文章编号：1003-1421(2026)03-0101-08
引用格式：任文静，丁静，徐彦，等. 基于Hotelling模型的高速铁路平行列车竞合关系研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48(3)：101-108.
REN Wenjing，DING Jing，XU Yan，et al. Coopetition Relationship of High Speed Rail Parallel Trains Based on Hotelling Model[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(3)：101-108.

基于Hotelling模型的高速铁路平行列车竞合关系研究

任文静[1,2]，丁　静[3]，徐　彦[4]，佟　璐[1,2]

(1.北京交通大学 智慧高铁系统前沿科学中心，北京　100044；2.北京交通大学 交通运输学院，北京　100044；3.中国铁路广州局集团有限公司 客运部，广东 广州　510000；4.中国国家铁路集团有限公司 客运部，北京　100844)

摘　要：随着我国高速铁路网络的持续扩展与完善，平行列车数量增加使它们之间竞合关系越发复杂。研究基于差异化分类理论，对平行列车进行分类，通过改进的Hotelling模型对平行列车竞合关系进行深入分析，探讨了票价调整对不同收入水平旅客综合选择行为影响，进一步分析票价调整如何影响单类列车的收益和高速铁路平行列车的总收益。研究表明，不同收入水平的旅客群体不仅在服务偏好上存在显著分化，其支付意愿也各不相同；票价浮动虽然可能导致个别列车因客流量减少而收益下降，但从全局视角看，合理的票价策略能提升高速铁路运营企业的总收益。研究揭示了平行列车间复杂的竞合规律，为高速铁路运营企业制定差异化票价策略提供了理论依据，有助于实现列车间竞合关系的优化平衡，从而在提升运营收益的同时提高整体服务水平。

关键词：平行列车；Hotelling模型；竞合关系；票价浮动；服务偏好
中图分类号：U238　　**文献标识码**：A　　**DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250215001

Coopetition Relationship of High Speed Rail Parallel Trains Based on Hotelling Model

REN Wenjing[1,2]，DING Jing[3]，XU Yan[4]，TONG Lu[1,2]

(1. Frontiers Science Center for Smart High-speed Railway System, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 3. Passenger Transport Department, China Railway Guangzhou Group Co., Ltd., Guangzhou 510000, Guangdong, China; 4. Passenger Transport Department, China State Railway Group Co., Ltd., Beijing 100844, China)

Abstract: As China's high speed rail network continuously expands and improves, the increasing number of parallel trains has made the coopetition relationships among them increasingly complex. This paper classified parallel trains based on the differentiated categorization theory, and conducted an in-depth analysis of the coopetition relationships among parallel trains by adopting an improved Hotelling model. Meanwhile, it investigated the influence of fare adjustments on the comprehensive

收稿日期：2025-02-15
通信作者：佟璐(1983—)，女，内蒙古乌兰浩特人，北京交通大学交通运输学院副教授。
基金项目：国家自然科学基金-铁路基础研究联合基金项目(U2468224)；中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(K2023X047)

choice behavior of passengers with different income levels, and further analyzed how fare adjustments affect the revenue of single-class trains and total revenue of high speed rail parallel trains. The results show that passenger groups with different income levels not only exhibit significant differences in service preferences but also vary in their willingness to pay. Although fare fluctuation may result in a revenue decrease for individual trains due to the reduced passenger flow volume, from a holistic perspective, a reasonable fare strategy can increase the total revenue of the high speed rail operators. This paper reveals the complex coopetition rules among parallel trains, providing a theoretical basis for high speed rail operators to formulate differentiated fare strategies. Additionally, it helps achieve an optimized balance in the coopetition relationships among trains, thereby increasing operational revenue while improving overall service.

Keywords: Parallel Train; Hotelling Model; Coopetition Relationship; Fare Fluctuation; Service Preference

0　引言

随着高速铁路路网的不断完善，同一条高速铁路线路上运行着多趟平行列车，各类列车在市场中的定位不同。关于平行列车的竞合关系，国内外学者已展开了广泛而深入的研究，从不同角度探讨了这些列车如何在同一线路上共存、竞争与合作，以及如何影响铁路运输系统的整体效率和旅客满意度。

在旅客属性研究方面，刘彦麟等[1]基于12306售票数据，通过用户画像挖掘与行为分析，构建列车票价浮动前后的票款收益模型，研究票价浮动后的浮动平衡点。Hao等[2]对旅客出行数据进行深度挖掘，根据铁路旅行的忠诚度、隐藏的旅行段和旅行距离创建旅客出行特征标签。宋丹丹[3]根据调查问卷将旅客细分，构建Logit模型与系统动力学组合模型对不同收入水平高速铁路旅客群体票价接受能力进行测算。景云等[4]基于第三代前景理论与Logit模型，构建了考虑旅客出行选择行为的多列车联合动态定价模型，以更精准地反映市场实际情况。李博等[5]在综合考虑发车时段、旅行时间及舒适度差异的基础上，构建了以旅客选择效用最大化为目标的时间价值模型及其列车差别定价模型，为定价策略提供了理论依据。纪超[6]则深入探讨了单因素与多因素定价策略下的高速铁路定价模型，考虑了购票提前期、发车时刻、旅行时间及出行方式选择等多重影响因素。然而，这些研究多依赖静态数据或问卷调查，未能动态捕捉旅客实时偏好变化，且对异质性旅客群体的行为差异刻画不足。

在差异化定价方面，Bharill等[7]通过分析印度铁路的实际案例，构建了基于票价敏感性的差别定价模型，为铁路客运市场的票价制定提供了有益建议。Yuan等[8]针对中国铁路的收益管理问题，考虑了旅客的购票倾向，运用离散时间的马尔科夫链模型刻画购票过程，并采用遗传算法寻找模型的近似解，通过算例验证了模型与算法的有效性。李旭峰等[9]基于客运市场旅客群体细分与高速铁路客运产品分级体系，构建高速铁路差异化定价的多阶段双层规划模型，并运用基于灵敏度分析的启发式算法求解。蔡鉴明[10]引入收益管理理念，以多列车整体收益最大化为目标，构建了平行车次动态差别定价模型，并设计了模拟退火算法进行求解，为高速铁路定价提供了新的思路。Hu等[11]根据乘客的期望出发时间和收入水平对乘客进行分类，建立了混合整数线性规划模型，在保证铁路企业收益不低于规定值的情况下，最小化乘客的总体出行成本。Chou等[12]建立上层运营企业收益最大、下层乘客费用最小的模型，考虑了乘客行为，平衡乘客满意度和盈利能力。但未考虑多交通方式竞争下的动态博弈，也未考虑多方竞争下的博弈。

在Hotelling模型的应用方面，戴贤靓等[13]考虑了乘客偏好和社会福利因素，利用改进的Hotelling模型建立了民航与高速铁路的竞争与合作模型，为交通行业的协同发展提供了理论支撑。童乾[14]基于厂商生产同类但质量差异产品的情境，分析了网络外部性厂商参与的两阶段完全信息动态博弈问题，拓展了Hotelling模型的应用范围。李玉民等[15]综合考虑了集装箱运输成本、地理位置、运输费率及利润分配占比等因素，利用改进Hotelling模型构建了完全竞争模式(NC)和半合作模式(HC)2种竞合模式，为中欧班列运营商的竞争与合作提供了策略建议。

赵天等[16]则应用Hotelling模型构造了2个销售商销售同种易逝性可替代产品的双周期动态定价模型，为产品定价策略的制定提供了新的视角。尽管Hotelling模型为分析企业间空间竞争提供了经典框架，但其核心假设仍存在重要局限：该模型本质上是一个双寡头竞争模型，多适用于两家企业的博弈情境，而现实市场中往往存在多个竞争者。

综上所述，近年来在旅客属性研究、差别定价以及Hotelling模型应用等方面取得了显著进展，尽管Hotelling模型已被广泛应用于分析2个竞争实体之间的互动，但在涉及三方或多方互动的情境下，尤其是在高速铁路行业内的应用，现有文献中的探讨尚显不足。研究基于改进的Hotelling模型，探讨了在多竞争主体共存的市场环境中，不同收入水平的旅客根据舒适性、经济性和快速性等方面决定平行列车的选择，揭示了平行列车间复杂的竞合关系。

1　Hotelling模型构建

1.1　符号说明

Hotelling模型是由哈罗德·霍特林在1929年提出的，用于描述2个厂商在同质产品市场中的竞争行为。该模型假设消费者均匀分布在一条线性市场中，通常假设该线性市场的长度为1，2家企业通过选择自身的位置来最大化市场份额。其核心思想是消费者会根据自身偏好选择距离最小的产品，从而促使企业通过差异化策略来吸引特定细分市场。研究将同一天内起讫点(OD)相同但停站方案存在差异的列车定义为平行列车，利用改进的Hotelling模型研究高速铁路平行列车之间的竞合关系，相关符号及说明如表1所示。

表1　相关符号及说明

Tab.1　Related symbols and descriptions

符号	含义
L_i	高速铁路列车索引(表示不同的平行列车)，其中i = 1，2，3
y_i	高速铁路列车i在客运市场的位置，其中$y_1 = 0$，$y_2 = a(0 < a < 1)$
x	旅客在客运市场的位置
$\lvert x - y_i \rvert$	旅客选择高速铁路列车i出行时的心理距离
U	旅客出行获得的总效用
U_i	旅客选择高速铁路列车i的净效用
P_i	高速铁路列车i的票价，元
T_i	高速铁路列车i的运行时间，h
C_i	高速铁路列车i的舒适性
α_j	旅客j对高速铁路列车票价的敏感系数
β_j	旅客j对高速铁路列车运行时间的敏感系数
γ_j	旅客j对高速铁路列车舒适性的敏感系数
λ_j	旅客j对高速铁路列车的忠诚度系数
v	旅客的时间价值，元/h

1.2　模型构建

假设在长度为1的客运市场存在3类(按停站等级进行分类)提供运输服务的高速铁路列车L_i，3类列车在客运市场中的位置为y_i，x表示旅客在客运市场中的位置，不失一般性，假设客运市场内存在不同偏好的旅客，均匀分布在[0，1]区间内，不考虑旅客不出行的情况。在出行时，旅客面临的决策是一个受到舒适性、方便性、准时性、经济性、快速性和安全性六大核心因素综合影响的复杂过程。旅客根据综合权衡以上因素，以选择出效用最大化的出行路径，即最吸引旅客的高速铁路列车。由于不同高速铁路列车在便捷性、安全性和准时性方面的表现大体相当，本研究将主要聚焦于探讨高速铁路列车的吸引力与列车的快速性、舒适性以及经济性之间的关联，各类列车主要通过调整价格策略进行竞争，所以各类列车对旅客的净效用值如公式(1)—(3)所示。

$$U_1 = U - \alpha_j P_1 - \beta_j T_1 v - \gamma_j C_1 v - \lambda_j x \tag{1}$$

$$U_2 = U - \alpha_j P_2 - \beta_j T_2 v - \gamma_j C_2 v - \lambda_j \lvert x - a \rvert \tag{2}$$

$$U_3 = U - \alpha_j P_3 - \beta_j T_3 v - \gamma_j C_3 v - \lambda_j (1 - x) \tag{3}$$

当旅客在客运市场中的位置分别为x_m和x_n时，其选择不同高速铁路列车的净效用值相等。具体而言，当旅客在客运市场中的位置为x_m时，旅客在选择L_1列车和L_2列车时的效用感知无差异；当旅客在客运市场中的位置为x_n时，旅客在选择L_2列车和L_3列车时的效用感知无差异。旅客对不同高速铁路列车选择偏好的效用曲线如图1所示，通过求解$U_1 = U_2$，$U_2 = U_3$，可得到相应平衡点的值，如公式(4)—(5)所示。

$$x_m = \frac{\lambda_j a + (C_2 - C_1)\gamma_j v + (T_2 - T_1)\beta_j v + (P_2 - P_1)\alpha_j}{2\lambda_j} \tag{4}$$

$$x_n = \frac{\lambda_j a + \lambda_j + (C_3 - C_2)\gamma_j v + (T_3 - T_2)\beta_j v + (P_3 - P_2)\alpha_j}{2\lambda_j} \tag{5}$$

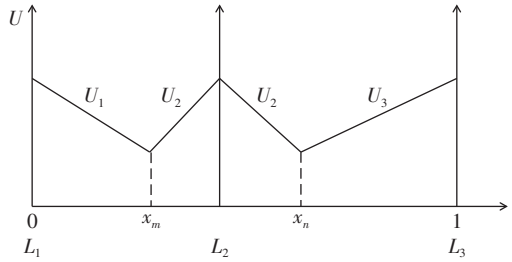


图1　旅客对不同高速铁路列车选择偏好的效用曲线

Fig.1　Utility curves of passengers' preferences for different high speed rail trains

2　模型求解及分析

旅客基于出行效用最大化原则，在列车L_1，L_2，L_3的运输服务中进行选择。如图1所示，位于区间[0，x_m]的旅客倾向于选择列车L_1的运输服务，位于区间[x_m，x_n]的旅客则偏好选择列车L_2的运输服务；而位于区间[x_n，1]的旅客将选择列车L_3的运输服务。假设旅客在[0，1]区间内均匀分布且均有出行需求，则运输市场的总需求量可表示为各高速铁路列车在其对应服务区间内的市场份额与总需求量的乘积之和。为简化分析，将市场总需求量标准化为1。因此列车L_1，L_2，L_3的市场需求量分别为其各自服务区间内的旅客比例，列车的市场需求量q_1，q_2，q_3分别如公式(6)—(8)所示。

$$q_1=\int_0^{x_m}\mathrm{d}x=\frac{-C_1\gamma_j v+C_2\gamma_j v-P_1\alpha_j+P_2\alpha_j-T_1\beta_j v+T_2\beta_j v+a\lambda_j}{2\lambda_j} \tag{6}$$

$$q_2=\int_0^{x_n}\mathrm{d}x-\int_0^{x_m}\mathrm{d}x=\frac{\lambda_j+C_1\gamma_j v-2C_2\gamma_j v+C_3\gamma_j v+P_1\alpha_j-2P_2\alpha_j+P_3\alpha_j+T_1\beta_j v-2T_2\beta_j v+T_3\beta_j v}{2\lambda_j} \tag{7}$$

$$q_3=1-\int_0^{x_n}\mathrm{d}x=\frac{\lambda_j-a\lambda_j+C_2\gamma_j v-C_3\gamma_j v+P_2\alpha_j-P_3\alpha_j+T_2\beta_j v-T_3\beta_j v}{2\lambda_j} \tag{8}$$

各类列车的运营目标均聚焦于实现收入的最大化。在研究探讨相关模型的过程中，暂时不考虑成本因素的影响。各类列车的具体收入情况如公式(9)—(11)所示。

$$\Pi_1=P_1q_1 \tag{9}$$

$$\Pi_2=P_2q_2 \tag{10}$$

$$\Pi_3=P_3q_3 \tag{11}$$

根据可微函数的极值存在定理，分别计算收益函数关于价格的一、二阶导数如公式(12)—(17)所示。

$$\frac{\partial\Pi_1}{\partial P_1}=\frac{-C_1\gamma_j v+C_2\gamma_j v-2P_1\alpha_j+P_2\alpha_j-T_1\beta_j v+T_2\beta_j v+a\lambda_j}{2\lambda_j} \tag{12}$$

$$\frac{\partial\Pi_2}{\partial P_2}=\frac{\lambda_j+C_1\gamma_j v-2C_2\gamma_j v+C_3\gamma_j v+P_1\alpha_j-4P_2\alpha_j+P_3\alpha_j+T_1\beta_j v-2T_2\beta_j v+T_3\beta_j v}{2\lambda_j} \tag{13}$$

$$\frac{\partial\Pi_3}{\partial P_3}=\frac{\lambda_j-a\lambda_j+C_2\gamma_j v-C_3\gamma_j v+P_2\alpha_j-2P_3\alpha_j+T_2\beta_j v-T_3\beta_j v}{2\lambda_j} \tag{14}$$

$$\frac{\partial^2\Pi_1}{\partial P_1^{\,2}}=-\frac{\alpha_j}{\lambda_j} \tag{15}$$

$$\frac{\partial^2\Pi_2}{\partial P_2^{\,2}}=-\frac{2\alpha_j}{\lambda_j} \tag{16}$$

$$\frac{\partial^2\Pi_3}{\partial P_3^{\,2}}=-\frac{\alpha_j}{\lambda_j} \tag{17}$$

由于$\alpha_j>0$，$\lambda_j>0$，所以收益函数的二阶导数小于零，表明该函数在价格变量上呈现凸性。因此，当一阶导数等于零时，收益达到最大值，各列车的均衡价格P_i^*如公式(18)—(20)所示。

$$P_1^*=\frac{-5C_1\gamma_j v+4C_2\gamma_j v+C_3\gamma_j v-5T_1\beta_j v+4T_2\beta_j v+T_3\beta_j v+6a\lambda_j+3\lambda_j}{12\alpha_j} \tag{18}$$

$$P_2^*=\frac{C_1\gamma_j v-2C_2\gamma_j v+C_3\gamma_j v+T_1\beta_j v-2T_2\beta_j v+T_3\beta_j v+3\lambda_j}{6\alpha_j} \tag{19}$$

$$P_3^*=\frac{C_1\gamma_j v+4C_2\gamma_j v-5C_3\gamma_j v+T_1\beta_j v+4T_2\beta_j v-5T_3\beta_j v-6a\lambda_j+9\lambda_j}{12\alpha_j} \tag{20}$$

命题2-1：通过增强旅客乘车的舒适性或提升列车的运行速度，高速铁路企业可以相应地提高列车的票价。

证明：根据公式(21)，因为$\alpha_j>0$，$\beta_j>0$，$\lambda_j>0$，$v>0$，所以票价对舒适性和列车运行时间的一阶导数均小于零，通过深入分析一阶导数，可以得到以下结论：舒适性是通过疲劳恢复时间这一指标来衡量的，疲劳恢复时间越长，意味着旅客感受到的舒适性越低；相反，列车运行速度的提升则直接导致旅客乘坐时间的缩短。因此，高速铁路企业可以依据这2个因素来灵活调整票价策略。缩短旅客的疲劳恢复时间(即提高舒适度)或减少旅行时间(即提升速度)，都能够为高速铁路企业提供合理的依据，

以适当上调票价，从而实现收入优化。

$$\begin{cases}\dfrac{\partial P_1}{\partial C_1}=-\dfrac{5\gamma_j v}{12\alpha_j}<0,\quad \dfrac{\partial P_1}{\partial T_1}=-\dfrac{5\beta_j v}{12\alpha_j}<0\\ \dfrac{\partial P_2}{\partial C_2}=-\dfrac{\gamma_j v}{3\alpha_j}<0,\quad \dfrac{\partial P_2}{\partial T_2}=-\dfrac{\beta_j v}{3\alpha_j}<0\\ \dfrac{\partial P_3}{\partial C_3}=-\dfrac{5\gamma_j v}{12\alpha_j}<0,\quad \dfrac{\partial P_3}{\partial T_3}=-\dfrac{5\beta_j v}{12\alpha_j}<0\end{cases}\tag{21}$$

命题2-2：同一类高速铁路列车根据不同收入水平的旅客对乘车舒适性、快速性的敏感度差异，票价调整策略应体现差异化的灵活性。

证明：以列车L_1为例证明，对于列车L_1来说，速度是相同的(即$V_1=V_2$)，不同旅客对于经济性、舒适性和快速性的敏感程度不同，假设$\beta_1<\beta_2$, $\gamma_1<\gamma_2$, $\alpha_1=\alpha_2$，则$\left|-\dfrac{5\gamma_1 v}{12\alpha_1}\right|<\left|-\dfrac{5\gamma_2 v}{12\alpha_2}\right|$, $\left|-\dfrac{5\beta_1 v}{12\alpha_1}\right|<\left|-\dfrac{5\beta_2 v}{12\alpha_2}\right|$，一阶导数的绝对值越大，表明原函数的变化率越显著。当旅客对舒适性和快速性的敏感度存在差异时，对舒适性或快速性敏感度较高的旅客更愿意为改善的乘车舒适性或更短的旅行时间支付更高的溢价，因此能够接受更大的票价变动。而对于这些因素敏感度较低的旅客所能够容忍的票价波动幅度则相对较小。

命题2-3：均衡状态下3类高速铁路列车的客运收益都随价格敏感系数增大(减小)而降低(提高)。

证明：根据公式(22)，客运收益函数对价格敏感系数的一阶导数均小于零，当旅客对价格变得更加敏感时，即使小幅的价格变动也会显著影响其出行选择，从而导致客运收益下降。相反，当旅客的价格敏感度较低时，旅客对价格变化的反应较为迟钝，因此票价上调对需求的影响较小，从而对客运收益的影响也相对较小，可能在一定程度上提升收益水平。

$$\begin{cases}\dfrac{\partial \Pi_1}{\partial \alpha}=-\dfrac{(-5C_1\gamma_j v+4C_2\gamma_j v+C_3\gamma_j v-5T_1\beta_j v+4T_2\beta_j v+T_3\beta_j v+6a\lambda_j+3\lambda_j)^2}{288\alpha_j{}^2\lambda_j}<0\\ \dfrac{\partial \Pi_2}{\partial \alpha}=-\dfrac{(C_1\gamma_j v-2C_2\gamma_j v+C_3\gamma_j v+T_1\beta_j v-2T_2\beta_j v+T_3\beta_j v+3\lambda_j)^2}{36\alpha_j{}^2\lambda_j}<0\\ \dfrac{\partial \Pi_3}{\partial \alpha}=-\dfrac{(C_1\gamma_j v+4C_2\gamma_j v-5C_3\gamma_j v+T_1\beta_j v+4T_2\beta_j v-5T_3\beta_j v-6a\lambda_j+9\lambda_j)^2}{288\alpha_j{}^2\lambda_j}<0\end{cases}\tag{22}$$

命题2-4：均衡状态下3类高速铁路列车的客流量都随票价、运行时长的增大(减小)而降低(提高)，其中中站车的客流量更易受票价和运行时长影响而波动。

证明：根据公式(23)，客流量关于票价和运行时长的一阶导数均小于零，说明当票价提高或运行时间延长时，旅客的选择倾向会受到负面影响，导致客流量下降。相反，降低票价或缩短运行时间则能够吸引更多旅客，从而提升客流量。因为$\left|\dfrac{\partial q_1}{\partial C_1}\right|=\left|\dfrac{\partial q_3}{\partial C_3}\right|<\left|\dfrac{\partial q_2}{\partial C_2}\right|$, $\left|\dfrac{\partial q_1}{\partial T_1}\right|=\left|\dfrac{\partial q_3}{\partial T_3}\right|<\left|\dfrac{\partial q_2}{\partial T_2}\right|$, $\left|\dfrac{\partial q_1}{\partial P_1}\right|=\left|\dfrac{\partial q_3}{\partial P_3}\right|<\left|\dfrac{\partial q_2}{\partial P_2}\right|$，一阶导数的绝对值越大，表明原函数的变化率越显著，中站车客流量关于票价和运行时长的一阶导数的绝对值均大于大站车和小站车，说明相比于大站车和小站车，中站车的客流量更容易受到票价调整或运行时间变化的影响。

$$\begin{cases}\dfrac{\partial q_1}{\partial C_1}=-\dfrac{5\gamma_j v}{24\lambda_j}<0,\quad \dfrac{\partial q_1}{\partial T_1}=-\dfrac{5\beta_j v}{24\lambda_j}<0,\quad \dfrac{\partial q_1}{\partial P_1}=-\dfrac{\alpha_j}{2\lambda_j}<0\\ \dfrac{\partial q_2}{\partial C_2}=-\dfrac{\gamma_j v}{3\lambda_j}<0,\quad \dfrac{\partial q_2}{\partial T_2}=-\dfrac{\beta_j v}{3\lambda_j}<0,\quad \dfrac{\partial q_2}{\partial P_2}=-\dfrac{\alpha_j}{\lambda_j}<0\\ \dfrac{\partial q_3}{\partial C_3}=-\dfrac{5\gamma_j v}{24\lambda_j}<0,\quad \dfrac{\partial q_3}{\partial T_3}=-\dfrac{5\beta_j v}{24\lambda_j}<0,\quad \dfrac{\partial q_3}{\partial T_3}=-\dfrac{\alpha_j}{2\lambda_j}<0\end{cases}\tag{23}$$

3　案例分析

以A地到B地的线路为例，该OD线路上开行多趟平行列车，假设总客流量为3 000人且各类列车无超员情况。根据停靠站点的等级差异，平行列车可划分为大站车、中站车和小站车3类。其中，大站车仅停靠大站节点；中站车在覆盖大站节点的同时，进一步扩展服务范围至中站节点；小站车则提供最为全面的服务，覆盖大站节点、中站节点及小站节点。列车停站方案示意图如图2所示，只展

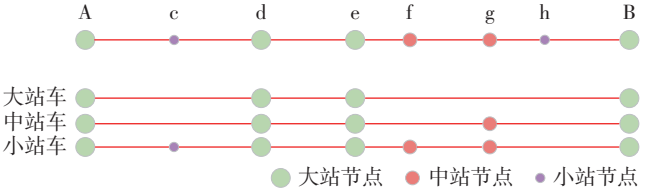


图2　列车停站方案示意图

Fig.2　Schematic diagram of train stop plan

示了3类列车的一种典型停站方案示意图，用以直观呈现其停站策略的差异性。

研究采用旅客疲劳恢复时间表示舒适性，如公式(24)所示。

$$T_i^c = \frac{T_{\max}}{1 + b\exp(-ct_i)}v \tag{24}$$

式中：T_i^c为旅客乘坐高速铁路列车L_i的疲劳恢复时间的价值；$T_{\max}$为恢复疲劳的极限时间，取值15 h；b，c为决定运输方式曲线关系的待定参数，研究取$b = 59$、$c = 0.28$[11]；t_i为高速铁路列车L_i的运行时间，与运行速度成反比，与运行距离成正比；v为旅客在旅途中耗用的时间存在机会成本所产生的价值，$v = \frac{income}{workday \times 8}$，其中$income$表示所在城市的平均收入，$workday$表示一年365天中工作天数，研究中$v = 39.44$。

研究只考虑列车的运行时间，不考虑程前程后时间，因此研究中列车的运行时间价值如公式(25)所示。

$$T_i^q = t_i v \tag{25}$$

研究选取3类列车的平均参数作为分析对象，列车属性如表2所示，列车名和实际列车车次无关系。

表2　列车属性

Tab.2　Train characteristics

列车	G1	G2	G3
运行时长/h	4.48	5.58	6.33
票价/元	667	598	576

研究假设不同收入人群对列车的忠诚度系数$\lambda = 65$，根据文献[17]旅客属性如表3所示。

根据Hotelling模型，可以探究3类列车各自的

表3　旅客属性

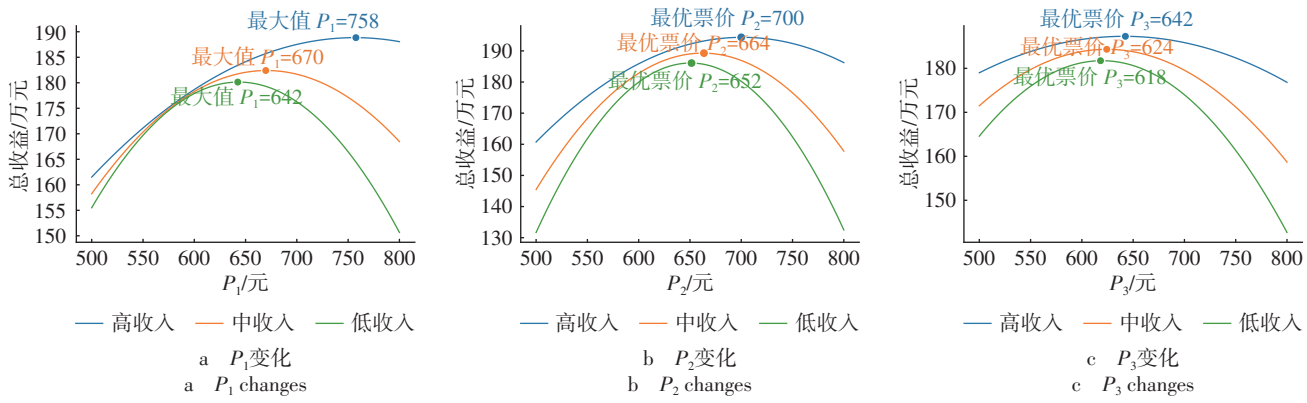
Tab.3　Passenger characteristics

收入群体	低收入	中等收入	高收入
舒适性	0.17	0.22	0.30
经济性	0.52	0.36	0.18
快速性	0.31	0.42	0.52

收益以及总收益如何随票价波动而变化，在不同的票价水平下，高、中、低收入群体对于大站车、中站车和小站车的选择偏好如何转变。由于多类高速铁路列车之间的票价变化关系比较复杂可能会存在价格合谋行为，因此研究只探究一类高速铁路列车的价格调整对各收入水平旅客选择行为的影响，以及对总收益的影响，不同收入水平下票价变化对总收益的影响如图3所示，不同收入水平下票价变化对单类列车收益的影响如图4所示。

（1）图3呈现了不同类型列车针对不同收入群体的票价变动对其收益的影响。在列车票价调整的背景下，不同收入水平的旅客群体对列车服务的偏好及其对总收益的贡献呈现出显著的分化趋势。以大站停列车为例，高收入群体对其总收益的贡献随着票价的增长而呈现出平稳上升的态势，这表明他们对票价变动具有较低的敏感度。中等和低收入群体对总收益的贡献曲线在票价分别达到670元、642元后迅速下降，这反映出当票价超过其支付意愿的阈值时，这些群体对列车服务的需求将显著降低。

（2）在列车服务的选择上，不同收入水平的旅客群体表现出不同的支付意愿和偏好。以高收入群体为例，当大站停、中站停和小站停列车的票价分别设定为758元、700元和642元时实现总收益的最

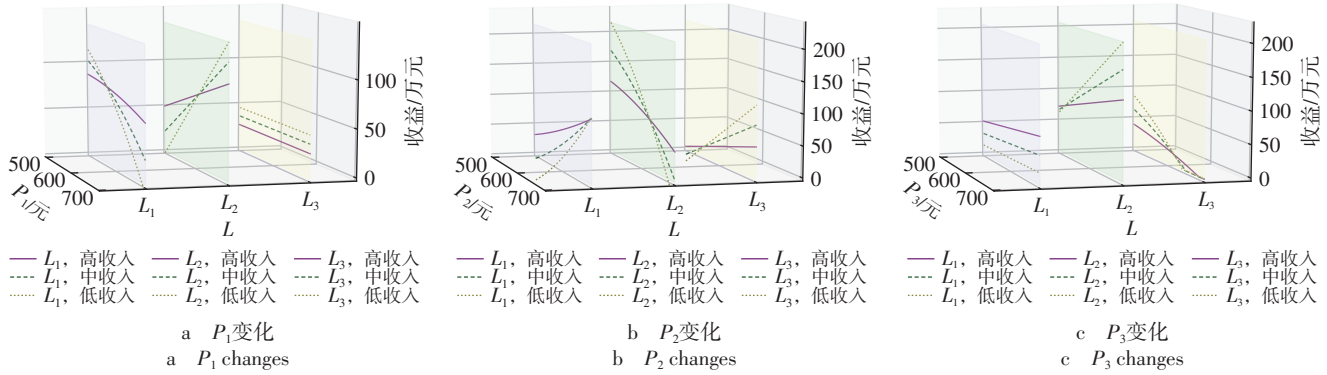


a　P_1变化　b　P_2变化　c　P_3变化

a　P_1 changes　b　P_2 changes　c　P_3 changes

图3　不同收入水平下票价变化对总收益的影响

Fig.3　Influence of fare changes on total revenue at different income levels



a　P_1变化
a　P_1 changes

b　P_2变化
b　P_2 changes

c　P_3变化
c　P_3 changes

图4　不同收入水平下票价变化对单类列车收益的影响

Fig.4　Influence of fare changes on revenue of single-class trains at different income levels

大化。由此说明高收入群体倾向于为高速度、高舒适度的列车服务支付额外费用；中等收入群体则更偏好于那些速度较快且舒适度较高的列车服务，在追求效率的同时，也考虑到了成本效益；低收入群体对票价的敏感度最高，愿意为列车服务支付的额外费用相对较低，这可能限制了他们在列车类型选择上的灵活性。

（3）图4展示了不同类型列车票价变动对平行列车收益的影响。3种列车间的交叉价格弹性存在显著差异：占据市场优势的大站车与中站车表现出正向交叉价格弹性(其票价上调易引发部分客流向中站车转移)，但其与小站车间的交叉价格弹性接近于零(客流转移基本不会发生)；处于市场中间位置的中站车则与大站车和小站车均存在显著的正向交叉价格弹性(其票价变动易引发客流向两端转移)；而处于市场劣势的小站车仅与中站车存在显著的正向交叉价格弹性(其票价变动主要导致客流向中站车转移)，与大站车间的交叉价格弹性同样极低。所以，基于不同类型列车的市场定位差异，可针对不同等级列车实施差异化票价策略：对于速度快、便捷性高的大站车，在持续提升服务质量的前提下可适度提高票价以体现其优质优价；对于速度慢、便捷性低的小站车，建议采取降价策略以增强市场竞争力；而对于速度较慢但便捷性高的中站车，则需结合实时客流数据实施动态票价调整机制，以实现运力资源的最优配置。

（4）在高速铁路平行列车的竞合关系中，尽管票价上涨可能会导致单类列车的客流量减少从而使其自身收益降低，但从整体上看，平行列车的总收益可能升高。平行列车间存在着复杂的竞合关系，单类高速铁路列车的价格策略不仅影响自身的经济表现，还可能通过连锁反应影响总体收益结构。

4　结论

研究分析旅客选择行为差异，分析不同收入水平旅客选择偏好程度，旅客在选择高速铁路服务时不仅考虑票价因素，还受到旅行时间、舒适性等多方面的影响。高收入人群对价格的上涨具有较高的忍受度，而低收入旅客则更倾向于经济实惠的服务。尽管单类列车票价的变化可能会导致其自身收益减少，但从整体来看，合理的票价调整策略能够提升总收益。基于不同类型列车的优势，如大站停的速度优势和站站停列车的价格优势，设置不同的票价浮动方案，为铁路运营部门实施差别化票价策略提供了坚实的理论支持。

参考文献：

[1] 刘彦麟，周姗琪，颜　颖，等. 基于用户画像的铁路客运票价浮动平衡点研究[J]. 铁道运输与经济，2025，47(1)：210-214，224.
LIU Yanlin，ZHOU Shanqi，YAN Ying，et al. Research on Floating Balance Point of Railway Passenger Ticket Prices Based on User Portraits[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(1)：210-214，224.

[2] HAO X P，ZHU J S，SHAN X H，et al. Research on Marketing Strategy of Railway Passenger Travel Behaviour Analysis in Competitive Section[J]. Scientific Programming，2022，2022：1691400.

[3] 宋丹丹. 基于旅客接受能力细分的我国高速铁路定价方法研究[J]. 铁道运输与经济，2018，40(11)：70-76.
SONG Dandan. A Methodology Research on Price Setting of

China High Speed Railway Based on the Passenger Affordability Segmentation[J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(11): 70-76.

[4] 景　云，刘应科，郭思冶. 基于乘客选择行为的高速铁路动态联合定价策略研究[J]. 铁道学报，2019，41(9)：28-33.
JING Yun, LIU Yingke, GUO Siye. Research on Dynamic Joint Pricing Strategy for High Speed Railway Based on Passenger Selection Behavior[J]. Journal of the China Railway Society, 2019, 41(9): 28-33.

[5] 李　博，赵　鹏，宋文波. 基于旅客时间价值的高速铁路差别定价[J]. 北京交通大学学报，2018，42(4)：98-103.
LI Bo, ZHAO Peng, SONG Wenbo. Differential Pricing for High Speed Railway Based on the Time Value of Passengers[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2018, 42(4): 98-103.

[6] 纪　超. 基于旅客出行需求的高铁市场化定价研究[D]. 北京：北京交通大学，2023.

[7] BHARILL R, RANGARAJ N. Revenue Management in Railway Operations: A Study of the Rajdhani Express, Indian Railways[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2008, 42(9): 1195-1207.

[8] YUAN W Y, NIE L. Optimization of Seat Allocation with Fixed Prices: An Application of Railway Revenue Management in China[J]. PLoS One, 2020, 15(4): e0231706.

[9] 李旭峰，杨向飞，王英娇. 基于客运市场旅客细分的高速铁路差异化定价研究[J]. 铁道运输与经济，2020，42(8)：7-13.
LI Xufeng, YANG Xiangfei, WANG Yingjiao. A Study on Differential Pricing of High Speed Railway Based on Passenger Segmentation in Passenger Market[J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(8): 7-13.

[10] 蔡鉴明，欧阳姗. 考虑收益管理的高铁平行车次动态差别定价[J]. 交通运输系统工程与信息，2020，20(5)：1-8.
CAI Jianming, OUYANG Shan. Dynamic Differential Pricing of High Speed Railway Parallel Trains Considering Revenue Management[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2020, 20(5): 1-8.

[11] HU Z Q, WEI Y G, XU Y, et al. Optimization of Ticket Pricing for High Speed Railway Considering Full Competitive Environment[J]. Measurement and Control, 2024, 57(9): 1358-1369.

[12] CHOU J S, ONGKOWIJOYO C S, NGO N T, et al. Evolutionary Bi-Level Model for Optimizing Ticket Fares and Operations Profit of Taiwan High Speed Rail[J]. Research in Transportation Business & Management, 2020, 37: 100548.

[13] 戴贤靓，赵礼强. 基于改进Hotelling模型的民航与高铁竞合分析研究[J]. 综合运输，2024，46(8)：3-8，50.
DAI Xianliang, ZHAO Liqiang. Research on Hoteling Model of Competition and Cooperation between Civil Aviation and High Speed Rail[J]. China Transportation Review, 2024, 46(8): 3-8, 50.

[14] 童　乾. 网络效应下具有产品质量差异的Hotelling模型分析[J]. 数学的实践与认识，2023，53(10)：13-20.
TONG Qian. Hotelling Model Analysis Based on Different Product Quality with the Network Externality[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2023, 53(10): 13-20.

[15] 李玉民，潘晓景，王　博，等. 基于改进Hotelling模型的中欧班列运营商竞合关系研究[J]. 铁道科学与工程学报，2021，18(4)：1035-1042.
LI Yumin, PAN Xiaojing, WANG Bo, et al. Research on the Co-Opetition of the China-Europe Railway Express Operator Based on the Extended Hotelling Model[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2021, 18(4): 1035-1042.

[16] 赵　天，胡　敏，胡玉生. 基于Hotelling模型的可替代产品动态定价研究[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版)，2020，35(4)：38-45.
ZHAO Tian, HU Min, HU Yusheng. Study on Dynamic Pricing of Substitute Products Based on the Hotelling Model[J]. Journal of Beijing Information Science & Technology University, 2020, 35(4): 38-45.

[17] 巩　亮，李引珍. 兰州至张掖运输通道客流分担率及变化趋势研究[J]. 铁道运输与经济，2019，41(1)：64-69.
GONG Liang, LI Yinzhen. A Research on the Passenger Flow Sharing Rate and Changing Trend of Lanzhou-Zhangye Transport Corridor[J]. Railway Transport and Economy, 2019, 41(1): 64-69.

(责任编辑　吴文娟)