

文章编号: 1003-1421(2026)10-0172-09

引用格式: 银笑烽, 景云, 郭思冶, 等. 基于铁路车票延迟兑现的座位分配策略研究[J]. 铁道运输与经济, 2026, 48(10): 172-180.
YIN Xiaofeng, JING Yun, GUO Siye, et al. Research on Seat Allocation Strategy for Railway Tickets Based on Delayed Fulfillment[J].
Railway Transport and Economy, 2026, 48(10): 172-180.

基于铁路车票延迟兑现的座位分配策略研究

银笑烽¹, 景云^{1, 2}, 郭思冶³, 王思源¹

(1. 北京交通大学 交通运输学院, 北京 100044; 2. 北京交通大学 智慧高铁系统前沿科学中心, 北京 100044; 3. 交通运输部科学研究院 综合运输研究中心, 北京 100029)

摘要: 铁路12306推出同车接续功能, 虽初见成效, 但在实际应用过程中亦衍生出中途换座不便以及额外成本风险提高等问题。为进一步提升旅客出行体验, 同时解决座位资源碎片化问题, 提出铁路车票延迟兑现的座位分配策略, 通过构建“座位预占-动态调整-延迟兑现”三级响应体系, 实现座位资源跨时段全局优化配置。采用优化仿真技术, 实时更新座位分配方案, 实现对列车座位分配的智能模拟。案例分析结果表明, 与我国现行的座位分配策略相比, 基于延迟兑现的座位分配策略可提升全程座位合并率21.23%, 显著减少旅客中途换座不便, 同时保留更多空闲座位以应对突发客流波动。本研究构建具有动态反馈能力的智能票务策略, 突破了传统座位分配策略的局限性, 为智慧票务系统的升级迭代提供理论支撑, 对推进交通强国战略背景下运输服务数字化转型具有重要实际应用价值。

关键词: 铁路运输; 座位分配; 延迟兑现; 同车接续

中图分类号: U293.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250518001

Research on Seat Allocation Strategy for Railway Tickets Based on Delayed Fulfillment

YIN Xiaofeng¹, JING Yun^{1, 2}, GUO Siye³, WANG Siyuan¹

(1. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Frontiers Science Center for Smart High-Speed Railway System, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 3. Comprehensive Transportation Research Center, China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Although the same-train connection function launched by China Railway 12306 has achieved initial success, practical applications reveal issues such as the inconvenience of mid-journey seat changes and the increased risk of additional costs. To further enhance passenger travel experiences and address the fragmentation of seat resources, this paper proposed a seat allocation strategy for railway tickets based on delayed fulfillment. By constructing a three-level response system of “seat reservation, dynamic adjustment, and delayed fulfillment”, the strategy realized the cross-time global optimal allocation of seat resources. Optimization simulation technology was adopted to update the seat allocation scheme in real time, realizing the intelligent simulation of train seat allocation. The case study results show that compared with the current seat allocation strategy in China, the seat allocation strategy based on delayed fulfillment can increase the full-journey seat combination rate by 21.23%, significantly

收稿日期: 2025-05-18 修订日期: 2026-03-04

通信作者: 景云(1981—), 男, 陕西宝鸡人, 北京交通大学交通运输学院教授。

基金项目: 国家自然科学基金项目(52372300); 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(N2024X035)

reduce the inconvenience of passengers having to change seats during the journey, and reserve more vacant seats to cope with sudden fluctuations in passenger flow. This paper constructed an intelligent ticketing strategy with dynamic feedback capabilities, which broke through the limitations of traditional seat allocation strategies. It also provided theoretical support for the upgrading and iteration of smart ticketing systems, and had significant practical application value for promoting the digital transformation of transportation services under the national strategy of building a transportation powerhouse.

Keywords: Railway Transport; Seat Allocation; Delayed Fulfillment; Same-Train Connection

0 引言

2024年9月24日,铁路12306推出同车接续功能。在查询车票后,点击“中转换乘”,系统会在提供不同车次换乘方案的基础上,将能组合的同一列车不同区段的两段同席别或不同席别的剩余车票,组合成该车次的同车接续方案,供旅客选择。选择同车接续方案的旅客,中途不用换车,同车更换座位即可。车票总价为两段车票票价之和,且各段车票票价仍遵循递远递减原则。同车接续功能通过座位组合为原本购买不到车票的旅客提供新的出行选择,是我国铁路客运票务领域的一次创新突破。

在铁路客运票务研究领域,近年来有很多学者关注票额分配与旅客出行体验优化问题。Belobaba^[1]、马建军等^[2]、单杏花等^[3]推动票额分配从人工经验决策向系统化、数据化方法的转变。王洪业等^[4]结合票额裂解、保护和客流培养因素建立智能票额分配模型,目前该方法已应用于我国铁路客票发售与预订系统。包云等^[5]建立嵌套式票额分配模型,通过套用短途票额的方式保护长途旅客的购票需求。包云等^[6]、宋文波等^[7]、武晋飞等^[8]针对目前票额自动预分不能满足需求波动的现状,构建基于随机需求的单列车票额分配优化模型。赵翔等^[9]、强丽霞等^[10]、周文梁等^[11]综合考虑旅客选择偏好和多列车能力互补性,构建多列车多停站方案条件下高速铁路票额分配模型。胡心磊等^[12]、苏焕银等^[13]、秦进等^[14]研究高速铁路列车票价制定与票额分配协同优化。周亮瑾等^[15]在优化票额分配方案时,考虑票额预分、票额共用、席位复用和限售区段调整4种售票组织策略,其中席位复用是指当旅客列车席位的某一区段售出后,该席位的剩余区段允许被再次发售利用的售票组织策略。单杏花^[16]介绍了席位复用的控制处理措施,包括:复用裂解时间、复用裂解站设置、复用有座席控制,以及复用短途席位合

并。随着高速铁路逐渐呈现“公交化”的运营态势,王元媛等^[17]重点研究无座席复用策略,解决列车超员、无座席发售不均衡等客运组织问题。闫振英等^[18]提出将部分高速铁路席位以灵活车票的形式出售的机制,相比单纯折扣销售在应对需求不确定性方面可以发挥优势。王凌燕^[19]为提升高速铁路出行服务质量与竞争力,提出完善票务形式、优化换乘衔接、改进积分服务等对策。可见,既有研究针对座位分配的研究相对较少,主要围绕如何兼顾长短途旅客的出行需求,缺少对旅客实际座位号的科学安排,在座位资源优化配置与服务精细化层面尚存研究空白。

同车接续功能目前处于探索阶段,尽管在一定程度上缓解了旅客购票难问题,但其本质是一种相对被动的应对措施,在实际应用过程中亦衍生出中途换座不便以及增加额外成本风险等问题。

因此,研究创新性地提出基于铁路车票延迟兑现的座位分配策略研究,通过构建“座位预占-动态调整-延迟兑现”三级响应体系,解决同车接续功能的局限性,在保障旅客座位确定性需求的同时,实现座位资源跨时段优化配置。相较于我国铁路现行座位分配策略“先到先得”与“即时兑现”的特点,本研究通过将座位兑现时间节点后移,为铁路运营管理预留调控空间。在求解算法层面,设计仿真算法,以实时需求数据驱动的滚动优化策略,动态调整座位分配方案,为破解座位碎片化难题提供了一种新的求解思路。综上所述,本研究能够为智慧票务系统的迭代升级提供决策支持,对提升铁路运输资源配置效率、缓解供需结构性矛盾具有重要意义。

1 基于延迟兑现策略的座位分配问题

1.1 座位分配问题

座位分配是交通领域特有的资源分配问题,具

体而言，是在多元约束条件下，将有限的座位资源与旅客进行精准匹配的过程。该问题需要综合旅客购票信息，同时结合实时座位占用状态动态调整分配策略，避免出现碎片化闲置，最终实现座位资源的高效利用。

航空与铁路座位分配问题存在本质差异。航空运输采用点对点航线网络运营模式，每位旅客的座位无法拆分为航段级产品单元，座位分配主要遵循先到先得的预占机制，同时依赖收益管理系统平衡超售与 No-Show 风险，以此提升座位利用率。然而，铁路运输则通过时空解耦实现席位复用，即当列车席位的某一区段售出后，该席位的剩余区段仍允许被再次发售利用，因此铁路座位分配问题需要实时更新座位占用状态，并解决区间占用冲突，其技术核心在于高并发下的弹性锁定座位与滚动时域优化。此外，高速铁路列车编组通常配置数千个座位，大大增加了座位分配问题求解的复杂度。

1.2 现行座位分配策略

在我国铁路现行座位分配策略中，旅客提交购票订单时，客票发售系统即时完成余票校验并锁定可用席位，同步生成对应座位号。这种“先到先得”与“即时兑现”的策略虽然能够满足旅客对座位确定性的心理需求，却容易导致座位碎片化问题。下面通过一个例子来说明：假设某列车途经4个车站，座位容量 $K = 2$ ， $P_i(o, d)$ 表示在时段 t 到达的购票请求，该旅客的购票区间为 (o, d) ，

旅客购票请求到达时间序列依次为： $P_1(A, B)$ ， $P_2(C, D)$ ， $P_3(A, C)$ ， $P_4(B, D)$ ，我国铁路现行座位分配策略如图1所示。

当旅客4购票时直达车票已售罄，如果不选择同车接续功能，旅客4的出行计划将无法实现；如果选择同车接续功能，则需要在C站更换座位。这种两难境地，在一定程度上影响了旅客出行体验，同时也反映出我国铁路现行座位分配策略在动态平衡供需矛盾、优化旅客出行体验等方面，仍存在较大的改进空间。

1.3 基于延迟兑现的座位分配策略

面向现行座位分配策略存在的现实问题，创新性地提出基于延迟兑现的座位分配策略，即当旅客提交购票订单并支付票款时，暂不分配具体的座位号，通过调整所有旅客的座位分配方案，将车票兑现环节延迟至列车出发前集中执行，基于延迟兑现的座位分配策略总体架构如图2所示。

如图2所示，该策略包括座位预占、动态调整和延迟兑现3个阶段。

(1) 座位预占：初始阶段。设计目标旨在构建具有动态调节能力的弹性座位资源池。当旅客提交购票订单并支付票款时，系统执行座位预占操作，在实时更新的可用座位集合中，标记该订单对应的座位占用状态，同时暂存具体的座位号。这种基于状态标记的预占策略，能够避免座位资源过早固化，进而为后续动态调整保留必要的操作空间，提

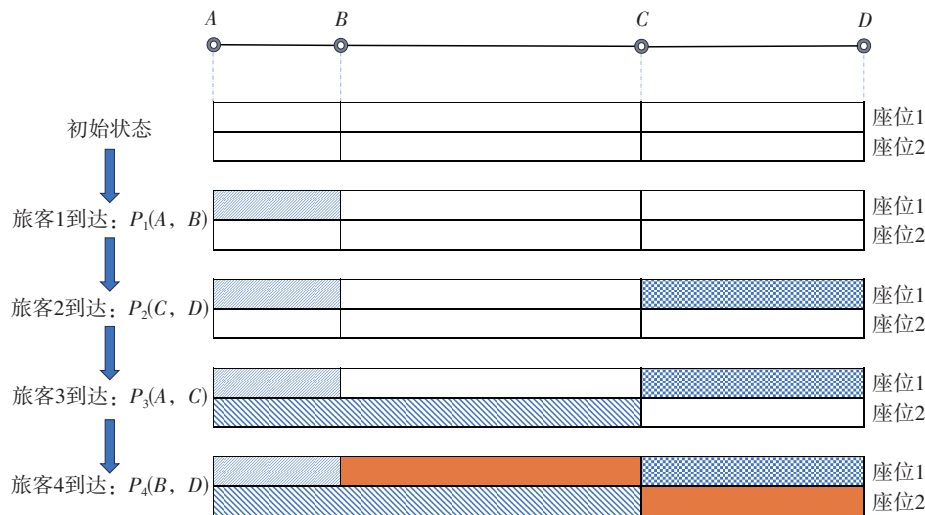


图1 我国铁路现行座位分配策略
Fig.1 Current seat allocation strategy of railway in China

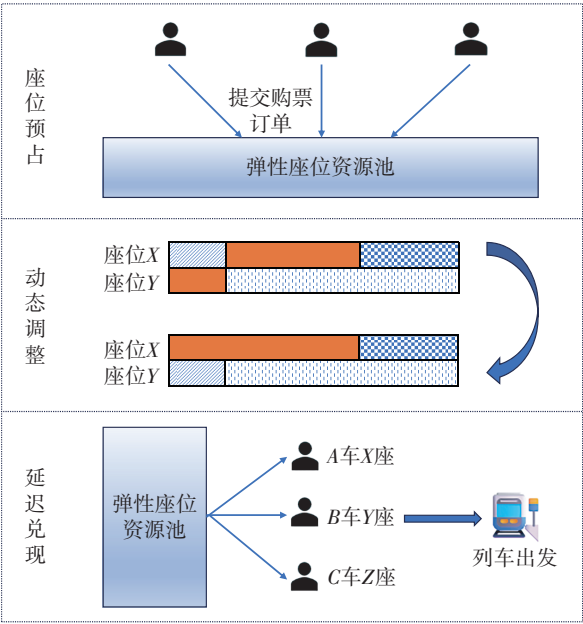


图2 基于延迟兑现的座位分配策略总体架构
Fig.2 Overall architecture of seat allocation strategy based on delayed fulfillment

升座位分配服务弹性。

(2) 动态调整：关键环节。基于座位预占状态与预订数据，以最小化座位占用总数为目标，在预设时间窗口内实时更新座位分配方案。动态调整操作并非局部的、短期的资源调配，而是从全局视角出发，确保座位资源在整个运输网络和时间维度上实现最优的分配方案。

(3) 延迟兑现：最终阶段。当旅客提交购票订

单并支付票款时，仅生成交易确认凭证，所有旅客的座位号延迟至列车出发前集中兑现，此时系统会根据最终客流数据一次性生成所有座位号，并通过12306 App、短信等多渠道进行推送。该策略将座位兑现环节推迟至信息更为充分的阶段，突破了现行座位分配策略即时兑现的静态局限，更为收益管理创造了灵活空间。

在基于延迟兑现的座位分配策略下，当旅客4到达时，对座位分配方案进行全局动态优化调整，首先将旅客2移动到座位2与旅客3接续，然后将旅客4安排到座位1，基于延迟兑现的座位分配策略如图3所示。可以看出，所有旅客均可乘坐直达座位出行，有效减少旅客中途换座1次。

由图3可以看出，旅客1、旅客2以及旅客3的出行成本总和为750元，在我国铁路现行座位分配策略下，旅客4若采用同车接续功能，则需分段购票，其出行成本为350+250=600元；而在延迟兑现策略下，旅客4可直接购买直达车票，出行成本为550元。这一策略的实践应用，有效规避了可能存在的票价不公问题，从而确保旅客出行成本最低，对于增强铁路客运服务竞争力、深化铁路旅客品牌忠诚度具有重要意义。

综上所述，基于延迟兑现的座位分配策略突破传统“预订成功之时即完成座位分配”的固有模式，通过将座位分配时间节点后移，为铁路运营管

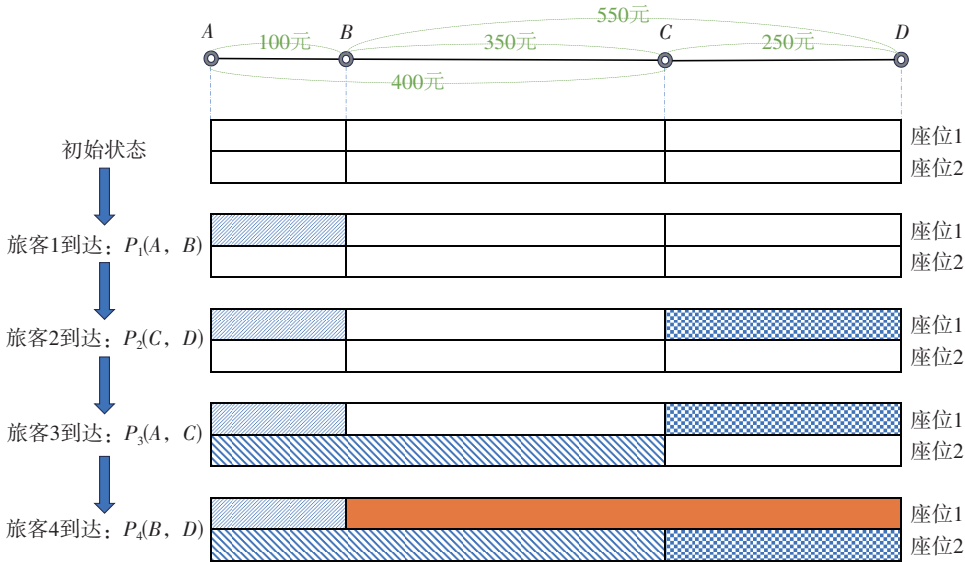


图3 基于延迟兑现的座位分配策略
Fig.3 Seat allocation strategy based on delayed fulfillment

理预留动态调控空间。在应对突发客流激增、列车编组临时调整等复杂运营场景时,该策略赋予铁路部门更充裕的时间与空间进行精细化调度,能够有效提升资源配置效率与运营响应能力,并为铁路运输服务的智能化升级提供重要支撑。

2 座位分配模型

2.1 模型假设及变量定义

(1) 假设所有旅客知晓车票延迟兑现策略的基本规则,且均已提交购票订单并支付票款。

(2) 不考虑旅客退改签、不乘车等行为情况。

(3) 不考虑靠窗、靠过道、静音车厢等选座服务。

长途旅客是指购买列车全程车票,即购票行程覆盖列车始发站至终点站的旅客;其余仅购买部分区间的旅客均界定为短途旅客。全程座位是指由一名长途旅客单独占用,或由数名短途旅客通过行程无缝衔接的方式,实现自始发站至终点站全程覆盖的座位。

变量及含义如表1所示。

2.2 目标函数

座位分配模型的目标为最小化座位占用数,即通过合理分配,使所有旅客占用的座位数最少,如式(1)所示。通过整合碎片化的购票需求,不仅能切实满足当前旅客的出行需求,还能最大程度地预留空闲座位,从而灵活应对未来可能出现的需求变化。

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \delta_k^t \quad (1)$$

其中, δ_k^t 为0-1变量,表示座位 k 在时段 t 是否被占用,当 $|Seat_k^t| \geq 1$ 时, $\delta_k^t = 1$; 否则 $\delta_k^t = 0$ 。 $|Seat_k^t|$ 表示集合 $Seat_k^t$ 的元素数量,即占用该座位的旅客数。

2.3 约束条件

(1) 票额预分约束。规定各区间的实际售票数量不得超过票额预分限制,如式(2)所示。

$$\sum_{t=1}^T S_{ij} \leq Q_j \quad \forall j \in J \quad (2)$$

(2) 座位分配唯一性约束。为避免出现一个购票请求分配到多个座位的情况,因此约束一个购票请求最多只能被分配到一个座位,如式(3)所示。

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in T \quad (3)$$

(3) 座位分配有序性约束。为避免出现同一座位的不同占用区间存在相互重叠冲突的混乱局面,因此约束每个座位的不同占用区间不能重叠,如式(4)所示。

$$\varphi_h^{t_1} x_{t_1,k} \cdot \varphi_h^{t_2} x_{t_2,k} \leq 0 \quad \forall k \in K, \forall h \in H, \quad (4)$$

$$\forall t_1, t_2 \in T (t_1 < t_2)$$

(4) 变量约束。

$$x_{ik} \in \{0, 1\} \quad (5)$$

3 座位分配仿真算法

3.1 仿真建模环境描述

采用仿真建模求解座位分配模型,选用 Python 3.12 作为基础开发平台编程实现。所有测试

表1 变量及含义

Tab.1 Variables and their meanings

参数	含义
N	车站集合, $N = \{1, 2, \dots, N \}$
H	区段集合, $H = \{1, 2, \dots, H \}$, $ H = N - 1$, $h \in H$ 为相邻车站的轨道路段
K	某列车座位集合, $K = \{1, 2, \dots, K \}$, $k \in K$
T	预售时段集合, $T = \{1, 2, \dots, T \}$, $t \in T$
J	某列车售票OD对集合, $J = \{(o, d): o \in N \setminus N , d \in N \setminus 1, o < d\}$, $j \in J$
Q	票额预分方案, $Q = \{Q_j j \in J\}$
P	购票请求到达时间序列, $P = \{P_t(o, d) t = 1, 2, \dots, T \}$, 其中 $P_t(o, d)$ 表示在时段 t 到达的购票请求,该旅客的购票区间为 (o, d) 。假设在每个时段 t 有且仅有1个购票请求到达,因此预售时段总数等于购票请求到达总数,即 $ T = P $
S_{ij}	0-1变量,若购票请求 P_i 对应的售票OD为 j ,则 $S_{ij} = 1$; 否则 $S_{ij} = 0$
φ_h^t	0-1变量,表示购票请求 P_i 是否占用区段 h ,如果占用 $\varphi_h^t = 1$; 否则 $\varphi_h^t = 0$
$Seat_k^t$	状态变量,表示座位 k 在时段 t 的占用集合, $Seat_k^t = \{(o_{k,1}, d_{k,1}), (o_{k,2}, d_{k,2}), \dots\}$, 初始为空 $Seat_k^0 = \emptyset$
δ_k^t	0-1变量,表示座位 k 在时段 t 是否被占用,当 $ Seat_k^t \geq 1$ 时, $\delta_k^t = 1$; 否则 $\delta_k^t = 0$
$L(t)$	状态变量,已锁定座位集合,表示截至时段 t 被长途旅客占用,或通过短途合并覆盖全程的座位, $L(t) \subseteq \{0, 1, \dots, K\}$
x_{ik}	0-1决策变量,表示购票请求 P_i 是否被分配座位 k

均在配备 Intel Core i9-14900HX 处理器、64 GB 内存且运行 64 位 Windows 10 操作系统的计算机上进行。

座位分配仿真环境建模通过构建列车座位及其属性的抽象关系，如锁定状态和区间占用状态，实现座位资源的实时动态管理，主要涉及：判断给定购票区间与当前座位已占用区间是否存在冲突；分析不同占用区间能否合并为全程座位；将新的购票需求添加至座位区间占用状态集合；实时计算座位利用率等核心操作。

3.2 仿真算法设计

针对不同旅客类型的购票请求，采用差异化的座位分配策略。

(1) 长途旅客处理流程：直接分配至任意一个未锁定的空闲座位，同时标记该座位为全程座位，并进行锁定处理。

(2) 短途旅客处理流程：暂存短途旅客购票请求，进行全局动态优化。①在确保无区间占用冲突的前提下，优先尝试将短途旅客分配至可实现全程覆盖的座位，标记该座位为全程座位并锁定，同时重新分配原座位上其他区间的旅客；②如果无法实现全程覆盖，则优先将短途旅客分配至行程可接续的座位，并更新该座位的区间占用状态；③当没有行程可接续座位时，则将其分配至已占用部分区间座位，并更新区间占用状态；④如果所有分配方案均导致区间占用冲突，则直接为短途旅客分配任意一个未锁定的空闲座位，并对该座位的区间占用状态进行初始化设置。

基于以上分析，提出座位分配仿真算法如下。

输入：车站集合 N 、座位集合 K 、票额预分方案 Q ，以及购票请求到达时间序列 P 。

输出：所有旅客的座位分配方案 x_{tk} 。

步骤 1：遍历购票请求到达时间序列 P ，依次处理旅客购票请求 $P_i(o, d)$ ，判断旅客类型。如果 $P_i(o, d) = P_i(1, |N|)$ 为长途旅客，直接分配至任意一个未锁定的空闲座位 k ；否则按照短途旅客座位分配策略。

步骤 2：对座位占用区间进行冲突判断。如果存在区间占用冲突，取消本次分配，并将该旅客分配至任意一个未锁定的空闲座位 k' 。

步骤 3：基于预设的座位分配策略，结合实时

座位区间占用状态集合 $Seat_k^t$ ，以及已锁定座位状态集合 $L(t)$ ，为每位旅客动态匹配最优座位 x_{tk} 。

步骤 4：遍历所有购票请求后，仿真结束。

在每次座位分配操作完成后，将同步更新三维状态矩阵：座位锁定状态 $L(t)$ 、座位区间占用状态 $Seat_k^t$ ，实时反映座位资源的时空占用状况，为动态调整提供数据支撑。当系统检测到现有剩余座位资源不足以满足当前旅客请求时，将触发无座位警示机制生成标准化提示信息。仿真流程如图 4 所示。

本仿真算法支持参数化配置管理，通过调整车站集合 N 和座位集合 K 等基础参数可构建不同规模

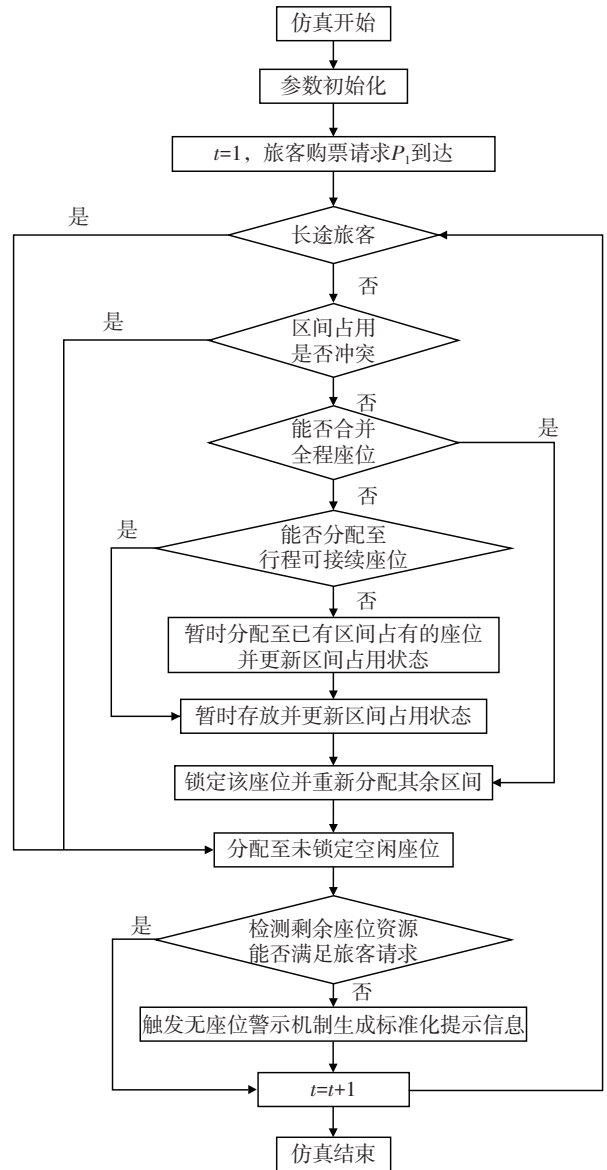


图 4 仿真流程

Fig.4 Simulation process

的路网，修改票额预分方案 Q 和购票请求到达时间序列 P 等运营参数能实现多样化的场景模拟。

4 案例分析

以京沪高速铁路(北京南—上海虹桥)G24次列车二等座为研究对象进行案例分析。列车定员1 174人，途经7个车站，G24次列车停站方案示意图如图5所示。参考王凌燕^[19]研究成果，各OD对日客流量如表2所示。实验设定2类场景，在保持旅客购票请求到达时间序列一致的前提下，对比分析我国铁路现行座位分配策略和研究提出的基于铁路车票延迟兑现的座位分配策略的仿真结果。



图5 G24次列车停站方案示意图
Fig.5 Schematic diagram of stop schedule plan for Train G24

本实验以各OD对日客流量为输入参数，基于泊松分布随机生成单日旅客购票请求到达时间序列，共设置1 174个座位资源和1 403条购票请求的仿真场景。实验结果表明，在延迟兑现的座位分配策略下，所有旅客均可乘坐直达座位出行，减少旅客中途换座35次。因篇幅有限，在此仅展示部分旅客的座位分配方案，2种策略下部分旅客的座位分配方案如图6所示。

座位500	旅客251	旅客252
座位501	旅客258	
座位502	旅客260	旅客264
座位503	旅客262	旅客263
座位504	旅客265	旅客268
座位505	旅客266	
座位506	旅客267	旅客269
座位507	旅客270	旅客271
座位508	旅客272	旅客278
座位509	旅客273	旅客281
座位510	旅客274	旅客279
座位511	旅客275	
座位512	旅客276	
座位513	旅客277	旅客280

a 我国铁路现行售票机制座位分配方案
a Seat allocation scheme of current
ticketing strategy by China Railway

表2 各OD对日客流量
Tab.2 Daily passenger flow volume for each OD pair

序号	OD	日客流/人次	序号	OD	日客流/人次
1	(1, 2)	93	12	(3, 4)	46
2	(1, 3)	184	13	(3, 5)	10
3	(1, 4)	29	14	(3, 6)	19
4	(1, 5)	33	15	(3, 7)	159
5	(1, 6)	69	16	(4, 5)	5
6	(1, 7)	387	17	(4, 6)	8
7	(2, 3)	22	18	(4, 7)	57
8	(2, 4)	15	19	(5, 6)	11
9	(2, 5)	12	20	(5, 7)	27
10	(2, 6)	23	21	(6, 7)	92
11	(2, 7)	102			

不同席位复用率对应的座位数量对比如图7所示，可以看出，铁路车票延迟兑现策略在座位资源高效利用上优势显著，通过整合优化，该策略实现885个全程座位合并，较现行座位分配策略的730个全程座位提升21.23%。在席位复用率处于83.33%，66.67%这类较高水平时，延迟兑现策略的座位数量低于现行策略，有效缓解了座位占用区间碎片化问题。而当席位复用率降到50%，33.33%，16.67%这些较低水平时，座位整体使用频率降低，碎片化问题影响减弱，因此2种策略的座位数量差异逐渐减小，此时为了实现全程座位合并，延迟兑现策略可能需要为原座位上的部分旅客分配额外的座位，

座位500	旅客329	
座位501	旅客317	旅客339
座位502	旅客332	旅客344
座位503	旅客333	
座位504	旅客334	
座位505	旅客336	旅客337
座位506	旅客340	旅客355
座位507	旅客341	旅客345
座位508	旅客342	
座位509	旅客343	旅客352
座位510	旅客347	旅客351
座位511	旅客348	
座位512	旅客349	
座位513	旅客350	旅客353

b 基于铁路车票延迟兑现策略的座位分配方案
b Seat allocation scheme based on
delayed fulfillment strategy of ticket

图6 2种策略下部分旅客的座位分配方案
Fig.6 Seat allocation schemes for some passengers under two strategies

因此导致座位数量略高于现行策略。值得注意的是, 尽管延迟兑现策略的全程座位数比现行策略多 155 个, 但保留的空闲座位数仅减少 57 个, 这意味着延迟兑现策略并未因席位复用率提升而过度消耗空闲座位, 而是保留了足够的空闲座位用于应对未来需求, 避免因座位过度占用而丧失响应能力, 充分体现了该策略在兼顾席位复用率与未来需求方面的优化特性。

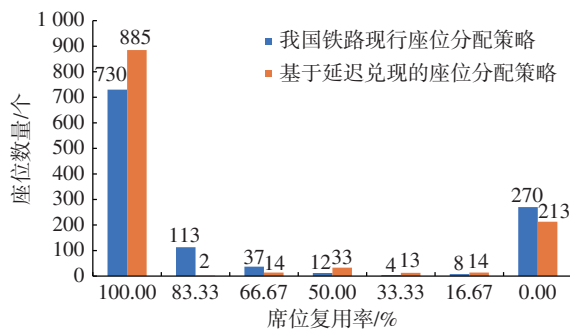


图7 不同席位复用率对应的座位数量对比

Fig.7 Comparison of seat numbers corresponding to different seat utilization rates

5 结论

本研究针对我国高铁座位资源碎片化问题, 首次创新性提出基于延迟兑现的座位分配策略。通过构建“座位预占-动态调整-延迟兑现”三级响应体系, 突破现行座位分配策略实时锁定的局限性, 实现了座位资源跨时段全局优化配置。案例分析表明, 该策略可显著提升全程座位合并率, 减少旅客中转换乘不便, 并在保障座位利用率的同时保留更多空闲座位以应对突发需求波动, 验证了其在缓解运能与需求结构性矛盾中的有效性。

本研究为智慧票务系统的升级提供了理论支撑与实践路径, 其动态分配逻辑为破解座位碎片化难题提供了新视角, 对提升铁路运输资源配置效率和旅客出行体验具有重要现实意义。然而在实际运营中, 旅客行为的不确定性, 如退票、改签, 以及个性化选座等, 仍然可能对系统效能产生影响。未来研究将进一步拓展应用场景, 针对上述不确定性因素开展量化建模, 结合机器学习算法优化座位分配策略, 重点突破大规模客流下的实时响应瓶颈, 从而推动铁路票务系统向更智能、更灵活的方向迭代升级, 切实增强在实际复杂运营环境中的适应性与

稳定性。

参考文献:

- [1] BELOBABA P P. OR Practice: Application of a Probabilistic Decision Model to Airline Seat Inventory Control[J]. Operations Research, 1989, 37(2): 183-197.
- [2] 马建军, 许红, 胡思继, 等. 计算机编制旅客列车票额分配系统的理论和设计方法[J]. 铁道学报, 2001, 23(6): 6-10.
MA Jianjun, XU Hong, HU Siji, et al. Theory and Design Method on Seats Allotment System of Passenger Trains Worked out with Computer[J]. Journal of the China Railway Society, 2001, 23(6): 6-10.
- [3] 单杏花, 周亮瑾, 吕晓艳, 等. 铁路旅客列车票额智能预分研究[J]. 中国铁道科学, 2011, 32(6): 125-128.
SHAN Xinghua, ZHOU Liangjin, LYU Xiaoyan, et al. Research on Intelligent Pre-Assignment of Ticket Allotment for Railway Passenger Train[J]. China Railway Science, 2011, 32(6): 125-128.
- [4] 王洪业, 吕晓艳, 周亮瑾, 等. 基于客流预测的铁路旅客列车票额智能分配方法[J]. 中国铁道科学, 2013, 34(3): 128-132.
WANG Hongye, LYU Xiaoyan, ZHOU Liangjin, et al. Intelligent Seat Allotment Method for Railway Passenger Train Based on Passenger Flow Forecast[J]. China Railway Science, 2013, 34(3): 128-132.
- [5] 包云, 刘军, 马敏书, 等. 高速铁路嵌套式票额分配方法研究[J]. 铁道学报, 2014(8): 1-6.
BAO Yun, LIU Jun, MA Minshu, et al. Nested Seat Inventory Control Approach for High Speed Trains[J]. Journal of the China Railway Society, 2014(8): 1-6.
- [6] 包云, 刘军, 刘江川, 等. 基于随机需求的单列车票额分配方法[J]. 中国铁道科学, 2015, 36(2): 96-102.
BAO Yun, LIU Jun, LIU Jiangchuan, et al. Seat Allotment Method for Single Train Based on Stochastic Demand[J]. China Railway Science, 2015, 36(2): 96-102.
- [7] 宋文波, 赵鹏, 李博. 高速铁路单列车动态定价与票额分配综合优化研究[J]. 铁道学报, 2018, 40(7): 10-16.
SONG Wenbo, ZHAO Peng, LI Bo. Research on Comprehensive Optimization of Dynamic Pricing and Seat Allocation for High Speed Single Train[J]. Journal of the China Railway Society, 2018, 40(7): 10-16.

- [8] 武晋飞, 游雪松, 薛冰. 考虑客流波动条件下高速铁路票额分配鲁棒性模型研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(5): 17-23.
- WU Jinfei, YOU Xuesong, XUE Bing. Research on Ticket Allocation Robustness Model for High Speed Railway with Passenger Flow Fluctuation[J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(5): 17-23.
- [9] 赵翔, 赵鹏, 李博. 多列车多停站方案条件下高速铁路票额分配研究[J]. 铁道学报, 2016, 38(11): 9-15.
- ZHAO Xiang, ZHAO Peng, LI Bo. Study on High Speed Railway Ticket Allocation under Conditions of Multiple Trains and Multiple Train Stop Plans[J]. Journal of the China Railway Society, 2016, 38(11): 9-15.
- [10] 强丽霞, 贺振欢. 基于客流分配技术的铁路旅客列车票额分配方法研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(9): 7-11.
- QIANG Lixia, HE Zhenhuan. Study on Train Ticket Allocation Based on Passenger Flow Assignment Technology[J]. Railway Transport and Economy, 2017, 39(9): 7-11.
- [11] 周文梁, 蔡炜, 刘晓航, 等. 高铁列车差异化票价与票额协同优化[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(4): 869-876.
- ZHOU Wenliang, CAI Wei, LIU Xiaohang, et al. Optimization of Differentiated Fare and Ticket Amount for High Speed Train[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2021, 18(4): 869-876.
- [12] 胡心磊, 史峰, 秦进. 面向票价票额综合优化的高速铁路客票分类定价策略[J]. 铁道学报, 2022, 44(7): 1-10.
- HU Xinlei, SHI Feng, QIN Jin. Pricing Strategy by Category for Joint Optimization of Pricing and Seat Allocation Problem in High Speed Rail Networks[J]. Journal of the China Railway Society, 2022, 44(7): 1-10.
- [13] 苏焕银, 徐光明, 曾琼芳, 等. 需求导向的高铁列车差异化定价与票额分配综合优化[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(11): 3138-3147.
- SU Huanyin, XU Guangming, ZENG Qiongfang, et al. Collaborative Optimization of Differential Pricing and Seat Allocation for Multiple High Speed Trains Considering Passenger Demand[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(11): 3138-3147.
- [14] 秦进, 吴旋科, 徐彦, 等. 高速铁路动态定价与票额分配协同优化研究[J]. 铁道学报, 2020, 42(3): 32-41.
- QIN Jin, WU Xuanke, XU Yan, et al. Study on Collaborative Optimization of Dynamic Pricing and Ticket Allocation for High Speed Trains[J]. Journal of the China Railway Society, 2020, 42(3): 32-41.
- [15] 周亮瑾, 刘强, 王元媛. 铁路客票系统席位复用的研究与分析[J]. 铁路计算机应用, 2003, 12(12): 6-7.
- ZHOU Liangjin, LIU Qiang, WANG Yuanyuan. Analysis and Research for Repeat Using Seats in TRS[J]. Railway Computer Application, 2003, 12(12): 6-7.
- [16] 单杏花. 铁路客运收益管理模型及应用研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2012.
- [17] 王元媛, 张志强, 刘国峰, 等. 铁路旅客列车无座席管理及技术研究[C]//第十五届中国智能交通年会论文集. 深圳, 2020: 83-91.
- [18] 闫振英, 张金友, 韩宝明, 等. 考虑灵活车票的高速铁路票额分配优化研究[J]. 铁道学报, 2022, 44(1): 17-25.
- YAN Zhenying, ZHANG Jinyou, HAN Baoming, et al. Research on Optimization of High Speed Rail Ticket Allocation with Flexible Tickets[J]. Journal of the China Railway Society, 2022, 44(1): 17-25.
- [19] 王凌燕. 高速铁路旅客出行服务体验优化对策[J]. 铁道运输与经济, 2020, 42(10): 43-48.
- WANG Lingyan. Optimization Strategies for Passenger Travel Service and Experience of High Speed Railway[J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(10): 43-48.

(责任编辑 魏然)