

# 基于AI的轨道交通乘客出行心理与行为分析

王 漾 裴一川

郑州交通发展投资集团有限公司 河南 郑州 450000

**摘要：**随着城市化进程的加速和轨道交通网络的不断扩展，如何提升乘客出行体验、优化运营效率、保障系统安全已成为城市交通管理的重要课题。传统的乘客行为研究方法多依赖于问卷调查、人工观察和静态数据分析，难以应对大规模、高动态、多维度的出行数据挑战。人工智能（AI）技术，特别是机器学习、深度学习、自然语言处理和计算机视觉等领域的突破，为深入理解乘客出行心理与行为提供了全新的技术路径。本文系统梳理了轨道交通乘客出行心理与行为的核心维度，包括出行决策、路径选择、候车焦虑、拥挤感知、信息需求与应急反应等；在此基础上，构建了基于AI的乘客行为分析框架，详细阐述了多源异构数据融合、行为建模、心理状态识别与预测等关键技术；并通过典型案例分析，展示了AI在客流预测、个性化服务推荐、异常行为检测与应急管理中的应用成效。最后，本文探讨了数据隐私、算法公平性、模型可解释性等伦理与技术挑战，并对未来研究方向进行了展望。研究表明，AI驱动的乘客行为分析不仅能够提升轨道交通系统的智能化水平，也为构建“以人为本”的智慧出行生态提供了理论支撑与实践路径。

**关键词：**人工智能；轨道交通；出行心理；行为分析；机器学习；智慧交通

## 引言

乘客不仅是轨道交通系统的使用者，更是其运行状态的直接反馈者。其出行心理（如焦虑、满意度、安全感）与行为（如进站时间、换乘路径、候车位置）深刻影响着系统运行效率与服务质量。例如，高峰时段的过度拥挤不仅降低乘客舒适度，还可能诱发安全隐患；信息不透明会加剧乘客的不确定性焦虑，导致非理性行为；突发事件下的恐慌情绪则可能引发踩踏等次生灾害。传统研究方法如问卷调查虽能获取主观心理数据，但样本量有限、时效性差；视频监控虽能记录行为轨迹，但依赖人工判读，难以规模化分析<sup>[1]</sup>。近年来，随着自动售检票系统（AFC）、视频监控系统（CCTV）、移动通信、社交媒体等数据源的普及，轨道交通系统积累了海量、多模态的乘客行为数据。与此同时，人工智能技术的迅猛发展为从这些数据中挖掘乘客心理与行为规律提供了强大工具。

## 1 轨道交通乘客出行心理与行为的核心维度

理解乘客行为的前提是厘清其背后的心理动因。在轨道交通场景下，乘客的心理与行为可归纳为以下几个核心维度：

### 1.1 出行决策与路径选择

乘客的出行决策受多重因素影响，包括出行目的（通勤、购物、休闲）、时间成本、经济成本、舒适度预期、天气状况、实时交通信息等。路径选择行为则体现为对换乘次数、步行距离、候车时间、车厢拥挤度等

的权衡。研究表明，乘客在路径选择中普遍存在“惯性偏好”与“风险规避”心理，即使存在更优路径，也可能因熟悉感或对未知路径的不确定性而维持原有选择。

### 1.2 候车焦虑与时间感知

候车是轨道交通出行中最易引发负面情绪的环节。当列车延误、信息缺失或候车时间超出预期时，乘客会产生焦虑、烦躁甚至愤怒情绪。心理学研究表明，不确定性是焦虑的主要来源，而信息透明度能显著缓解此类情绪。此外，乘客对等待时间的主观感知往往长于实际时间，尤其在无事可做或环境压抑的情况下。

### 1.3 拥挤感知与空间行为

车厢与站台的拥挤度直接影响乘客的舒适感与安全感。高密度环境下，乘客会通过调整身体姿态、选择站立位置（如靠近车门、扶手）等方式维持个人空间。长期处于拥挤环境可能导致压力累积，甚至引发冲突。值得注意的是，拥挤感知具有主观性，受文化背景、个人习惯、出行目的等因素调节。

### 1.4 信息需求与交互行为

乘客在出行过程中持续寻求信息以降低不确定性，包括列车到站时间、线路状态、换乘指引、突发事件通知等。信息获取渠道包括电子显示屏、广播、手机APP、工作人员等。信息的及时性、准确性与呈现方式（如文字、语音、图形）显著影响乘客的信任度与满意度。此外，乘客与服务设施（如自助售票机、闸机）的交互行为也反映了其操作习惯与认知负荷。

### 1.5 应急状态下的心理与行为

在火灾、设备故障、恐怖袭击等突发事件下，乘客的心理状态迅速从常态转为应激状态，表现为恐慌、从众、判断力下降等<sup>[2]</sup>。此时，行为模式可能发生突变，如盲目奔跑、堵塞通道、忽视疏散指示等。理解应急心理机制对制定有效的疏散策略与应急预案至关重要。

## 2 基于 AI 的乘客行为分析框架

为系统化分析上述维度，本文提出一个“数据-模型-应用”三层架构的AI分析框架。

### 2.1 多源异构数据融合层

该层负责采集与整合来自不同系统的乘客相关数据：（1）AFC数据：记录乘客的进/出站时间、站点、票价等，可重构完整出行链。（2）CCTV视频数据：通过计算机视觉技术提取乘客数量、密度、移动轨迹、姿态、表情等。（3）Wi-Fi/蓝牙探针数据：捕捉乘客在站内的停留时间、移动路径、聚集区域。（4）社交媒体与客服文本：通过自然语言处理（NLP）挖掘乘客对服务的评价、投诉、情绪表达。（5）环境传感器数据：包括温湿度、噪音、空气质量等，用于分析环境对心理的影响。数据融合的关键在于时空对齐与语义关联。例如，将AFC记录的进站时间与CCTV视频中的个体轨迹进行匹配，可构建“身份-行为”映射。

### 2.2 AI行为建模与心理识别层

该层是核心，利用AI算法对融合数据进行建模与分析：

#### 2.2.1 行为模式挖掘

行为模式的挖掘首先依赖于无监督或半监督学习方法。通过聚类算法，可从历史AFC数据中识别出具有相似出行规律的乘客群体，如“早高峰通勤族”、“周末休闲游客”或“夜间工作者”，这些群体画像为精准服务提供了靶向依据。进一步地，利用长短期记忆网络（LSTM）或Transformer等序列模型，能够基于乘客的历史出行序列，预测其下一次的目的地或换乘选择，从而实现前瞻性服务干预<sup>[3]</sup>。对于网络层面的宏观行为，图神经网络（GNN）将轨道交通系统建模为由站点（节点）与线路（边）构成的复杂网络，能够有效捕捉客流在空间上的传播与集聚效应，为线网级调度优化提供支持。

#### 2.2.2 心理状态识别

心理状态的识别则更具挑战性，需依赖多模态感知技术。在视觉层面，基于卷积神经网络（如ResNet）的面部表情识别模型可从监控视频中提取乘客的情绪线索，尽管在真实场景中受限于光照、遮挡与隐私伦理，但其在特定区域（如客服中心、安检口）的应用仍具价

值。在文本层面，利用BERT等预训练语言模型对社交媒体评论或客服对话进行情感分析，能够大规模捕捉乘客对服务的整体情绪倾向与具体痛点。更为前沿的方向是构建行为-心理的映射模型：通过分析乘客的微观行为特征（如在信息屏前的徘徊时长、肢体动作的频率与幅度、在闸机前的犹豫次数），结合环境上下文，推断其潜在的心理状态（如困惑、焦虑或不满）。这类模型通常采用多模态融合架构，将视觉、无线信号、文本等异构特征在统一框架下进行联合学习，以提升心理识别的鲁棒性与准确性。

### 2.2.3 行为预测与仿真

在此基础上，行为预测与仿真构成了从理解到干预的关键跃迁。短时客流预测模型（如时空图卷积网络ST-GCN）能够以前序时段的客流分布、天气、日历特征等为输入，精准预测未来15至60分钟内各站点的进出站量，为运力动态调配提供决策依据。而在微观层面，结合强化学习与社会力模型的多智能体仿真系统，可以模拟个体乘客在复杂动态环境（如大型换乘枢纽或突发事件现场）中的决策与移动过程，用于评估不同管理策略（如引导标识布局、广播内容设计）的实际效果，从而实现“数字沙盘”式的预演优化。

## 2.3 智能应用服务层

AI分析的最终价值在于赋能实际运营与服务。在常态运营中，基于精准客流预测的动态调控系统可自动调整列车发车间隔、开启备用闸机或引导乘客分流，有效缓解局部拥堵。面向乘客个体，智能出行助手可根据其实时位置、历史偏好与当前网络状态，通过手机APP推送个性化的出行建议，例如“下一班列车3号车厢较空”或“建议在XX站换乘以节省5分钟”。在安全监控领域，AI驱动的视频分析系统能够7×24小时自动检测异常行为，如长时间滞留、突然跌倒、人员聚集冲突等，并即时向控制中心告警，将事后处置转变为事前预防。而在应急场景下，系统可基于实时烟雾传感器数据与人群密度分布，利用前述的多智能体模型动态计算并广播最优疏散路径，通过站内LED指示灯与广播系统协同引导，最大限度保障乘客安全<sup>[4]</sup>。这些应用共同构成了一个闭环的“感知-分析-决策-执行”智能服务体系，标志着轨道交通运营从经验驱动向数据与AI驱动的深刻转型。

## 3 典型应用案例分析

### 3.1 基于深度学习的城市轨道交通短时客流预测

以上海地铁为例，研究团队构建了一个融合AFC数据、历史客流、天气、节假日信息的ST-GCN模型。模型将地铁网络视为图，节点特征包括历史进出站量，边权

重为OD（起讫点）流量。实验表明，该模型在15分钟、30分钟、60分钟预测窗口下的MAPE（平均绝对百分比误差）分别为8.2%、10.5%和12.7%，显著优于传统ARIMA和SVR模型。预测结果被用于动态调整列车运行图，有效缓解了早高峰部分区段的拥挤状况。

### 3.2 基于多模态融合的乘客焦虑状态识别

在北京某换乘枢纽站，研究人员部署了视频与Wi-Fi探针系统。通过YOLOv5检测乘客位置与姿态，结合ResNet-50进行表情分类；同时利用Wi-Fi信号强度变化分析移动速度与停留模式。构建了一个多输入神经网络，将视觉特征与无线信号特征融合，用于识别候车焦虑状态。在测试集上，焦虑识别准确率达85.3%，F1-score为0.82。该系统可触发智能广播或信息屏推送安抚信息，降低乘客负面情绪。

## 4 挑战与伦理考量

尽管AI在乘客行为分析中展现出巨大潜力，但仍面临诸多挑战：

### 4.1 数据隐私与安全

乘客行为数据高度敏感，涉及位置、身份、生物特征等。需严格遵守《个人信息保护法》等法规，采用数据脱敏、联邦学习、差分隐私等技术保护隐私。

### 4.2 算法公平性与偏见

训练数据若存在偏差（如仅覆盖特定人群），可能导致模型对老年人、残障人士等群体的服务缺失。需在数据采集与模型设计阶段引入公平性约束。

### 4.3 模型可解释性

深度学习模型常被视为“黑箱”，难以解释其决策逻辑。在安全关键场景（如异常检测），需结合注意力机制、LIME、SHAP等方法提升可解释性，增强运营人员信任。

### 4.4 多模态数据对齐与噪声处理

不同数据源存在时空分辨率不一致、缺失、噪声等问题。需发展鲁棒的多模态融合算法，如基于自监督学

习的跨模态对齐技术。

## 5 结语

本文系统探讨了基于AI的轨道交通乘客出行心理与行为分析方法。研究表明，AI技术能够有效整合多源数据，深度挖掘乘客行为模式与心理状态，为客流预测、服务优化、安全管理等提供智能支持。未来研究可从以下方向深化：（1）构建乘客数字孪生体：为每位乘客建立虚拟镜像，实时模拟其行为与心理状态，实现超个性化服务。（2）跨交通方式行为建模：将轨道交通与公交、共享单车、网约车等数据融合，研究多模式联运下的出行决策机制。（3）心理-生理耦合分析：引入可穿戴设备数据（如心率、皮电反应），建立更精准的心理状态识别模型。（4）人机协同决策机制：探索AI与运营人员的协同模式，在保障效率的同时保留人类判断的灵活性与同理心。最终，AI不应仅作为效率工具，更应成为连接技术与人文的桥梁，推动轨道交通从“运载工具”向“出行体验平台”转型，真正实现“人民满意、保障有力、世界前列”的交通强国目标。

## 参考文献

- [1]张琦.轨道交通车站群体乘客出行特征画像构建与可视化分析[J/OL].隧道与轨道交通,2025,(02):28-32+73 [2025-10-21].
- [2]周琪,龚璐,马明辰,等.基于职住地关系的城市轨道交通乘客出行特征挖掘和乘客分类[J].城市轨道交通研究,2024,27(08):108-112.
- [3]朱友蓉,李得伟,邓亚娟.基于Kmeans-MGWR++整合模型的建成环境对轨道交通乘客出行行为的影响研究[C]//中国公路学会,中国航海学会,中国铁道学会,中国航空学会,中国汽车工程学会.2024世界交通运输大会(WTC2024)论文集(运输规划与航空运输).北京交通大学交通运输学院;长安大学运输工程学院,2024:171-178.
- [4]倪汪凌,褚文斌.基于K-means++的轨道交通异常出行乘客分类研究[J].物流工程与管理,2023,45(05):96-99.