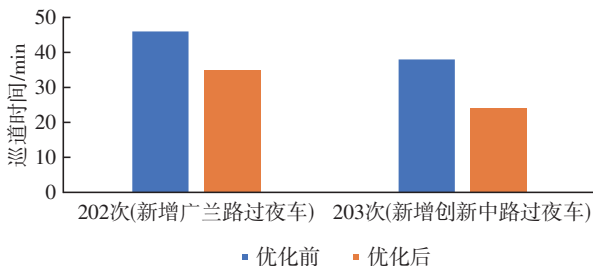


图10 新增过夜车后优化时间对比

Fig.10 Comparison of optimization time after adding overnight trains

1号2号航站楼的过夜方案。采用国家会展中心过夜方案巡道时间由29 min缩短为27 min,可节约2 min用于空窗期施工。采用浦东1号2号航站楼过夜车方案巡道时间由62 min缩短为61 min,可节约1 min用于空窗期施工。采用过夜车方案前后巡道时间优化对比如图11所示,可以看出广兰路和 innovation 中路过夜车的优化方案,明显优于国家会展中心和浦东1号2号航站楼的过夜方案。

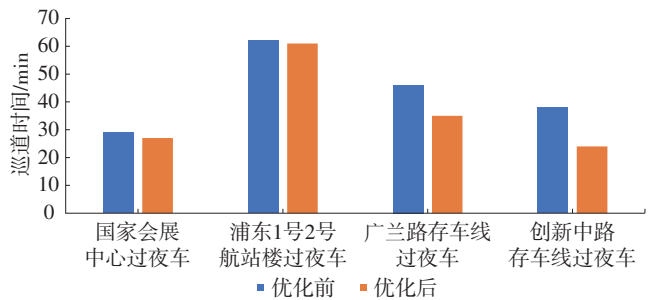


图11 巡道时间优化对比

Fig.11 Comparison of patrol time optimization

5 结束语

以上海地铁2号线为案例,通过构建多目标优化模型并采用改进分支定界算法求解,验证了该模式在减少空驶里程、压缩巡道时间、增加维护天窗时间方面的显著效果。研究表明,合理选择咽喉区或延伸段的关键车站作为过夜停车点,能够以较小投入换取运营效率与安全性的双重提升。该优化思路不依赖于特定线路条件,具有较强的可迁移性与推广价值。未来可进一步结合全自动运行技术、车地无线通信及智能调度系统,实现动态停车决策与自适应维护窗口分配,为超大城市轨道交通网络化运营提供更灵活的韧性支撑。

参考文献:

- [1] 杨志成,黄宗志.有轨电车网络化运营设计方法[J].城市轨道交通研究,2023,26(5):119-123,127.
YANG Zhicheng, HUANG Zongzhi. Design Method of Tram Networking Operation[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(5): 119-123, 127.
- [2] 谢秉磊,丁川.TOD下城市轨道交通与土地利用的协调关系评价[J].交通运输系统工程与信息,2013,13(2):9-13,41.
XIE Binglei, DING Chuan. An Evaluation on Coordinated

- Relationship between Urban Rail Transit and Land-Use under TOD Mode[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2013, 13(2): 9–13, 41.
- [3] 袁振洲, 袁晓敬, 杨 洋, 等. 城市轨道交通低碳效应研究综述[J]. *铁道运输与经济*, 2024, 46(8): 8–23, 57.
YUAN Zhenzhou, YUAN Xiaojing, YANG Yang, et al. Review on Research of Low-Carbon Effects in Urban Rail Transit[J]. *Railway Transport and Economy*, 2024, 46(8): 8–23, 57.
- [4] 谭德明, 陈可沛, 吴大维, 等. 低碳视角下轨道交通与土地利用供需协同发展研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2025, 25(4): 13–23.
TAN Deming, CHEN Kepei, WU Daiwei, et al. Rail Transit and Land Use Supply and Demand Coordinated Development from Low-Carbon Perspective[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2025, 25(4): 13–23.
- [5] 刘丽琴, 邢燕婷, 于松伟, 等. 基于可持续发展的城市轨道交通经济费用效益多维度研究[J]. *都市快轨交通*, 2025, 38(3): 11–19.
LIU Liqin, XING Yanting, YU Songwei, et al. Multi-Dimensional Research on the Economic Cost-Benefit Analysis of Urban Rail Transit Based on Sustainable Development[J]. *Urban Rapid Rail Transit*, 2025, 38(3): 11–19.
- [6] 龚辉波, 张 宇, 陈旭梅, 等. 考虑空驶里程优化的城轨车辆基地规模分配方法[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2023, 55(7): 97–106.
GONG Huibo, ZHANG Yu, CHEN Xumei, et al. Capacity Design of Depots Considering Optimization of Deadhead Mileage in Urban Rail Transit[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2023, 55(7): 97–106.
- [7] 贺万里. 地铁场段出入线设计及接轨方案研究[J]. *铁道工程学报*, 2018, 35(6): 81–87.
HE Wanli. Research on the Design of Entrance/Exit Line and Track Joining Scheme of Depot of Metro[J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2018, 35(6): 81–87.
- [8] 辛丽平, 魏代兴, 刘守元, 等. 考虑资源均衡配置的地铁双车辆段车底运用计划优化研究[J]. *铁道运输与经济*, 2026, 48(5): 119–130.
XIN Liping, WEI Daixing, LIU Shouyuan, et al. Optimization of Rolling Stock Utilization Plan for Metro Dual-Depots Considering Balanced Resource Allocation[J]. *Railway Transport and Economy*, 2026, 48(5): 119–130.
- [9] 曾钰宁, 许得杰, 巩 亮, 等. 城市轨道交通共享车辆基地现状及布局形式研究[J]. *铁道运输与经济*, 2024, 46(9): 208–216.
ZENG Yuning, XU Dejie, GONG Liang, et al. Current Situation and Layout of Shared Vehicle Depots of Urban Rail Transit[J]. *Railway Transport and Economy*, 2024, 46(9): 208–216.
- [10] 梁强升, 杨普杰. 利用正线夜间停放客车提高运营效率的可行性[J]. *都市快轨交通*, 2008, 21(4): 31–34.
LIANG Qiangsheng, YANG Pujie. Feasibility Study on Improving Operational Efficiency by Placing Passenger Trains on Metro Lines at Night[J]. *Urban Rapid Rail Transit*, 2008, 21(4): 31–34.
- [11] 鞠 昕, 张艳兵. 从行车组织角度探讨轨道交通全自动运行线路设计[J]. *都市快轨交通*, 2019, 32(1): 56–60, 77.
JU Xin, ZHANG Yanbing. Line Design and Train Commands for Fully Automatic Operated Urban Rail Transit Systems[J]. *Urban Rapid Rail Transit*, 2019, 32(1): 56–60, 77.
- [12] 温朋哲, 康 喆, 徐道亮, 等. 全自动地铁车辆基地占地规模优化措施[J]. *城市轨道交通研究*, 2024, 27(12): 296–300.
WEN Pengzhe, KANG Zhe, XU Daoliang, et al. Optimization Measures for Land Occupation Scale of Fully Automatic Metro Vehicle Base[J]. *Urban Mass Transit*, 2024, 27(12): 296–300.
- [13] 袁 航, 许得杰, 巩 亮, 等. 城市轨道交通客流分配方法研究综述[J]. *铁道运输与经济*, 2025, 47(11): 1–17.
YUAN Hang, XU Dejie, GONG Liang, et al. Review of Passenger Flow Assignment Methods in Urban Rail Transit[J]. *Railway Transport and Economy*, 2025, 47(11): 1–17.
- [14] 杨在旭, 彭其渊, 赵 军, 等. 城轨线路夜间全线单线双向行车模式下行车能力计算[J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2023, 42(4): 108–115.
YANG Zaixu, PENG Qiyan, ZHAO Jun, et al. Nighttime Driving Capacity for an Urban Rail Transit Line under Full Line Single-Track Bidirectional Operation Mode[J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Sciences)*, 2023, 42(4): 108–115.
- [15] 李德宏, 柴 娟. 城市轨道交通全自动运行线路自动化场段库线设计方案[J]. *城市轨道交通研究*, 2022, 25(11): 76–78.
LI Dehong, CHAI Juan. Design of Automatic Depot Stabling Line for Urban Rail Transit FAO Line[J]. *Urban Mass Transit*, 2022, 25(11): 76–78.

(责任编辑 刘宁馨)