

项目合同编号：25-75X

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法
研究

承担单位：西北大学

项目负责人：颜建强

通讯邮编、地址：710127 西安市长安区学府大街 1 号

传真、电话：18591980900

起止年限：2026 年 3 月 至 2028 年 3 月

陕西省交通运输厅制

填写说明：

1. 此文本要求采用计算机打印，字迹清晰，字间距采用标准距离；
2. 合同甲方为陕西省交通运输厅；
3. 按照合同书正文、附件（修改后的科研项目研究大纲、专家评审意见、专家名单及意见处理表等）顺序双面打印胶装，封面、封底采用白色布纹纸张。

一、项目主要研究内容

1. 主要研究内容

(1) 基于 Transformer 的客流预测方法研究

客流突变性是西安高铁北站运营管理的核心挑战之一，受节假日、重要文旅活动、突发事件、特殊天气等多重因素叠加影响，北站客流易在短时间内出现爆发式增长。当前传统的客流预判方式多依赖历史经验，存在准确性不足、时效性滞后等问题，直接导致运力调度决策被动、应急处置不及时，难以适配枢纽高效运营需求。本项目针对西安高铁北站客流预测问题，融合计算机视觉与深度学习技术，通过 YOLO 与 DeepSORT 技术实现站内客流实时检测与跟踪，结合 Transformer 模型完成高精度客流预测，旨在提升客流预测的准确性与时效性，为后续交通调度提供可靠的数据支撑。

(2) 基于图神经网络的车流预测研究

西安高铁北站周边交通网络结构复杂，接驳运力涵盖私家车、出租车、公交车、地铁等多种方式，不同交通方式的运力特性、调度规则差异显著，导致周边公共交通供给量难以精准测算。本项目针对西安高铁北站周边车流预测问题，开展基于图神经网络的车流预测研究，融合 GIS 建模、车型识别与图神经网络技术，依托交通应急调度平台接入的多源数据，实现北站周边路网多车型车流的精准预测，为运力调度优化、路网拥堵疏导提供精准的数据支撑。

(3) 西安高铁北站的客流预测与应急调度系统研究

在精准获取北站站内客流动态与周边接驳运力供给数据的基础上，如何构建科学、高效的智能调度系统，实现客流与运力的动态平衡，是西安高铁北站交通管理的核心难题。本项目依托前述基于

Transformer 的客流预测、基于图神经网络的车流预测两大核心研究成果，研发一体化的西安高铁北站客流预测与应急调度系统，解决上述核心问题，适配西安交通运输应急保障与协同调度平台的建设需求，推动技术成果落地应用，全面提升枢纽运营效率与应急处置能力。

2. 技术关键

(1) 多模态客流识别与动态监测问题。针对西安高铁北站出站口、换乘通道、售票大厅等核心区域高密度拥挤场景，行人相互遮挡、目标重叠现象频发，导致客流识别漏检、误检率偏高，且多目标跟踪易出现身份中断、切换混乱的核心感知难题，拟基于 YOLO 与 DeepSORT 融合优化技术，构建适配高铁枢纽高密度场景的客流感知体系。重点破解传统监测依赖人工统计或单一设备采集，存在数据精度不足、响应滞后，难以适配枢纽客流瞬时骤增、动态变化快的运行特性，无法为后续预测与调度提供可靠数据支撑的问题。

(2) 多源融合的 Transformer 客流预测问题。针对传统客流预测模型仅依赖历史时序数据，对高铁到站班次、节假日属性、气象条件、大型活动安排等外部影响因子适配不足、融合度低，导致预测结果与实际客流场景严重脱节，无法精准预判突发客流波动的核心问题，拟构建多源融合的 Transformer 客流预测模型，重点破解长序列客流预测中累积偏差逐步放大，且预测结果无法及时结合实时客流数据修正，与动态客流态势偏离度持续增加，影响调度准备科学性的难题。

(3) 基于动态路网图神经网络车流预测问题。针对西安高铁北站周边路网结构复杂，涵盖多条主干道、支路及公交枢纽、出租车停车区等关键节点，节点关联随车流变化动态调整，传统静态建模

难以实时刻画路网拓扑关系、精准反映路网运行状态的问题，拟构建基于图神经网络的动态拓扑建模技术，实现对北站周边路网的实时刻画。重点破解不同接驳车型（公交车、出租车、私家车等）运行特征差异显著，传统预测方法针对性不足、精度偏低，导致车流预测与枢纽接驳需求脱节的难题。

（4）基于强化学习驱动的智能调度优化问题。针对客流分布动态变化、接驳运力实时波动与道路拥堵状况三者联动不充分，信息传递存在滞后性，导致客流与运力无法实时精准匹配，高峰期易引发乘客滞留、平峰期出现运力浪费的核心调度难题，拟构建基于近端策略优化算法的动态调度模型。重点破解传统调度方式依赖人工经验，难以在乘客平均等待时间最短、车辆空驶率最低及道路饱和度最优三大目标间找到动态平衡点，导致多目标决策失衡的问题。

3. 依托工程（依托工作）

本项目依托工程为：西安交通运输应急保障与协同调度平台。该项目的主要目标是围绕应急运力资源统筹、应急人员管理、应急指挥调度等核心交通运输应急业务，采用大数据、云计算等高新技术，进行交通运输行业各类业务数据的全面整合、深度治理、融合应用，开展应急业务应用系统、应急应用支撑平台、重点场所、通讯网络、标准规范体系等建设工作，实现应急管理“事前、事发、事中、事后”全面感知、动态监测、智能预警、分析决策、快速处置、精准监管，全面支撑具有系统化、扁平化、立体化、智能化、人性化的现代交通运输行业应急管理体系建设。

本项目解决依托工程中客流精准识别问题、车流的高效分类问题以及一体化的调度问题，实现与工程应急预案库的联动，提升应急处置效能。

二、考核指标

1.预期目标

本项目聚焦西安高铁北站及其周边区域的交通管理痛点，以先进人工智能技术为核心驱动力，构建基于客流和车流供需平衡的交通应急调度系统。具体目标如下：

(1) 开发基于 Transformer 的客流预测算法，精准捕捉不同时段、节假日及特殊事件引发的客流变化，攻克客流突变预测难题，为调度决策提供可靠的客流数据支撑。

(2) 构建基于图神经网络的车流预测模型，实现对北站周边公交车、出租车等关键车型车流的实时预测，精准刻画交通网络关键节点的时空相关性，为运力供需平衡分析奠定基础。

(3) 搭建西安高铁北站客流预测与应急调度系统，确保各模块协同运行，满足实时性、稳定性要求，最终解决北站复杂交通网络下的调度难题，提高交通应急保障能力。

2.主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

(1) 客流预测的精度优于传统预测模型，平均预测精度大于 95%；在节假日及特殊事件场景下预测误差保持在 $\pm 10\%$ 以内。

(2) 车流预测的精度优于传统预测模型，未来 15 分钟车流预测平均绝对百分比误差小于 20%、未来 30 分钟车流预测平均绝对百分比误差小于 25%、未来 60 分钟车流预测平均绝对百分比误差小于 40%。

3.经济和社会效益

(1) 经济效益

项目的实施将大幅提升西安高铁北站的调度管理能力，显著提

升高铁站的运营效率，增加运输能力，进而带来更多的运营收入和利润。同时能够及时响应和处理突发事件，有效减少因事故造成的人员伤亡和财产损失，从而降低高铁北站的运营成本和风险。

(2) 社会效益

项目研究将大幅提升西安高铁北站及其周边公共交通系统的服务水平和运行效率。通过减少交通事故、提高旅客满意度等方式，能够产生显著的社会效益，这些社会效益最终会转化为经济效益，如吸引更多旅客来西安旅游，增加西安旅游收入；通过优化调度减少车辆无效行驶、间接促进社会财富创造等。

4.成果提供形式

(1)完成基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究工作报告 1 份；

(2)完成基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究报告 1 份；

(3) 开发西安高铁北站客流预测与调度系统原型系统 1 套；

(4) 针对关键技术问题，申报 1 项国家发明专利；

(5) 参加高水平学术会议 2 人次，在核心期刊发表学术论文 1 篇。

5.其他考核指标

(1) 媒体宣传报道不少于 1 次；

(2) 技术交流不少于 1 次。

三、项目年度计划内容及考核目标

年度	计划内容及考核目标（每栏限 125 字）
2026 年	二季度：进行全面的需求调研，收集西安高铁北站的相关数据资源，包括历史客流数据、周边车流数据、现有调度方案等，完成数据的接入工作。 三季度：基于 YOLO 和 DeepSORT 开发客流检测模块，实现西安高铁北站客流识别等功能。 四季度：开展基于 Transformer 的客流预测方法研究，完成模型训练，基于客流识别结果，进行客流预测。申请发明专利 1 项。
2027 年	一季度：开展基于图神经网络的车流预测算法研究，完成初步的模型训练与测试，进行未来 15 分钟、30 分钟车流预测。并撰写论文 1 篇。 二季度：开发西安高铁北站的客流预测与应急调度系统，将客流与车流预测模型集成到系统中，开发智能调度算法模块。 三季度：进行系统功能测试与性能优化，确保系统在实际应用中的高效性和可靠性。申请软件著作权 1 项。 四季度：在西安高铁北站的客流预测与应急调度系统在西安高铁北站进行试点应用，根据试运行反馈，进一步优化系统功能和算法模型，提升系统在实际场景下的适应性与实用性。
2028 年	一季度：整理项目研究成果，撰写项目报告和工作总结，完成系统的最终验收与结题。

四、项目经费

项目总经费：39.93 万元
交通运输厅补助：19.93 万元
自筹资金：20 万元

经费支出预算表

科 目	总经费 (单位：万元)	厅补经费 (单位：万元)
(一) 直接费用	35.93	16.93
1. 设备费	0.0	0.0
(1) 购置设备费	0.0	0.0
(2) 试制设备费	0.0	0.0
(3) 设备改造与租赁费	0.0	0.0
2. 业务费	15.93	7.93
(4) 材料支出	2.0	1.0
(5) 测试化验实验加工支出	2.0	2.0
(6) 燃料及动力支出	0.0	0.0
(7) 差旅支出	2.0	1.0
(8) 会议支出	2.0	1.0
(9) 国际合作与交流支出	0.0	0.0
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	6.0	2.0
(11) 其他支出	1.93	0.93
3. 劳务费	20.0	9.0
(12) 劳务性支出	17.0	7.0
(13) 咨询专家支出	3.0	2.0
(二) 间接费用	4.0	3.0
4. 管理费	2.0	1.0
5. 绩效支出	2.0	2.0
合 计	39.93	19.93

五、项目绩效目标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1.专利授权数（项）	1
		（1）授权发明专利	1
		（2）实用新型	
		（3）外观设计	
		2.软件著作权授权数（项）	1
		3.发表论文（篇）	1
		（1）其中 SCI 索引收录数	1
		（2）其中 EI 索引收录数	
		（3）其他	
		4.著作（部）	
		5.制订标准数（项）	
		（1）国际标准	
		（2）国家标准	
		（3）行业标准	
		（4）地方标准	
		（5）企业标准	
		（6）科技报告	
	其他成果	1.填补技术空白数	
		（1）国际	
		（2）国家	
		（3）省级	
		2.获奖项数	
		（1）国家奖项	
		（2）部、省奖项	
		（3）地市级奖项	
		3.其他科技成果产出	
		（1）新工艺（或新方法模式）	
		（2）新产品（含农业新品种）	
		（3）新材料	
		（4）新装备（装置）	
		（5）平台/基地/示范点	
		（6）中试线	
		（7）生产线	

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4. 研究开发情况	
		（1）小试	是
		（2）中试（样品样机）	是/否
		（3）小批量	是/否
		（4）规模化生产	是/否
	人才引育	1. 引进高层次人才	
		（1）博士、博士后	
		（2）硕士	
		2. 培养高层次人才	
		（1）博士、博士后	
		（2）硕士	3
		3. 培训从事技术创新服务人员（人次）	
		4. 是否设立科研助理岗位	否
	产业化情况	1. 开放共享仪器设备数（台/套/只等）	
		2. 科研仪器设备利用率（%）	
		3. 孵化科技型企业（个）	
		4. 转化科技成果（个）	
效果类指标	经济效益	1. 新增产值（万元）	
		2. 新增销售（万元）	
		3. 新增出口创汇（万美元）	
		4. 新增利润（万元）	
	社会效益	1. 新增税收（万元）	
		2. 新增就业人数	
		3. 就业培训（人次）	
		4. 带动农民增收（万元）	
		5. 培训和指导科技服务（人次）	
		6. 新增产业带动情况	
		7. 技术集成示范（项）	
		8. 建立示范基地（亩数）	
		9. 节约资源能源	
		10. 环保效益	
其他需要说明的情况			

六、承担单位或研究人员分工

项目承担单位西北大学智能信息处理实验室成立于 2006 年，隶属于西北大学信息科学与技术学院，聚焦新一代人工智能关键技术，面向人工智能在不同应用领域所面临的科学问题，立足于信息科学，联合数学、金融学、管理学、地质学、生物学等学科，开展多学科交叉研究。NWU-IPMI 实验室作为中国西部的智能处理中心，已成为我国智能信息处理科学研究高地，高层次人才培养基地，国际高端研究人才聚集地。实验室掌握先进的人工智能、互联网+、大数据分析、媒体计算理论和技术，在医疗数据分析、自然语言处理、地质生物信息分类、金融数据挖掘、图像图形可视化技术、智能嵌入式设备、软硬件产品开发等领域得到广泛应用，产值上千万。实验室常年承担多项国家及省部级以上课题，广泛开展校企合作，和多家知名公司签订合作及技术研发协议，承担多项相关企业委托开发项目。实验室目前有在职教师 15 名，博士生、硕士生 100 余名，发表高水平 SCI 学术论文 100 余篇，拥有 30 多项国家专利、软件著作权等科研成果，将给项目研究提供技术和智力支持。

项目合作单位西安市交通发展研究中心是根据市编办《中共西安市委编制委员会办公室关于同意成立西安市交通发展研究中心的复函》成立的公益一类事业单位，规格相当于县处级，核定事业编制 30 名，中心的主要职责是围绕城市交通热点和瓶颈问题及城市交通发展重大问题开展研究，提升城市的交通治理和服务水平。西安市交通发展研究中心相关人员了“西安市公交智能调度系统”、“西安市公交示范工程”等项目，掌握了相关核心技术，具有丰富的实践理论经验，能给予西安高铁北站客流预测与调度平台项目详细的业务指导，并能代表西安市交通运输局推动项目的落地实施工作。

西北大学承担的主要任务如下：

- （1）完成项目工可研报告的编制工作，并组织通过评审。
- （2）搭建系统整体技术架构，设计西安高铁北站客流预测与应急调度系统技术实现方案。
- （3）负责算法研究工作，重点攻克多模态客流识别与动态监测、多源融合的 Transformer 客流预测、基于动态路网图神经网络车流预测和基于强化学习驱动的智能调度优化问题。
- （4）开发西安高铁北站客流预测与应急调度系统，完成模块功能编码、调试及集成，保障系统核心功能落地。
- （5）开展系统性能优化与测试验证，设计功能测试、压力测试及场景模拟演练方案，完成系统测试验证。
- （6）完成项目整体工作报告编制以及验收资料的汇总工作。
- （7）根据项目技术难点，申请发明专利、撰写学术论文。

西安市交通发展研究中心承担的主要任务如下：

- （1）负责业务协调工作，对接西安市交通运输局、西安高铁北站运营管理单位、公交公司、出租车管理平台等相关部门，明确各单位业务需求与调度规则，协调解决跨部门协同问题。
- （2）负责多源数据对接与资源统筹工作，整合西安高铁北站站内监控视频、公交及出租车 GPS 轨迹、路网拥堵监测、高铁到站班次等核心数据资源，为系统研发提供高质量、全维度的数据源支撑。
- （3）推进系统实际应用落地，组织系统在西安高铁北站及相关运力管理部门的试点部署。
- （4）应用效果评估与推广衔接工作，结合交通运输应急保障业务实际，评估系统在日常调度、应急处置中的应用效能，总结应用经验，推动系统与西安交通运输应急保障与协同调度平台的对接。

七、项目参加人员表

项目承担单位：西北大学						
参与单位（排序）：西安市交通发展研究中心						
项目负责人						
序号	姓名	出生年月	工作单位	职称/职务	专业	在项目中担任具体工作
1	颜建强	1980年2月	西北大学	正高级	智能交通	项目总体负责
主要研究人员						
2	罗宝玺	1984年9月	西安市交通发展研究中心	副高级	计算机科学与技术	业务协调推进
3	程涛	1981年7月	西安市轨道交通集团有限公司	副高级	交通运输	项目落地实施
4	李都厚	1972年1月	西安市交通发展研究中心	副高级	交通运输	项目实施推动
5	熊英	1975年1月	西安市交通运输局	副高级	交通工程	项目需求分析

6	唐晓寒	1983年8月	西安市交通运输局	副高级	计算机科学与技术	项目数据协调	唐晓寒
7	吕川	1983年3月	西安市交通信息中心	副高级	计算机科学与技术	应急平台数据对接	吕川
8	曲博婷	1991年4月	西北大学	副高级	计算机科学与技术	客流预测算法研究	曲博婷
9	李东	1991年10月	西安市交通发展研究中心	助理级	计算机科学与技术	北站周边视频采集	李东
10	赵奇	1988年7月	西安市交通发展研究中心	助理级	计算机科学与技术	北站周边车流采集	赵奇
11	薛威成	2001年1月	西北大学	研究生	软件工程	软件开发	薛威成
12	王轶	2002年11月	西北大学	研究生	软件工程	软件开发	王轶
13	刘长杰	2001年11月	西北大学	研究生	软件工程	软件开发	刘长杰
14	刘佳迪	2003年3月	西北大学	研究生	软件工程	软件开发	刘佳迪

八、信息表

项目合同编号	25-75X	密级	/	A: 机密 B: 秘密 C: 内部					
项目名称	基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究								
项目实施所在地	陕西.西安		起止年限	2026 年 3 月至 2028 年 3 月					
总 经 费	39.93		厅 拨	19.93					
第一承担单位	单位名称	西北大学							
	所在地	陕西省西安市长安区					代码	029	
	通讯地址	西安市长安区学府大街 1 号					邮编	710127	
	单位性质	(1) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他					代码		
参与单位	序号	单 位 名 称							
	1	西安市交通发展研究中心							
	2								
	3								
项目负责人	姓 名	颜建强	性 别 (1) 1.男 2.女			出生年份	1980		
	学 历	(1) 1.研究生 2.大学 3.大专 4.中专 5.其他							
	职 称	(1) 1.高级 2.中级 3.初级 4.其他							
	联系电话	18591980900		电子邮箱	yanjq@nwu.edu.cn				
项目联系人	姓名	颜建强		性别	男				
	联系电话	18591980900		电子邮箱	yanjq_1@163.com				
项目组人数	14	高级	8	中级	0	初级	2	其他	4
主要研究内容 (100 字以内)	本项目对西安高铁北站的客流和车流预测以及公共交通调度问题开展研究, 开发西安高铁北站公共交通调度系统, 提高交通应急保障能力。								
成果属性	A	A: 新技术 B: 新工艺 C: 新材料 D: 新产品 E: 软科学 F: 装备 G: 其他							
成果形式	F	A: 专著、论文 B: 样机、样品 C: 试验工程、产品 D: 示范工程 E: 产品 F: 其他							

九、共同条款

合同各方应共同遵守《陕西省交通运输厅科研项目管理办法》。

1.合同执行过程中，乙方如需修改合同某项条款，应向甲方提出变更内容及理由的申请报告，经甲方审核同意后实施。未接到正式批准以前，双方仍须按原合同条款履行，否则后果由自行修改条款的一方负责。

2.乙方因任何主观或客观原因（如：与大纲评审内容有出入，挪用经费、技术措施或某种条件不落实等）致使计划无法执行而要求解除合同的，需取得甲方书面同意且应视不同情况，部分或全部退还所拨经费；出现上述情况的，甲方有权单方解除本合同且视不同情况要求乙方部分或全部退还所拨经费。

3.乙方的厅补助经费及自筹经费应按国省有关科研经费使用范围开支。

4.项目执行过程中，甲方提出变更合同有关内容时，要与乙方协商达成书面协议。

5.项目完成后，乙方必须按要求向甲方提交一套真实、完整、详细的技术资料及样机，并提出项目验收申请报告，由甲方审查后组织验收。

6.合同正本一式柒份，甲方单位伍份，承担单位贰份。

7.本合同经双方签章后生效，规定内容执行完毕后自然失效。

十、合同签约各方

合同甲方：陕西省交通运输厅

负责人：(签字) 2020年3月27日

联系人：(签字) (公章)

电 话：029-88869067

合同乙方：(承担单位)

单位负责人：(签字) 2020年3月27日

项目负责人：(签字) (公章)

电 话：18591809000

财务负责人：(签字)

账 户 名：西北大学

开户银行：交通银行西安太白路支行

帐 号：611301015018001145006

西北大学财务条章
西北大学
交通银行西安太白路支行
611301015018001145006

西 北 大 学
611301015018001145006
交通银行西安学府大街支行

陕西交通科技项目科研诚信 承诺书

本单位承诺在科研项目实施过程中，遵守科学道德和科研诚信要求，严格执行《陕西省交通运输厅科研项目管理办
法》的规定和科技项目合同书约定，保证所提交材料的真实
性，确保专款专用。如违背以上承诺，愿意承担相关责任，
并同意主管部门将相关失信信息记入公共信用信息系统。

项目承担单位：（盖章）

项目负责人：

颜建强

2016年3月12日

项目编号: 25-75X

2025 年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称: 基于交通应急调度平台的西安高铁北
站客流预测与调度方法研究

申请单位: (盖章) 西北大学

联系人: 颜建强

电 话: 18591980900

陕西省交通运输厅制

2025 年 12 月

填写说明

格式要求：目录页码齐全，双面打印，胶装不另加封皮。

可研报告可参考网评专家意见及建议，按照**研究大纲深度**编写。

应用技术类应本着有限目标、有限规模、重点突出、适应市场、重在应用的原则，不求全求大、面面俱到。综合考虑研究期限、财力等实际情况，合理确定研究内容。软科学研究项目可研报告应由相关业务单位或部门牵头完成，内容要与业务工作紧密结合。

目 录

一、 项目研究的背景和必要性	4
(一) 项目研究背景	4
(二) 项目研究必要性	5
二、 前期科研及工作基础	7
(一) 国内外技术研究现状	7
1. 客流预测研究现状	8
2. 交通供给量预测研究现状	9
3. 交通调度研究现状	11
4 研究现状总结与挑战	15
(二) 项目前期科研及现有工作条件	16
1、项目组前期科研基础	16
2、相关获奖情况	19
3、现有的工作条件	20
(三) 参考文献	22
三、 实施方案	27
(一) 拟解决的关键问题	27
(二) 主要研究内容及实施方案	28
(三) 技术路线	31
1. 基于 Transformer 的客流预测方法研究	31
2. 基于图神经网络的车流预测研究	34
3. 西安高铁北站的客流预测与应急调度系统研究	38
(四) 后续技术改造或基本建设计划的衔接	40
(五) 有关技术经济指标	40
四、 项目承担单位及参加单位概况	41
(一) 单位概况	41
1. 西北大学	41
2. 西安市交通发展研究中心	43
(二) 技术力量及人员构成	43
(三) 自承担的主要工作	45
(四) 项目主要负责人情况	46

五、 项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件	48
（一）依托工程（工作）概况	48
（二）投资来源	49
（三）工程进度与项目科研进度的配合	50
（四）组织管理形式	51
六、 项目经费估算及资金筹措情况	52
七、 项目绩效指标	53
八、 预期目标、成果提供形式及经济社会效益	55
1. 项目预期目标（项目的考核目标）	55
2. 提交的研究成果及其形式	55
3. 经济、社会、环境效益分析	56
九、 其它需要说明的问题	56
十、 申请单位意见	57

一、项目研究的背景和必要性

（一）项目研究背景

在全国交通网络持续完善和城市化进程不断推进的大环境下，大型高铁枢纽作为区域交通的核心节点，其客流承载压力与日俱增。截至2024年底，全国54座城市的轨道交通运营里程已达10945.6公里，城市内外的人员流动愈发频繁，跨区域出行需求持续攀升，给大型高铁枢纽的运营管理带来了严峻考验。作为西北地区最重要的高铁枢纽之一，西安高铁北站是连接华北、华东、华南与西北腹地的关键交通节点，随着徐兰高铁、西成高铁等骨干线路的全面运营及高铁网络的持续扩展，其客流量呈稳步增长态势，尤其在节假日和高峰时段，客流压力尤为突出。数据显示，2025年春节假期，西安北站客流总量达247.1万人次，创建站以来历史新高，较2024年同比增长3.3%；2025年国庆中秋黄金周期间，西安北站预计发送旅客246.0万人，日均20.5万人，较上年同期增幅8.2%，其中10月1日高峰日目标发送旅客26.3万人，客流井喷式增长特征显著。

西安市的交通与旅游融合发展态势，进一步加剧了西安高铁北站的运营挑战。一方面，城市公共交通网络的不断完善使得枢纽换乘需求激增，2024年西安地铁运营线路增至11条，覆盖385.2公里，年客运量达13.82亿人次，地铁2号线、4号线与西安高铁北站的无缝衔接，使得枢纽的客流集散任务更加繁重，尤其夜间到达旅客的接驳压力持续加大，需频繁协调地铁延长运营时间以保障疏散效率。另一方面，西安作为国内外知名的旅游城市，文旅产业的蓬勃发展带动了客流的大幅增长，2024年接待游客人数同比增长11%，其中入境游团队游客达20.1万人次，同比增长371%，大量游客在旅游旺季集中

涌入，使得西安高铁北站的客流呈现出“突发量大、持续时间长、换乘需求复杂”的特点，进一步放大了枢纽运营管理的难度。

政策层面，国家高度重视交通智能化发展，为高铁枢纽的升级改造提供了明确指引。2016年《推进“互联网+”便捷交通促进智能交通发展的实施方案》提出要利用先进信息技术提升交通服务品质和管理效率；2021年《数字交通“十四五”发展规划》明确强调以数字化、网络化、智能化为主线，推动交通治理能力现代化，实现交通资源的高效配置。2026年全国交通运输工作会议提出要加快建设现代化高质量国家综合立体交通网，突出一体化融合、安全化提升、数智化升级、绿色化转型。“一网四化”是当前和今后一个时期交通运输工作的主题和重要遵循。

（二）项目研究必要性

当前，西安高铁北站在客流管理和公共交通调度方面虽已开展大量保障工作，但仍存在明显短板，传统管理模式与日益增长的高质量交通服务需求之间的矛盾愈发突出。尽管管理部门通过提前制定保障方案、协调多部门联勤联动、储备应急运力等方式应对大客流，2025年春节期间累计投入安保力量680余人次、应急人员和志愿者200余人次，协调备勤应急公交30辆，但由于管理手段较为传统，对未来客流和供给能力的预判不足，导致应对突发客流高峰时仍存在响应迟缓、调度僵化等问题，不仅造成乘客等待时间延长、出行体验不佳，还出现了公共交通资源浪费与局部运力短缺并存的现象，难以实现客流与运力的动态平衡。与此同时，极端天气、列车晚点等突发事件进一步加剧了管理难度，如冬季低温雨雪冰冻天气需提前储备扫雪设备和融雪剂，晚点列车则需临时启动应急疏散通道，传统调度模式的灵

活性和精准性不足，已无法满足复杂场景下的运营保障需求。

从行业发展趋势来看，国内先进高铁枢纽已通过智能化改造实现了运营效率的大幅提升，为西安高铁北站提供了可借鉴的经验。广州南站、郑州东站等大型枢纽通过构建集安全、调度、应急指挥于一体的“智慧大脑”，依托智能客站旅客服务与生产管控平台，整合视频监控、客流数据等关键信息，实现了客流趋势的精准研判、调度指令的高效分解和应急事件的快速处置，有效应对了高密度列车开行和大客流压力。相比之下，西安高铁北站尚未形成系统化的客流预测与智能调度体系，在客流精准预判、多方式运力协同、应急响应效率等方面存在明显差距，亟需通过技术创新实现升级突破。

本项目的实施，旨在解决西安高铁北站客流管理与调度中的核心痛点，实现精准预测与智能调度的有机融合，其必要性主要体现在以下三个方面：

(1) 解决客流精准预测难题的迫切需求。客流的突变性是西安高铁北站运营管理的核心挑战之一，受节假日、重要文旅活动、突发事件、特殊天气等多重因素影响，客流在短时间内易出现爆发式增长，如春节、国庆等假期的客流峰值较平日翻倍。当前传统的客流预判方式多依赖历史经验，准确性和时效性不足，导致调度决策滞后。因此，亟需通过先进技术构建精准的客流预测模型，精准测算不同时段、不同场景下的客流量及换乘需求，为交通调度和应急处置提供可靠的数据支撑，这是保障枢纽有序运营的基础前提。

(2) 破解交通供给精准测算困境的现实需要。西安高铁北站周边交通网络结构复杂，交通供给涉及私家车、出租车、公交车、地铁等多种方式，不同交通方式的运力特性、调度规则存在差异，且受道路通行状况、天气等因素影响较大，导致公共交通供给量难以精准测

算。当前应急运力储备多为固定数值，难以根据实时客流变化动态调整，往往出现高峰时运力不足、平峰时资源闲置的问题。因此，亟需建立多维度的交通供给预测体系，精准测算各类交通方式的实时供给能力和潜在运力，为实现供需匹配的调度决策提供科学依据。

(3) 实现城市交通系统智能调度的发展要求。在精准掌握客流和供给量数据的基础上，如何构建科学的智能调度系统，实现客流和运力的动态平衡，是西安高铁北站交通管理的核心难题。当前调度工作主要依赖人工协调，多部门联动效率不高，应急处置流程繁琐，如遇大客流或突发事件时，需通过多次会议协调才能落实运力调配，响应时间较长。借鉴国内先进枢纽的智慧大脑建设经验，亟需构建基于交通应急调度平台的智能调度体系，实现调度指令的一键下发、多部门的高效协同和运力资源的动态优化配置，提升应急响应速度和调度效率，保障枢纽及周边交通网络的顺畅运行。

综上，本项目针对西安高铁北站及其周边区域，基于西安交通运输应急保障与协同调度平台，结合先进的人工智能技术，开发客流预测与应急调度系统，通过精准的客流和车流预测实现供需平衡的应急调度，既是解决当前枢纽运营管理痛点的迫切需要，也是落实国家数字交通发展政策、提升城市交通治理能力的重要举措，具有极强的现实必要性和实践价值。

二、前期科研及工作基础

(一) 国内外技术研究现状

本项目基于西安交通运输应急保障与协同调度平台，针对西安高铁北站的客流和车流预测以及公共交通调度问题开展研究，相关领域

研究现状如下:

1. 客流预测研究现状

精准的客流预测对于优化交通配置、缓解城市交通压力和交通场站安全管理问题具有重要的意义,根据所使用的方法不同,客流预测方法主要可以分为:基于统计学的方法、基于机器学习的方法、基于深度学习的方法以及其他客流预测方法。

(1) 基于统计学的方法。在传统的客流预测方法中,由于计算能力的限制,统计方法在客流预测的前期得到了研究人员的青睐。统计方法通常将各站以前的客流量作为序列数据,采用时间序列分析模型进行预测。在所有的时间序列分析模型中,自回归积分移动平均 (ARIMA)模型^[1]及其变体是客流预测中最著名的方法。同时,卡尔曼滤波^[2]和广义自回归条件异方差 (GRACH)^{[3][4]}等其他统计方法也被广泛应用于该任务。然而,这些统计方法在探索交通数据的非线性特征时总是遇到局限性^[5],并且具有较高的计算复杂度。此外,这些方法在面对复杂条件和大数据时可能会遇到挑战。

(2) 基于机器学习的方法。目前已经开发了许多用于客流预测的机器学习模型,包括人工神经网络 (ANN)^{[6][7]},支持向量机 (SVM)^[8],决策树^[9]和贝叶斯网络^[10]。虽然这些机器学习方法通常可以达到比传统统计更高的预测精度,但是这些方法的实时应用仍不理想。与此同时,机器学习方法在捕捉客流的时间动态方面一直面临着重大挑战^[11]。

(3) 基于深度学习的方法。面对交通场站数据规模的急剧增长和对交通场站管理的需求,研究人员将深度学习方法广泛应用于这一领域,并显示出其相对于传统方法的优越性。由于客流具有高度的时间依赖性,循环神经网络 (RNN)及其著名的变体,即长短期记忆

(LSTM)^[12]和门控循环单元(GRU)^[12]被广泛用于挖掘其时变动态。同时,为了提高异常大客流下的预测性能,Zheng 等将复杂网络理论应用于集体行为建模,提出了一种混合模型来捕捉客流的时变特征^[13]。此外,用于声音合成的 WaveNet 和用于自然语言处理的 Transformer 由于其接受域较远,可以进行长时客流预测,已被研究人员应用于客流预测任务中^[14]。

(4) 其他客流预测方法。Transformer 模型最初设计用于处理自然语言处理任务,因其在处理序列数据方面的卓越能力而引起了广泛关注。该模型的核心特性,如自注意力机制,使其能够有效捕捉时间序列数据中的长距离依赖关系,这对于客流预测尤其重要。Ashish Vaswani 等人提出的 Transformer 取得了巨大成功^[15]。有研究提出了一种基于残差网络和 Transformer 的多任务学习方法来预测多种交通方式的短期客流。这项研究展示了 Transformer 在处理多交通模式的客流预测任务中的应用潜力,突出了其在捕获时间序列任务中的影响因素方面的优势^[15]。Nikita Kitaev 等人提出的 Reformer 模型在处理长序列数据问题中开辟了道路^[16]。Haoyi Zhou 等人提出的 Informer 模型为长序列时间预测提供了新的解决方案^[16]。Tian Zhou 等人提出的 FEDformer 模型降低了模型复杂度,提高了模型效率^[17]。Yong Liu 等人提出的 iTransformer 模型通过颠倒传统的 Transformer 结构,取得了当前长周期时序预测任务的 SOTA 性能^[12]。

2. 交通供给量预测研究现状

交通供给量主要体现在特定区域各种车辆的流量,根据建模方式不同,当前预测方法主要分为基于栅格的模型预测方法以及基于图神经网络的预测方法。

(1) 基于栅格网络结构的车流量预测方法。基于栅格的方法是将研究区域划分为一系列的栅格单元,每个栅格单元代表该区域的车流量,它利用城市区域内不同位置的历史和实时交通数据来预测未来的车流量。这种方法的关键特点在于将城市区域划分为多个小的栅格(或方格),每个栅格代表城市中的一个小区域。每个栅格的大小取决于预测的精度需求和可用数据的分辨率。较小的栅格可以提供更精确的预测,但可能需要更多的数据和更复杂的计算。ST-ResNet^[18]是最早、最具代表性的基于网格的车辆进出流预测深度学习方法。DMVST-Net^[19]和 STDN^[20]将一个网格及其周围的网格(即 $S \times S$ 区域)作为输入,因此一个局部的 CNN 就足以捕获附近网格之间的空间依赖性。DeepSTN+^[21]使用兴趣点(Point-Of-Interest, POI)数据作为外部信息(如办公/住宅/购物区域),考虑位置功能对人群/交通流的影响。这种方法的效果在很大程度上依赖于高质量和高密度的数据,数据的缺失或质量低下可能严重影响预测准确性。此外,上述方法虽然理论上具有适应性,但实际上对快速变化的城市环境(如新建道路、临时交通规则变更)的适应可能较慢。这些方法有一个共同点,就是需要将交通网络转换成规则的栅格网络结构。原因是 CNN 本质上适用于欧几里德空间,如图像和规则网格。然而,交通数据是分布在交通网络中的时间序列数据,其结构是非欧氏的。因此,对于拓扑复杂的交通网络, CNN 存在局限性,不能充分捕捉交通数据的空间相关性^[22]。

(2) 基于图神经网络的车流预测方法。基于图神经网络的方法是利用图神经网络模拟城市交通的路网结构,这种方法能够有效捕捉车流在复杂路网中的传播和依赖关系。在这种方法中,交通网络被表示为图,其中节点代表交通系统中的关键点(如路口、站点),边代表道路或路径。这种方法不仅考虑空间上的交通流动(如节点之间的

关系)也考虑时间上的变化(如不同时间段的交通流量变化)。Shengnan Guo 等人提出的 ASTGCN 模型,分别模拟三种时间依赖关系,同时使用图卷积来捕捉空间模式和在时间维度上的卷积,以描述时间特征^[23]。Lei Bai 等人提出的 AGCRN 模型,设计了两个自适应模块,并通过引入循环网络构建了一个统一的交通预测模型^[24]。Pedro Felzenszwalb 等人提出的 STFGNN 模型通过融合不同时间段的各种空间和时间图,引入新的门控卷积模块,能够学习隐藏的时空依赖关系^[25]。综上所述,基于图神经网络的车流预测方法在处理复杂交通网络方面表现出色,能够提供高准确性的预测,但同时也面临着高计算资源需求、数据依赖性、模型复杂性等挑战。

3. 交通调度研究现状

交通调度涉及依据乘客流量和运行数据来规划公交运行的各项参数,如车辆发车间隔、线路走向和发车时间表等。随着城市化进程加快与出行需求多元化发展,传统人工调度模式已难以适应动态复杂的城市交通需求,国内外学者致力于研究公交车调度的多样化策略,相关成果对提升交通资源利用效率、优化乘客出行体验具有重要理论与实践意义。目前的公交车调度算法大致分为两类:

(1) 基于遗传算法等优化模型的调度方法。该部分研究主要依托运筹学理论与智能优化算法构建数学模型,通过目标函数与约束条件的量化分析实现调度优化。遗传算法(Genetic Algorithm, GA)作为一种模拟自然进化过程的随机搜索算法,在公交车调度问题求解中具有广泛应用。Liang 等^[26]针对快速公交调度问题,使用遗传算法来确定最优的公交发车间隔和线路,并在广州快速公交线路上对所提方法进行了评估和验证。Luhua 等^[27]以乘客候车费用之和、乘客上车费

用之和、乘客换乘公共交通费用之和、运营费用之和为目标函数，兼顾乘客和企业的利益，构建了公交服务频率优化模型，引入遗传算法对模型进行求解分析。Shui 等^[28]提出了一种基于克隆选择算法的公交车调度方法，使用启发式算法来生成调度方案。Wihartiko 等^[29]采用改进遗传算法的整数规划模型来解决公交时刻表问题，在特定世代的染色体设计、初始群体恢复技术、染色体重建和染色体灭活等方面进行改良。Cheng 等^[30]建立了一个多目标优化模型，最大化乘客满意度与公交公司的收入，使用非支配排序遗传算法得到帕累托前沿，以拉萨市 34 路公交车为对象进行了实验研究。

在复杂交通环境建模方面，Wang 等^[31]构建了考虑交通拥堵的多目标优化模型，采用非支配排序遗传算法对公交发车时间进行动态调整。Zhang 等^[32]在制定公交策略时将乘客感知的等待时间制定为成本函数的一部分，以考虑乘客的焦虑程度，从而提高公交运营的服务质量，并采用两种不同的进化算法，遗传算法和和谐搜索算法 (Harmony Search, HS) 来实时解决问题。

针对换乘效率提升问题，Yang^[33]设计了基于遗传算法的非均匀发车间隔优化模型，在满足乘客换乘时间约束和车辆容量限制的前提下提高换乘服务满意度。Dou 等^[34]建立随机混合整数线性规划模型，以最小化乘客总等待时间的平均值及其平均绝对偏差值的加权和为目标，对公交时刻表进行优化。Risso 等^[35]提出了一种双目标优化模型，通过最大化公交换乘同步率并最小化系统运营成本，同时确保乘客服务水平满足最低要求，实现公交时刻表的多目标优化。

针对客流环境等不确定因素对公交车调度的影响，一些学者提出了多维度的应对策略。Huang 等^[36]集成长短期记忆网络与遗传算法，提出了一种基于到达时间和客流预测的动态公交车调度模型，通过预

测未来的客流和公交车到站时间, 优化发车策略。Gkiotsalitis 等^[37]结合了旅行时间和乘客需求的不确定性, 使用遗传算法生成鲁棒的时刻表, 在最坏情况下最小化损失。温辛平^[38]使用机器学习的方法预测公交客流并根据客流预测结果使用多目标遗传算法进行公交时刻表的优化更新。刘萌^[39]考虑短时客流并使用遗传算法来求解单条线路公交车调度模型。值得关注的是, Lin 等^[40]提出了公交系统运营计划设计的数学模型, 该模型为双层优化模型, 其中下层问题以客流分析为基础, 考虑乘客出行情况, 上层问题涉及公交公司、乘客和政府三方收益最大化的三个目标函数, 通过下层客流分配与上层多主体收益优化的协同, 为大规模公交网络调度提供了新思路。

此外, 基于启发式的算法、粒子群算法等在求解公交车调度问题中也有应用。于昕曜等^[41]考虑延误车次和新增车次两种受扰车次建立公交车调度模型, 并设计了一个基于行列生成算法的启发式算法进行求解。尤雪琴等^[42]考虑了在公交线路共线的情况下公交时刻表的优化问题, 基于客流变化与路况信息, 使用改进的粒子群优化算法对问题进行求解, 使得优化后车辆载客更加均衡。黄品男^[43]考虑乘客等待的时间成本, 设计了一种 Scikit-opt 粒子群算法实现对公交时刻表的优化。Wu 等^[44]提出了一种混合整数线性规划模型, 将乘车匹配和班车调度纳入一个框架中, 优化公交出行时刻表。Ma 等^[45]基于历史公交 GPS 数据和 IC 卡刷卡数据得到乘客需求, 将所提出的非线性模型转化为整数线性规划对时刻表进行优化, 以更好地平衡客运量、司机工作时间和线路之间的竞争。Mousavi 等^[46]采用双目标混合整数规划来解决公交车时刻表优化过程中最小化乘客等待时间和降低运输成本双目标的协同优化。

(2) 基于强化学习的调度方法。强化学习 (Reinforcement

Learning, RL)^[47]是一种通过反复试验不断提高决策能力的方法,其通过与环境交互获得策略,为动态交通场景下的实时调度提供了创新解决方案。基于遗传算法等优化模型所生成的公交发车时刻表主要依据诸如客流等因素来对发车频率进行相应调整,这类时刻表具有一定的固定性。与静态优化模型不同,强化学习通过将公交车调度问题建模为马尔可夫决策过程^[48],能够实现调度策略的自主演进与动态调整。早期研究如 Wang 等^[49]对每个公交站点的停车时间通过 RL 进行了优化,但仍依赖固定时刻表框架。Matos 等^[50]使用布尔可满足性问题模型来优化公交时刻表,采用 RL 对模型参数进行优化。Long^[51]等在 D3QN^[52]强化学习的神经网络末端增加一个掩码层,保证智能体选择满足约束的车辆,在公交车调度问题上取得了比其他常见的强化学习方法更好的效果。

在多线路协同调度方面, Yan 等^[53]针对多线路公交时刻表编制问题,使用分布式强化学习算法对公交时刻表进行优化,通过多智能体协作有效降低了运营与乘客成本。Liu 等^[54]提出了一种基于强化学习的公交车在线调度方法,其将公交车时刻表中的各个发车时间视为决策点,智能体在发车时间做出决策,选择该时刻发车的车辆,为动态响应需求波动提供了技术支撑。

在动态生成公交发车时刻表问题上, Ai 等^[55]提出了一种基于深度强化学习的公交时刻表动态优化方法,采用深度 Q 网络 (Deep Q Network, DQN) 作为代理来决定公交车在服务期间每分钟是否发车,显著提升了调度实时性。罗建平等^[56]提出了一种基于 DQN 实现公交动态均衡时刻表的生成方法,通过 DQN 的推理,在实时仿真环境中进行决策,实现实时方式生成公交上下行动态均衡时刻表。Xie 等^[57]考虑公交双向运行的约束,使用深度强化学习算法 DQN 动态生成公

交发车时刻表。

4 研究现状总结与挑战

综合来看，国内外研究已从单一方法应用迈向多技术融合，但仍面临三大核心挑战：

(1) 客流预测的鲁棒性不足：现有模型对极端天气、大型活动等突发因素的响应滞后，国外 Transformer 模型虽能处理长序列，但计算效率难以满足实时调度需求；国内场景化模型泛化能力弱，难以适配不同规模交通场站的应用。

(2) 交通流空间建模不充分：栅格方法无法刻画枢纽周边非规则路网的拓扑关系，图网络方法对动态邻接关系（如临时交通管制）的捕捉不足，国内外均缺乏兼顾精度与效率的空间建模方案。

(3) 多源数据融合深度不够：现有研究多聚焦历史客流/车流数据，对天气、票务、旅游订单等外部数据的融合停留在浅层次，未能形成闭环。

(4) 调度算法对多目标平衡不好：现有调度算法未能充分反映客流的动态变化、站点之间的复杂关系及运营成本的多维度平衡，存在收敛速度慢和易陷入局部最优等问题。

综上所述，当前研究虽取得阶段性进展，但在高铁枢纽复杂场景下仍存在模型鲁棒性不足、动态结构适应弱、多源数据融合浅层化等关键短板。未来研究将向“实时化、场景化、协同化”方向发展：实时化方面，需优化模型轻量化架构，满足 5 分钟级预测更新需求；场景化方面，加强交通化枢纽等特殊场景的模型适配，融入节假日、旅游等本土特征；协同化方面，需构建客流-车流-运力的联动预测框架，为应急调度提供一体化决策支持。

(二) 项目前期科研及现有工作条件

1、项目组前期科研基础

项目团队在交通大数据应用、标准制定、平台建设、论文专利及智能调度领域积累了丰富的研究成果和实践经验,为本次项目的实施奠定了坚实基础。

(1) 数据共享与机制研究基础

团队承担的西安市科技局软科学项目《西安交通大数据汇聚应用共享机制研究》,系统梳理了公路、轨道交通、铁路、航空等 12 类运输方式及交通管理部门的数据资源,构建了跨部门数据共享流程与协同应用机制,该项目获西安市 2020 年软科学研究优秀课题。研究成果直接为本项目解决多源数据(如高铁票务、地铁换乘、公交 GPS)的跨部门整合提供了成熟的机制保障,可快速打通西安高铁北站、公交集团、出租车管理平台等单位的数据壁垒,确保客流与车流数据的实时互通。

(2) 数据接入标准与规范支撑

团队参与编制的陕西省地方标准《城市综合交通大数据接入规范》(DB 61/T 1572—2022),明确了出租汽车、地面公交、轨道交通等 17 类数据的接入字段、格式及验证规则。该标准为本项目的数据采集提供了标准化指引:例如,在公交车流数据采集时,可直接参照标准中“地面公交数据接入要求”,规范 GPS 轨迹的采样频率、字段格式等,确保数据质量;在整合地铁换乘数据时,依据“轨道交通数据

接入规范”进行格式校验，减少数据清洗的工作量，提升模型输入的准确性。

(3) 交通大数据平台与资源储备

团队参与建设的“西安市交通信息综合服务平台”，已搭建全市统一的丝路交通云和交通大数据中心，整合巡游出租、公交、“两客一危”等业务数据 150 多亿条，接入视频资源 2 万多路，覆盖西安高铁北站周边 80% 的监控点位。该平台为本项目提供了三大核心资源：
历史数据：包含 2022-2024 年西安北站出站客流、周边路口车流的完整时序数据，可直接用于模型训练；

实时数据接口：已打通与西安北站监控系统、公交 GPS 平台的对接通道，可实时获取客流密度、车辆位置等数据；

算力支撑：平台的云计算资源可满足模型训练与实时推理的算力需求，降低项目硬件投入成本。

(4) 智能调度系统实践经验

团队参与建设的“西安市公交智能调度系统”，已实现对全市 8000 余辆公交车的实时监控与动态调度，具备 GPS 定位、自动报站、应急调度等功能。该系统在高铁北站周边 45 条公交线路的应用中，形成了成熟的调度流程：例如，通过分析历史数据制定基准发车间隔，结合实时客流调整发车频次。这一实践经验为本项目的调度模型提供了直接参考，现有系统的“实时监控+基础调度”功能可作为本项目的底层架构，在此基础上新增客流/车流预测模块，大幅缩短项目开发周期。

(5) 相关科研论文

(1) Yan J. Q.*, Zhang L., Gao Y., Qu B. T. GECRAN: Graph embedding based convolutional recurrent attention network for traffic flow prediction. Expert Systems with Applications. 2024, 256, 125001.

(中科院 SCI 一区)

(2) Yan J. Q.*, Li Y. X., Gao Y., Qu B. T., Chen J. Q. EDQ: Efficient path planning in multimodal travel scenarios based on reinforcement learning. Travel Behaviour and Society. 2025, 39, 100943. (中科院 SCI 一区)

(3) Shi B. X., Wang Z. H., Yan J. Q.*, Yang Q., Yang N. X. A Novel Spatial-Temporal Deep Learning Method for Metro Flow Prediction Considering External Factors and Periodicity. Applied Sciences. 2024, 14(5), 1949. (中科院 SCI 四区)

(4) Yan J. Q., Zhang K. B.*, Luo S., Xu J. Learning graph-constrained cascade regressors for single image super-resolution. Applied Intelligence. 2022, 52, 10867-10884. (中科院 SCI 二区)

(5) 颜建强, 张霖, 高原, 曲博婷. 城市交通拥堵预测研究: 以西安市为例, 计算机工程与应用, 2024, 61(1): 330-340.

(6) 相关授权发明专利

(1) 颜建强. 基于 Q-learning 算法的公交线网优化的方法及装置, 2024-09-17, 中国, ZL202410813461.4 (发明专利)

(2) 颜建强. 一种基于 Q-learning 的公交调度方法, 2024-06-21, 中国, ZL202410269459.5 (发明专利)

(3) 颜建强. 基于多源数据的公交站点优化方法, 2024-06-04, 中国, ZL202410281704.4 (发明专利)

(4) 颜建强. 一种多模式出行路径推荐方法与装置, 2024-10-29, 中国, ZL202410895338.1 (发明专利)

(5) 颜建强. 一种基于多元数据融合的公交车到站时间预测方法及系统, 2022-4-19, 中国, ZL2019109110156 (发明专利)

综上, 团队在数据共享、标准制定、平台建设、论文、专利及智能调度领域的前期成果, 与本项目的技术需求高度契合, 可直接复用的资源占比达 50% 以上, 为项目的顺利实施提供了从数据、技术到实践经验的全方位支撑。同时, 现有技术在复杂场景预测精度、多方式协同调度等方面的不足, 也凸显了本项目的研究价值与创新空间。

2、相关获奖情况

《西安市智能出租车关键技术研究与应用》：交通部试点工程, 投资 6478 万元, 实现了西安市 12000 多辆出租汽车定位、监控、调度等功能。在项目建设中带领技术团队攻克了集成一体化车载终端、地图匹配、交通拥堵可视化等 6 项关键技术, 申请发明专利 3 项, 软件著作权 5 项, 发表相关论文 5 篇。获的 2018 年陕西省科学技术三等奖。

《西安市智能公交项目关键技术研究与应用》：建成一个可满足 15000 辆公交车的数据中心, 实现了西安市 300 多条线路 8000 多辆公交车的智能监控调度。在项目建设中带领技术团队攻克了公交车内拥挤度监测、公交车驾驶员松弛驾驶行为检测等多种技术, 获得发明专利 1 项, 实用新型专利 2 项, 软件著作权 3 项, 获的 2017 年陕西省科学技术三等奖。

《营运车辆多源数据分析、优化技术研究及应用》：以公交、出租和长途客运车辆为主要研究对象, 对视频监控系统采集的视频图像、

公交乘客刷卡数据、车辆运行大数据等进行深度分析和处理，带领团队攻克了异常驾驶行为识别、多元数据融合等关键技术。获得 2 项发明专利授权、3 项实用新型专利，获得陕西省高等学校科学技术奖二等奖。

3、现有的工作条件

(1) 项目依托工程支撑

本项目以“西安交通运输应急保障与协同调度平台”为核心依托工程，该平台作为西安市重点建设项目，其建设目标与内容为项目实施提供了全方位的工程支撑，具体体现在：

1) 数据底座支撑：依托工程中的交通运输应急数据智理平台作为统一数据底座，已实现对交通运输行业多源异构数据的汇聚、治理与共享。该平台整合了公交 GPS、出租车轨迹、地铁闸机等与本项目高度相关的数据资源，可直接为客流预测和车流预测提供标准化数据输入。

2) 视频与空间信息支撑：依托工程的交通运输视频融合赋能平台接入西安高铁北站周边 200 余路高清监控视频（覆盖出站口、公交站台等关键区域），并具备视频事件检测、录像回溯等功能，可直接为本项目的客流识别提供实时视频流；交通运输应急 GIS 资源整合平台提供的高精度地图底图及交通专题图层，为车流预测模型的路网建模和调度方案的空间可视化提供了基础数据。

3) 应急调度功能协同：依托工程的交通运输数字智能应急综合业务系统实现应急资源管理、指挥调度等功能，其应急运力数据库与本项目的智能调度模块可无缝对接，使调度指令能直接下发至运力资源终端；交通运输应急数字孪生可视化系统可承载本项目的客流预

测热力图、车流调度方案等数据，实现流程可视化，满足指挥决策需求，缩短系统集成周期。

4) 政策与实施保障：该依托工程是落实陕西省及西安市“十四五”综合交通运输发展规划的重点项目，由市交通运输局主导建设、市大数据局立项，具备完善的组织架构和资金保障。本项目可利用工程的建设团队、实施流程及验收标准，降低项目协调成本，确保研究成果能快速落地应用。

(2) 实施保障条件

为确保项目顺利实施，团队从组织、资源、技术等多维度建立了完善的保障体系：

1) 组织与人力资源保障：本项目实行项目负责人+技术骨干+外聘专家的三级管理体系：项目负责人由具有10年以上智能交通项目经验的研究员担任，统筹项目整体推进；核心技术团队包含4名博士，均参与过西安市公交智能调度系统等相关项目，具备场景适配经验；外聘专家库涵盖西安电子科技大学、西安市交通局等单位的专家，每季度开展技术评审，确保研究方向的科学性。同时，申报单位与合作单位签订合作协议，明确各单位在数据提供、场地测试等方面的职责，形成产学研用协同机制。

2) 资金与物资保障：项目申报单位承诺将项目经费优先用于核心算法研发、系统集成及现场测试，并建立专款专用机制，由财务部门全程监控经费使用。物资方面，可直接复用依托工程的硬件资源及测试车辆，降低硬件投入成本；同时，项目合作单位协调相关资源，确保系统调试与试点运行的顺利开展。

3) 技术与平台保障：技术团队已构建成熟的研发环境，包含：

算法研发平台：搭载 TensorFlow、PyTorch 等框架的 GPU 服务器，可满足 Transformer、GNN 等模型的并行训练需求，模型训练效率提升 3 倍； 测试验证平台：基于 Docker 容器化技术搭建的仿真环境，可模拟北站不同客流场景，用于调度方案的离线验证，降低现场测试风险； 接口适配工具：针对依托工程的数据接口开发了多个标准化适配插件，确保本项目系统与应急保障平台的无缝对接，缩短集成测试周期。

4) 实施管理保障：项目将研究周期划分为数据准备、算法研发、系统集成、试点运行四个阶段，每个阶段设置明确的交付物，建立风险防控小组，针对数据缺失、模型过拟合等潜在风险制定应对预案，并与依托工程的实施团队建立周例会制度，及时协调解决跨团队问题，确保项目按计划推进。

综上，项目依托的西安市交通运输应急保障与协同调度平台为研究提供了坚实的工程基础，加之完善的组织、资金、技术保障体系，可确保项目从算法研发到系统落地的全流程顺利实施，显著降低研发风险，提升成果转化效率。

(三) 参考文献

- [1] Liu, Wei, et al. "Ssd: Single shot multibox detector." Computer Vision-ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, the Netherlands, October 11-14, 2016, Proceedings, Part I 14. Springer International Publishing, 2016.
- [2] 孙兴辉.基于深度学习的城市交通流量分析与预测.2023.吉林大学.
- [3] Redmon, Joseph, et al. "You only look once: Unified, real-time object detection." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016.
- [4] Du, Yunhao, et al. "Strongsort: Make deepsort great again." IEEE Transactions on Multimedia (2023).

- [5] Xu, Yihong, et al. "How to train your deep multi-object tracker." Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 2020.
- [6] Wojke, Nicolai, Alex Bewley, and Dietrich Paulus. "Simple online and realtime tracking with a deep association metric." 2017 IEEE international conference on image processing (ICIP). IEEE, 2017.
- [7] Sun, Peize, et al. "Transtrack: Multiple object tracking with transformer." arXiv preprint arXiv: 2012.15460 (2020).
- [8] Zhang, Yifu, et al. "Bytetrack: Multi-object tracking by associating every detection box." European Conference on Computer Vision. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022.
- [9] Zeng, Jie, and Jinjun Tang. "Combining knowledge graph into metro passenger flow prediction: A split-attention relational graph convolutional network." Expert Systems with Applications 213 (2023): 118790.
- [10] Bai, Lei, et al. "Adaptive graph convolutional recurrent network for traffic forecasting." Advances in neural information processing systems 33 (2020): 17804-17815.
- [11] Guo, Shengnan, et al. "Attention based spatial-temporal graph convolutional networks for traffic flow forecasting." Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence. Vol. 33. No. 01. 2019.
- [12] Shao, Zezhi, et al. "Decoupled dynamic spatial-temporal graph neural network for traffic forecasting." arXiv preprint arXiv:2206.09112 (2022)
- [13] Ciaparrone, Gioele, et al. "Deep learning in video multi-object tracking: A survey." Neurocomputing 381 (2020): 61-88.
- [14] Shao, Z., Zhang, Z., Wei, W., Wang, F., Xu, Y., Cao, X., & Jensen, C. S. (2022). Decoupled dynamic spatial-temporal graph neural network for traffic forecasting. ArXiv preprint arXiv: 2206.09112.
- [15] Wei, Z., Zhao, H., Li, Z., Bu, X., Chen, Y., Zhang, X., & Wang, F. Y. (2023). STGSA: A Novel Spatial-Temporal Graph Synchronous Aggregation Model for Traffic Prediction. IEEE/CAA Journal of Automatic Sinica, 10(1), 226-238.
- [16] Han, Y., Zhao, S., Deng, H., & Jia, W. (2023). Principal graph embedding convolutional recurrent network for traffic flow prediction. Applied Intelligence, 1-15.
- [17] Leshem, G., & Ritov, Y. A. (2007). Traffic flow prediction using adaboost

- algorithm with random forests as a weak learner. *International Journal of Mathematical and Computational Sciences*, 1(1), 1-6.
- [18] 李博源.城市轨道交通短时客流预测研究.2023.兰州交通大学.
- [19] 李永佳.城市轨道交通站间及线路短时 OD 客流预测模型研究.2023.重庆交通大学.
- [20] 刘浩.基于深度学习的轨道交通客流预测研究.2023.西南大学.
- [21] 张天璞.基于图卷积网络的时空数据特征分析与应用.2023.北方工业大学.
- [22] Girshick, Ross, et al. "Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2014.
- [23] Girshick, Ross. "Fast r-cnn." *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*. 2015.
- [24] Liu, Wei, et al. "Ssd: Single shot multibox detector." *Computer Vision–ECCV*
- [25] Girshick, Ross. "Fast r-cnn." *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*. 2015.
- [26] Liang S, He Z, Sha Z. Bus rapid transit scheduling optimal model based on genetic algorithm[M]//ICCTP 2011: Towards Sustainable Transportation Systems. 2011: 1296-1305.
- [27] Luhua S, Yin H, Xinkai J. Study on method of bus service frequency optimal ModelBased on genetic algorithm[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, 10: 869-874.
- [28] Shui X, Zuo X, Chen C, et al. A clonal selection algorithm for urban bus vehicle scheduling[J]. *Applied Soft Computing*, 2015, 36: 36-44.
- [29] Wihartiko F D, Buono A, Silalahi B P. Integer programming model for optimizing bus timetable using genetic algorithm[C]//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2017, 166(1): 012016.
- [30] Cheng G, He Y. Enhancing passenger comfort and operator efficiency through multi-objective bus timetable optimization[J]. *Electronic Research Archive*, 2024, 32(1):565-583
- [31] Wang C, Shi H, Zuo X. A multi-objective genetic algorithm-based approach for dynamical bus vehicles scheduling under traffic congestion[J]. *Swarm and Evolutionary Computation*, 2020, 54: 100667.
- [32] Zhang Y, Su R, Zhang Y, et al. A multi-bus dispatching strategy based on

- boarding control[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2021, 23(6): 5029-5043.
- [33] Yang T. Feeder bus timetabling optimization for high-speed railway station with uneven departure interval[J]. Academic Journal of Science and Technology, 2023, 5(2):131-136
- [34] Dou X, Li T. Multi-Objective bus timetable coordination considering travel time uncertainty[J]. Processes, 2023, 11(2): 574.
- [35] Risso C, Nesmachnow S, Rossit D. Smart Public Transport: A bi-objective model for maximizing synchronizations and minimizing costs in bus timetables[J]. Applied Sciences, 2023, 13(24): 13032.
- [36] Huang Z, Li Q, Li F, et al. A novel bus-dispatching model based on passenger flow and arrival time prediction[J]. IEEE Access, 2019, 7: 106453-106465.
- [37] Gkiotsalitis K, Alesiani F. Robust timetable optimization for bus lines subject to resource and regulatory constraints[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2019, 128: 30-51.
- [38] 温辛平.基于机器学习客流预测的公交调度优化研究和实现[D].厦门理工学院,2022.
- [39] 刘萌.基于短时客流预测的单线路公交动态调度优化研究[D].长安大学,2023.
- [40] Lin P, He C, Zhong L, et al. Bus timetable optimization model in response to the diverse and uncertain requirements of passengers for travel comfort[J]. Electronic Research Archive, 2023, 31(4): 2315-2336.
- [41] 于昕曜,朱宁,马延明等.考虑异常车次的公交车辆调度计划问题研究[J].系统工程理论与实践,2023,43(03):910-928.
- [42] 龙雪琴,李景涛,王建军,等.实时信息下共线公交线路发车时刻表的协同优化[J].华南理工大学学报(自然科学版),2022,50(02):23-32.
- [43] 黄品男.考虑乘客时间成本的城市公交时刻表优化研究[D].石家庄铁道大学,2023.
- [44] Wu M, Yu C, Ma W, et al. Joint optimization of timetabling, vehicle scheduling, and ride-matching in a flexible multi-type shuttle bus system[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2022, 139: 103657.
- [45] Ma H, Li X, Yu H. Single bus line timetable optimization with big data: A case study in Beijing[J]. Information Sciences, 2020, 536: 53-66.

- [46] Mousavi S S, Pooya A, Roozkhosh P, et al. A new bi-objective simultaneous model for timetabling and scheduling public bus transportation[J]. *OPSEARCH*, 2024,62: 198-229.
- [47] Xin X, Tu Y, Stojanovic V, et al. Online reinforcement learning multiplayer non-zero sum games of continuous-time Markov jump linear systems[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2022, 412: 126537.
- [48] Bellman R. A Markovian decision process[J]. *Journal of Mathematics and Mechanics*, 1957,6(5): 679-684.
- [49] Wang J, Sun L. Dynamic holding control to avoid bus bunching: A multi-agent deep reinforcement learning framework[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2020, 116: 102661.
- [50] Matos G P, Albino L M, Saldanha R L, et al. Solving periodic timetabling problems with SAT and machine learning[J]. *Public Transport*, 2021, 13(3): 625-648.
- [51] Long M, Zou X, Zhou Y, et al. Deep reinforcement learning for transit signal priority in a connected environment[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2022, 142: 103814.
- [52] Huang Y, Wei G L, Wang Y X. Vd d3qn: the variant of double deep q-learning network with dueling architecture[C]//2018 37th Chinese Control Conference (CCC). IEEE, 2018: 9130-9135.
- [53] Yan H, Cui Z, Chen X, et al. Distributed multiagent deep reinforcement learning for multiline dynamic bus timetable optimization[J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2022, 19(1): 469-479.
- [54] Liu Y, Zuo X, Ai G, et al. A reinforcement learning-based approach for online bus scheduling[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2023, 271: 110584.
- [55] Ai G, Zuo X, Chen G, et al. Deep reinforcement learning based dynamic optimization of bus timetable[J]. *Applied Soft Computing*, 2022, 131: 109752.
- [56] 罗建平,尹杰丽,赖焰宇,等.一种基于 DQN 实现公交上下行动态均衡时刻表生成方法[P].广东省:CN202410915199.4,2024-11-12.
- [57] Xie J, Lin Z, Yin J, et al. Deep reinforcement learning based dynamic bus timetable scheduling with bidirectional constraints[C]//China National Conference on Big Data and Social Computing. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024: 108-122.

三、实施方案

1. 拟解决的关键问题（指对项目成果水平起决定作用的技术难点，或研究中能形成较强竞争力，具有自主知识产权的创新技术）

（一）拟解决的关键问题

（1）多模态客流识别与动态监测问题

针对西安高铁北站出站口、换乘通道、售票大厅等核心区域高密度拥挤场景，行人相互遮挡、目标重叠现象频发，导致客流识别漏检、误检率偏高，且多目标跟踪易出现身份中断、切换混乱的核心感知难题，拟基于 YOLO 与 DeepSORT 融合优化技术，构建适配高铁枢纽高密度场景的客流感知体系。重点破解传统监测依赖人工统计或单一设备采集，存在数据精度不足、响应滞后，难以适配枢纽客流瞬时骤增、动态变化快的运行特性，无法为后续预测与调度提供可靠数据支撑的问题。

（2）多源融合的 Transformer 客流预测问题

针对传统客流预测模型仅依赖历史时序数据，对高铁到站班次、节假日属性、气象条件、大型活动安排等外部影响因子适配不足、融合度低，导致预测结果与实际客流场景严重脱节，无法精准预判突发客流波动的核心问题，拟构建多源融合的 Transformer 客流预测模型。重点破解长序列客流预测中累积偏差逐步放大，且预测结果无法及时结合实时客流数据修正，与动态客流态势偏离度持续增加，影响调度准备科学性的难题。

（3）基于动态路网图神经网络车流预测问题

针对西安高铁北站周边路网结构复杂，涵盖多条主干道、支路及公交枢纽、出租车停车区等关键节点，节点关联随车流变化动态调整，

传统静态建模难以实时刻画路网拓扑关系、精准反映路网运行状态的问题，拟构建基于图神经网络的动态拓扑建模技术，实现对北站周边路网的实时刻画。重点破解不同接驳车型（公交车、出租车、私家车等）运行特征差异显著，传统预测方法针对性不足、精度偏低，导致车流预测与枢纽接驳需求脱节的难题。

（4）基于强化学习驱动的智能调度优化问题

针对客流分布动态变化、接驳运力实时波动与道路拥堵状况三者联动不充分，信息传递存在滞后性，导致客流与运力无法实时精准匹配，高峰期易引发乘客滞留、平峰期出现运力浪费的核心调度难题，拟构建基于近端策略优化算法的动态调度模型。重点破解传统调度方式依赖人工经验，难以在乘客平均等待时间最短、车辆空驶率最低及道路饱和度最优三大目标间找到动态平衡点，导致多目标决策失衡的问题。

（二）主要研究内容及实施方案

（1）基于 Transformer 的客流预测方法研究

客流突变性是西安高铁北站运营管理的核心挑战之一，受节假日、重要文旅活动、突发事件、特殊天气等多重因素叠加影响，北站客流易在短时间内出现爆发式增长（如春节、国庆等假期客流峰值较平日翻倍）。当前传统的客流预判方式多依赖历史经验，存在准确性不足、时效性滞后等问题，直接导致运力调度决策被动、应急处置不及时，难以适配枢纽高效运营需求。本项目针对西安高铁北站客流预测问题，融合计算机视觉与深度学习技术，通过 YOLO 与 DeepSORT 技术实现站内客流实时检测与跟踪，结合 Transformer 模型完成高精度客流预测，旨在提升客流预测的准确性与时效性，为后续交通调度提供可

靠的数据支撑。

本项目依托西安高铁北站高清摄像头，采集覆盖高峰期、平峰期及特殊事件期间的全场景客流视频数据，采用 OpenCV、FFmpeg 等工具完成去噪、图像增强、区域裁剪等预处理，剔除冗余信息；通过 YOLO 算法快速识别行人目标，结合 DeepSORT 算法融合行人运动与外观特征，实现客流精准计数与动态跟踪，解决高密度场景下目标遮挡、跟踪中断问题；构建多源融合 Transformer 预测模型，引入通道分离与外部信息融合策略，整合节假日、列车到发时刻等影响因子，采用时间片划分 Patch 切片方法提升计算效率，搭建多层编码器与位置编码机制，优化模型参数与训练策略，最终实现 15 分钟、30 分钟、60 分钟的出站客流量精准预测，为调度决策提供高时效、高可靠的数据支撑。

(2) 基于图神经网络的车流预测研究

西安高铁北站周边交通网络结构复杂，接驳运力涵盖私家车、出租车、公交车、地铁等多种方式，不同交通方式的运力特性、调度规则差异显著，且受道路通行状况、天气变化、客流潮汐波动等多重因素影响，加之各类车辆隶属于不同管理部门，导致周边公共交通供给量难以精准测算，直接影响枢纽接驳运力调度的科学性与合理性。本项目针对西安高铁北站周边车流预测问题，开展基于图神经网络的车流预测研究，融合 GIS 建模、车型识别与图神经网络技术，依托交通应急调度平台接入的多源数据，实现北站周边路网多车型车流的精准预测，刻画运力供给动态特征，为运力调度优化、路网拥堵疏导提供精准的数据支撑。

本项目利用 GIS 工具构建北站周边路网模型，明确路网节点连通关系与监测点位，搭建全覆盖车流监测网络；依托监测点位视频数据，

采用改进 YOLO 算法，结合大样本车型数据集训练模型，精准识别各类车辆并统计各节点车型流量；接入公交、出租车实时 GPS 轨迹数据，完成数据清洗与路网空间匹配，提取车辆运行特征；构建融合时空特征的图神经网络模型，通过图嵌入方法捕捉路网空间特征，结合 CNN、LSTM/GRU 与自注意力机制建模时间动态，利用 Pytorch 完成模型训练优化，实现多时间尺度多车型车流预测，通过时空聚类、热力图分析识别拥堵节点，为运力调度提供数据支撑。

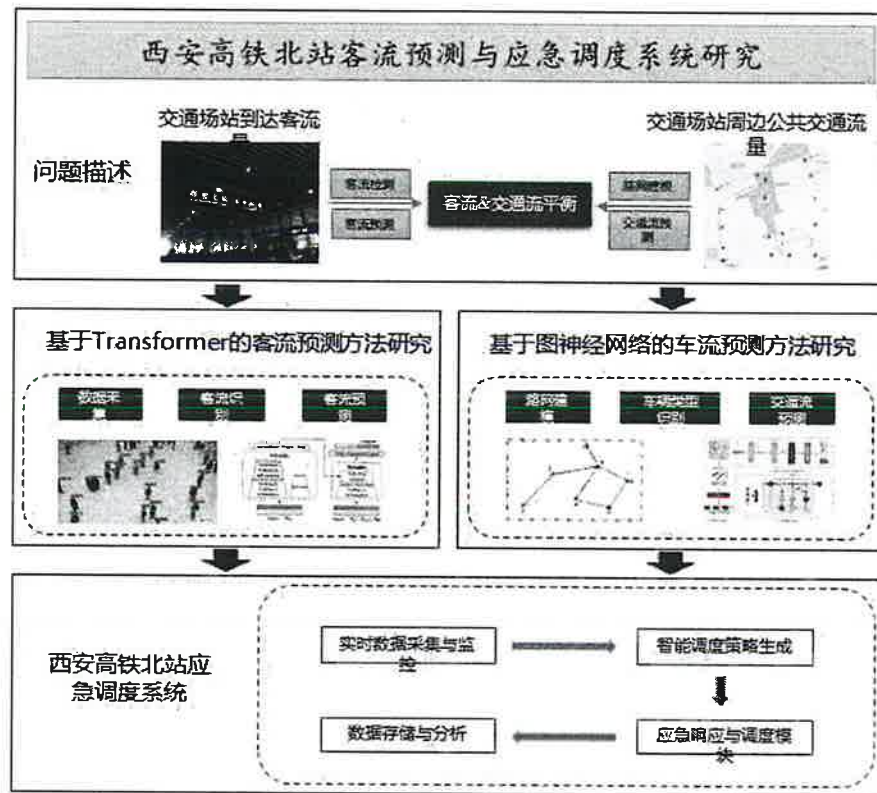
(3) 西安高铁北站的客流预测与应急调度系统研究

在精准获取北站站内客流动态与周边接驳运力供给数据的基础上，如何构建科学、高效的智能调度系统，实现客流与运力的动态平衡，是西安高铁北站交通管理的核心难题。本项目依托前述基于 Transformer 的客流预测、基于图神经网络的车流预测两大核心研究成果，研发一体化的西安高铁北站客流预测与应急调度系统，解决上述核心问题，适配西安交通运输应急保障与协同调度平台的建设需求，推动技术成果落地应用，全面提升枢纽运营效率与应急处置能力。

系统研发聚焦四大核心模块：实时数据采集与监控模块，集成摄像头、传感器、GPS 等设备，通过物联网技术实时上传数据，经数据融合技术整合校正，提供高质量数据源；智能调度策略生成模块，依托客流与车流预测结果，以乘客等待时间、运力利用率、道路饱和度为目标，构建多目标优化模型，生成动态调度策略；应急响应与调度模块，预设多类突发事件场景与应急预案库，通过规则引擎自动识别事件、匹配方案；数据存储与分析模块，依托大数据存储技术实现全量数据的长期存储与高效查询，支持多维度统计分析，为调度策略优化、应急预案完善提供数据支撑。

(三) 技术路线

本项目根据对西安市公共交通行业运行模式的研究，围绕西安高铁北站客流精准预测、动态车流感知，智能运力调度的全流程需求，融合计算机视觉、深度学习与智能优化技术，构建一体化的西安高铁北站客流预测与应急调度系统。项目的技术路线如图 1 所示：



1. 基于 Transformer 的客流预测方法研究

通过结合 YOLO 和 DeepSORT 技术，对西安北站内客流情况进行实时检测与跟踪，并利用 Transformer 模型进行高精度的客流预测，研究内容如图 2 所示。该研究内容旨在提升客流预测的准确性，为后续的交通调度提供可靠的数据支持。

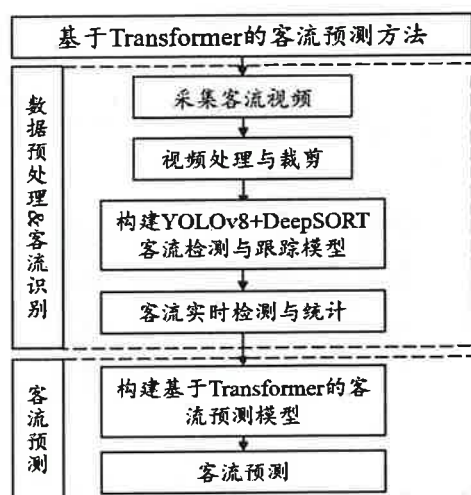


图2 研究内容一拟采用的研究步骤

(1) 数据预处理与客流识别

高质量的客流视频数据是提升客流预测准确性的基础。通过设置在西安高铁北站的多个摄像头，实时监控进出站口及其周边的客流动态。这些视频数据能够反映实际的客流波动情况，并为后续的分析 and 预测提供原始数据。视频平台提供的高清视频图像覆盖不同时间段，包括高峰期、平峰期以及特殊事件期间，能够反应客流的特性，并且能够确保视频数据的清晰度和连续性。

考虑到原始视频通常包含大量冗余信息，如背景噪声、无关的行人或车辆等，因此需要对视频进行预处理和裁剪，以提取出与客流检测相关的有效信息。视频处理包括去噪、图像增强以及场景分割等步骤。通过视频裁剪，将视野集中在客流密集区域，如出站口、售票大厅等。使用 OpenCV 或 FFmpeg 等工具进行视频裁剪和预处理。

YOLO 是一种先进的目标检测算法，能够实时检测视频中的目标。DeepSORT 是基于深度学习的多目标跟踪算法，能够在拥挤的场景中实现稳定的目标跟踪。本项目先用 YOLO 识别出行人，然后利用 DeepSORT 对这些行人进行持续的跟踪，如图 3 所示。DeepSORT 通过结合运动信息和外观特征，减少了目标在视频中跟踪时的身份交换

问题，确保了目标的连续性和准确性。

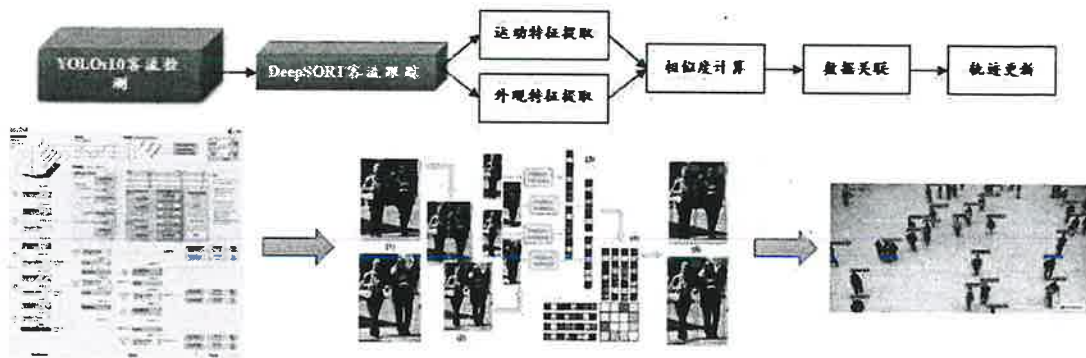


图3 基于 YOLOv10+DeepSORT 的客流检测算法主要流程

(2) 客流预测

本项目构建基于 Transformer 的客流预测模型如图 4 所示，Transformer 模型因其强大的序列建模能力，尤其在长序列预测中表现优异，因此被引入用于客流量的时间序列预测。与传统的 RNN（循环神经网络）相比，Transformer 可以并行处理整个序列，提高了训练效率和预测性能。

通过构建一个多层的 Transformer 编码器，用于提取客流序列的时空特征。通过位置编码使模型捕获时间序列中的顺序信息。使用历史客流数据为输入，训练 Transformer 模型，目标是最小化预测客流量与实际客流量之间的误差。通过调整模型参数（如注意力头的数量、隐藏层的大小等）以及训练策略（如学习率调度、数据增强等），不断提升模型的预测精度。

客流预测的最终目的是为西安高铁北站公共交通的调度提供数据支持，尤其是在高峰期、特殊事件或紧急情况下，可以提前做出响应，优化交通资源的配置。基于训练好的 Transformer 模型，输入当前和历史的客流统计数据，预测未来多个时间步长内的客流量。预测结果可以用于实时决策，如增加或减少公交班次、调整站内人员配置等。

考虑到应用的需求，本项目基于 Transformer 模型，预测未来一段时间（15 分钟；30 分钟；60 分钟）的出站客流量，作为决策的基础。

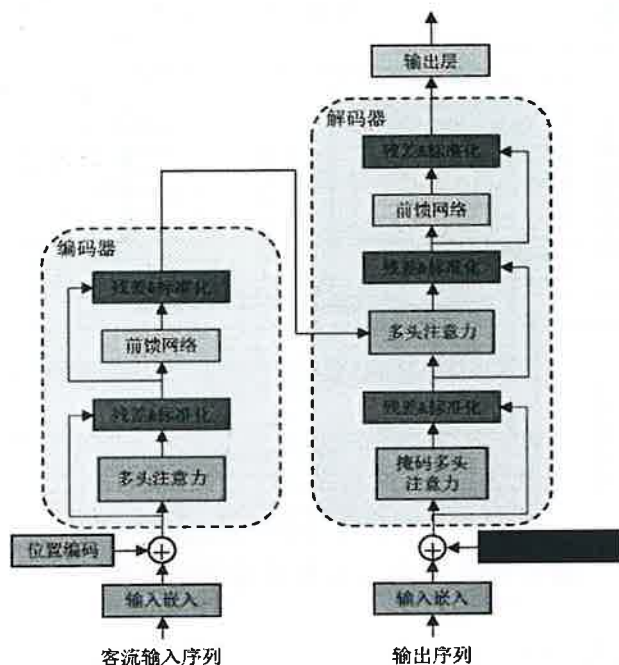


图 4 Transformer 模型架构图

2. 基于图神经网络的车流预测研究

西安高铁北站的交通供给涉及私家车、出租车、公交车、地铁等多种方式，交通网络结构复杂，由于不同类型的车辆隶属于不同的管理部门，对各类车辆供给量的预测成为影响交通调到的主要问题。

本项目基于交通应急调度平台接入的各主要路口的视频图像，采用 YOLO 算法对各视频图像中的车辆类型进行识别，计算各节点流经私家车、出租车、公交车数量。同时，接入现有的出租车辆、公交车 GPS 数据，对西安高铁北站周边公共交通工具的运行情况进行监测，分析西安北站区域各主要路口的交通情况，实现对西安高铁北站周边交通资源供给情况进行准确预测，研究过程如图 5 所示。

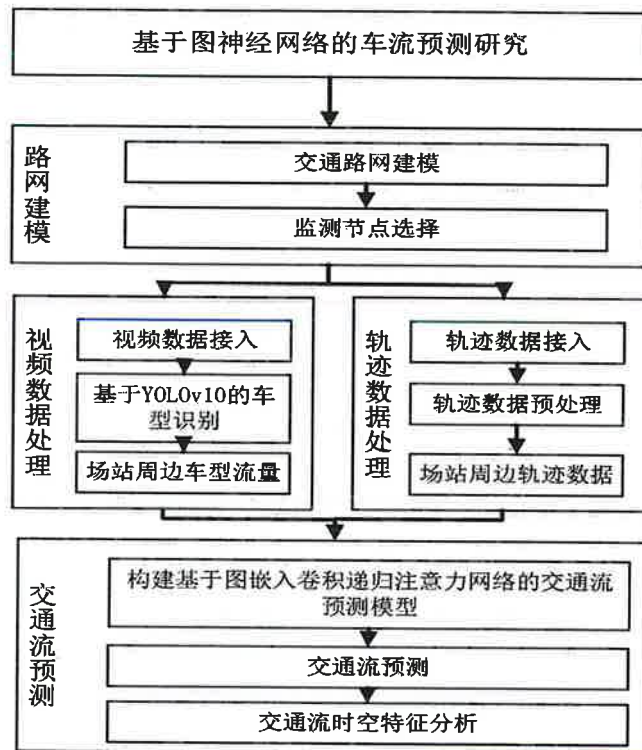


图5 研究内容二拟采用的研究步骤

(1) 构建监测网络

西安高铁北站路网结构复杂, 选择合理的监测点位是进行交通供给预测的基础, 通过使用地理信息系统 (GIS) 工具, 构建西安北站及其周边的路网模型如图6所示, 根据道路节点的连通性及其在整个交通系统中的位置和重要性, 可以明确各道路节点的连通性及车流量的监测节点如图7所示。

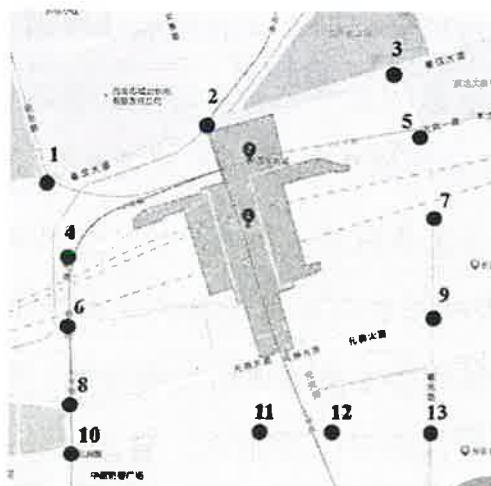


图6 西安高铁北站路网建模

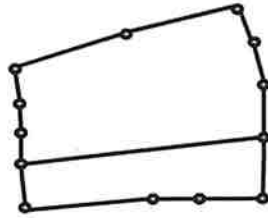


图 7 西安高铁北站监测点位

(2) 视频数据处理

采用 YOLO 算法对各视频图像中的车辆类型进行识别，计算各节点流经私家车、出租车、公交车数量。

本项目采用了深度学习领域的目标检测 YOLO 算法，在 Backbone 部分使用了梯度流更加丰富的 C2f 结构，Head 部分换成了目前主流的解耦头结构，损失函数使用了 Task-Aligned Assigner 正负样本匹配方式以及其他一些改变。

要构建能够精确识别车辆类型的深度学习模型，需要大量的实验数据作为基础，以确保训练模型时，对任何可能出现的车辆类型能够准确识别，本项目采用的数据集的图片均为大样本数据集。该数据集将汽车类型划分为大型客车、中型客车、小型客车、豪华客车、公交车、出租车、旅游客车、校车、医疗救护车和摩托车。通过训练，得到车型识别模型，用于识别各个监控节点下通过的各类车辆数量，如图 8 所示，并将识别结果保存在数据库中。



图 8 车辆类型识别

(3) 轨迹数据处理

接入西安市出租车辆轨迹数据、西安市公交车辆轨迹数据。轨迹数据应包括车辆的实时位置、行驶速度、方向以及上下车地点和时间等信息。数据的收集应覆盖不同的时间段,包括工作日、周末以及节假日等。

结合西安北站路网的监控节点,选择西安北站路网上的公交车和出租车流量数据,通过实时的轨迹数据反映真实的交通流动路径和模式。

表 1 GPS 数据格式说明

数据位	数据内容
\$ GPGGA	接收 GPS 语句的起始符
,	域分隔符
<1>	UTC 时间,小时/分钟/秒(hh mm ss)格式
<2>	纬度 dd mm mmmm 格式(非 0)
<3>	纬度方向 N 或 S。N 表示北纬,S 表示南纬
<4>	经度 ddd mm mmmm 格式(非 0)
<5>	经度方向 E 或 W。W 表示西经,E 表示东经
<6>	GPS 状态提示。0—未定位;1—无差分定位信息;2—带差分定位信息
<7>	使用卫星号(00~08)
<8>	精度百分比
<9>	海平面高度
<10>	大地椭球面相对海平面的高度
<11>	差分 GPS 信息
<12>	差分站 ID 号 0000~123
* hh	校验和,即接收字符串的校验和
<CR><LF>	终止位

图 9 GPS 数据格式

(4) 车流量预测

图神经网络是处理非欧几里得数据的有效工具,能够捕捉交通网络中的空间依赖关系。结合卷积、递归和注意力机制,可以有效地建模车流中的时间和空间特征,从而实现更精确的车流预测。本项目首先利用图嵌入方法对路网节点进行嵌入,生成高维特征向量,以表示节点的空间特性。嵌入向量能够捕捉节点在交通网络中的位置和邻接关系。用卷积神经网络提取路网中局部区域的空间特征,然后结合循环神经网络捕捉车流的时间动态变化。引入自注意力机制,动态调整

模型对不同时间步长和不同节点的关注度，提升模型对长时间依赖关系和全局特征的建模能力。利用 Pytorch Geometric 等库实现图神经网络模型，并在车流量数据集上进行训练和优化，如图 10 所示。

对车流量预测结果进行深入的时空特征分析，帮助理解交通流动的规律和模式。时空特征分析能够揭示出交通流的高峰时段、拥堵节点以及潜在的交通瓶颈等，为进一步优化交通系统提供依据。使用时空分析方法，如时空聚类分析、热力图分析等，识别交通流中的异常模式和规律。并使用 GIS 工具进行可视化展示，帮助决策者直观地了解车流的时空分布特点。基于图神经网络，预测未来一段时间（15 分钟； 30 分钟； 60 小时）不同类型车辆的交通供给量。

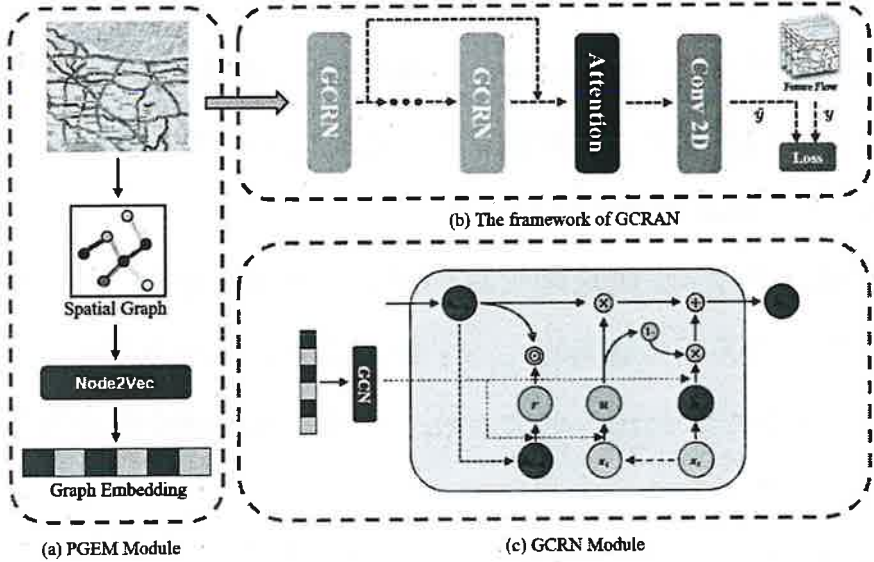


图 10 图神经网络模型架构图

3. 西安高铁北站的客流预测与应急调度系统研究

西安高铁北站是连接西安市及其周边地区的重要交通枢纽，每天处理着大量的旅客流动和交通需求。随着城市化进程加快和人口不断增长，尤其在高峰期和节假日期间，公共交通系统面临着巨大压力。现有的公共交通调度系统在处理实时交通变化和应对突发事件时存

在一定的局限性，由于没有未来交通需求和供给的预测，无法提前采取应对措施，容易导致西安北站乘客滞留、管理混乱和交通拥堵等问题。

(1) 实时数据采集与监控模块

主要负责实时采集和监控客流与车流数据。包括进站、出站客流量，公共交通工具的位置、速度、客流密度等。集成站点内外的各类传感器、摄像头、GPS 设备等，利用物联网技术，确保数据的及时上传。通过数据融合技术，将来自不同设备的数据进行整合和校正。

(2) 智能调度策略生成模块

根据实时的车流和客流预测结果，生成动态的公共交通调度策略。包括调整公交线路、发车间隔、临时增减班次等。结合研究内容二中的车流预测模型，使用优化算法进行调度优化。系统可基于预测结果，提出最优化的调度方案，确保资源利用最大化和乘客等待时间最小化。

(3) 应急响应与调度模块

针对突发事件，提供快速响应机制和应急调度方案，保证公共交通系统在紧急情况下仍能高效运行。预设多种突发事件场景，基于规则引擎和实时数据，快速匹配最佳应急方案。通过调度策略的实时调整，减少突发事件对交通系统的冲击。

(4) 数据存储与分析模块

存储和管理历史的车流、客流数据，并提供多维度的数据分析和查询功能，支持长期的交通规划和调度策略优化。使用大数据存储技术管理海量数据，提供高效的查询和分析功能。通过可视化工具进行数据分析展示，帮助管理者发现潜在问题和优化空间。

（四）后续技术改造或基本建设计划的衔接

本项目研究成果紧密依托西安交通运输应急保障与协同调度平台的建设进程，聚焦客流精准预测、车流动态感知、智能应急调度三大核心技术方向，形成可直接适配工程落地的技术方案、模型工具与系统模块。结合依托工程建设的实际进展，后续将从分三个阶段，实现研究成果与实际建设的深度衔接，充分体现成果的技术成熟性、工程适用性及市场应用需求，为西安市现代交通运输应急管理体系建设提供核心支撑。

第一阶段，聚焦数据层与感知层衔接。在工程开展视频监控资源整合、GIS 平台搭建、数据底座建设的同时，实现北站核心区域客流、周边路网车流的实时感知与数据采集。

第二阶段，聚焦模型层与应用层落地。在工程五大平台完成功能搭建并进入试运行阶段后，部署多源融合 Transformer 客流预测模型与图神经网络车流预测模型，开展试运行验证。通过实时采集工程试运行数据，持续优化模型参数，提升预测精度与适配性。

第三阶段，聚焦成果优化与推广应用。在工程正式投入运营后，基于实际运营数据持续优化三大核心技术成果，形成适配西安高铁北站运营特性的标准化技术方案。同时以西安高铁北站为试点，总结技术应用经验，将成果推广至西安市其他大型交通枢纽，助力依托工程实现全市交通运输应急管理的一体化、智能化升级。

（五）有关技术经济指标

（叙述项目取得的成果中研究开发的技术、产品具体的技术经济指标（如适用条件、单位耗材、单位造价等）以及性能指标（如技术

参数、精度等)。定性描述与定量相结合,以定量为主)

(1) 客流预测精度优于传统预测模型,平均预测精度大于 95%;在节假日及特殊事件场景下预测误差保持在 $\pm 10\%$ 以内。

(2) 车流预测精度优于传统预测模型,未来 15 分钟车流预测平均绝对百分比误差小于 20%、未来 30 分钟车流预测平均绝对百分比误差小于 25%、未来 60 分钟车流预测平均绝对百分比误差小于 40%。

四、项目承担单位及参加单位概况

(一) 单位概况

1. 西北大学

西北大学肇始于 1902 年的陕西大学堂和京师大学堂速成科仕学馆。1912 年始称西北大学。1923 年改为国立西北大学。1937 年西迁来陕的国立北平大学、北平师范大学、北洋工学院和北平研究院等组成国立西安临时大学,1938 年改为国立西北联合大学,1939 年复称国立西北大学。新中国成立后为教育部直属综合大学。1950 年复名西北大学。1958 年改隶陕西省主管。1978 年被确定为全国重点大学。现为国家“双一流”建设高校、国家“211 工程”建设院校、教育部与陕西省共建高校。

在长期的发展历程中,西北大学形成了“发扬民族精神,融合世界思想,肩负建设西北之重任”的办学理念,汇聚了众多名师大家,产生了一批高水平学术成果,培养了大批才任天下的杰出人才,享有良好的学术声誉和社会声望,被誉为“中华石油英才之母”“经济学家的摇篮”“作家摇篮”。

学校现有太白校区、桃园校区、长安校区三个校区，总占地面积2360余亩。现有24个院（系）和研究生院、1个中外合作办学机构、6个非直属附属医院。设有88个本科专业，其中32个专业入选国家级一流本科专业建设点。学校现有24个博士学位授权一级学科、36个硕士学位授权一级学科、18个专业学位授权类别、24个博士后科研流动站。现有地质学、考古学2个“世界一流学科”建设学科，1个一级学科国家重点学科（涵盖5个二级学科），4个二级学科国家重点学科和1个国家重点（培育）学科。学校现有3个教育部基础学科拔尖学生培养计划2.0基地，7个国家级人才培养基地并设有国家大学生文化素质教育基地，7个国家级实验教学示范中心，1个国家级虚拟仿真实验教学中心。学校拥有1个国家重点实验室，1个国家工程技术研究中心，1个国家“一带一路”联合实验室，1个国家创新人才培养示范基地，3个国家国际科技合作基地，3个国家地方联合工程研究中心，3个国家级高等学校学科创新引智基地，1个省部共建国家重点实验室（筹），1个教育部人文社会科学重点研究基地，3个教育部国别和区域研究备案中心，1个国家民委“一带一路”国别和区域研究中心，105个省部级科研基地。

学校现有教职工3000余人，其中中科院院士4人，双聘院士（教授）5人，国际科学史研究院院士1人，发展中国家科学院院士1人，国家“万人计划”项目入选者23人，国家杰出青年科学基金获得者12人，国家优秀青年科学基金获得者12人，国家“百千万人才工程”人选17人，国家级教学名师4人，教育部新世纪优秀人才支持计划25人，科技部“中青年科技创新领军人才”6人。全日制在校生25000余人，其中全日制本科生13000余人，研究生11700余人，国际学生600余人。

学校先后获得国家自然科学奖一、二等奖，国家技术发明奖二等奖，国家科技进步奖二等奖，国家级教学成果奖一、二等奖，中国专利金奖，高等学校科学研究优秀成果奖（人文社会科学）一等奖等重大奖励。学校十分重视对外科技文化交流，已与美、英、法、德、日等近 30 个国家及地区的 120 余所大学、科研机构建立了友好合作关系。《大英百科全书》曾将西北大学列为世界著名大学之一。

2. 西安市交通发展研究中心

项目合作单位西安市交通发展研究中心是根据市编办《中共西安市委编制委员会办公室关于同意成立西安市交通发展研究中心的复函》成立的公益一类事业单位，规格相当于县处级，核定事业编制 30 名，中心的主要职责是围绕城市交通热点和瓶颈问题及城市交通发展重大问题开展研究，提升城市的交通治理和服务水平。西安市交通发展研究中心相关人员了“西安市公交智能调度系统”、“西安市公交示范工程”等项目，掌握了相关核心技术，具有丰富的实践理论经验，能给予西安高铁北站客流预测与调度平台项目详细的业务指导，并能代表西安市交通运输局推动项目的落地实施工作。

（二）技术力量及人员构成

本项目团队为西北大学智能信息处理实验室，该实验室成立于 2006 年，隶属于西北大学信息科学与技术学院，聚焦新一代人工智能关键技术，面向人工智能在不同应用领域所面临的科学问题，立足于信息科学，联合数学、金融学、管理学、地质学、生物学等学科，开展多学科交叉研究。NWU-IPMI 实验室作为中国西部的智能处理中心，已成为我国智能信息处理科学研究高地，高层次人才培养基地，

国际高端研究人才聚集地。实验室掌握先进的人工智能、互联网+、大数据分析、媒体计算理论和技术，在医疗数据分析、自然语言处理、地质生物信息分类、金融数据挖掘、图像图形可视化技术、智能嵌入式设备、软硬件产品开发等领域得到广泛应用，产值上千万。实验室常年承担多项国家及省部级以上课题，广泛开展校企合作，和多家知名公司签订合作及技术研发协议，承担多项相关企业委托开发项目。实验室目前有在职教师 15 名，博士生、硕士生 100 余名，发表高水平 SCI 学术论文 100 余篇，拥有 30 多项国家专利、软件著作权等科研成果。西北大学智能信息处理实验室将充分发挥实验室在智能优化、大规模计算、智能信息处理的优势，为项目实施提供全方面的技术支持。

项目组主要成员构成及其分工如表所示。

姓 名	单 位	性别	年龄	技术职称	在项目中担任 具体工作
颜建强	西北大学	男	1980-02-06	正高级	项目总体负责
罗宝玺	西安市交通发展研究中心	男	1984-09-21	副高级	业务协调推进
程涛	西安市轨道交通集团有限公司	男	1981-07-09	副高级	项目落地实施
李都厚	西安市交通发展研究中心	男	1972-01-16	副高级	项目实施推动
熊英	西安市交通运输局	女	1975-11-16	副高级	项目需求分析
吕川	西安市交通信息中心	男	1983-03-09	副高级	应急平台数据对接
曲博婷	西北大学	女	1991-04-11	副高级	客流预测算法研究
李东	西安市交通发展研究中心	男	1991-10-05	助理级	北站周边视频采集

赵奇	西安市交通发展研究中心	男	1988-07-14	助理级	项目具体实施
薛威成	西北大学	男	2001.01.11	技术员级	软件开发
王轶	西北大学	男	2002.11.20	技术员级	软件开发
刘长节	西北大学	男	2001-11-02	技术员级	软件开发
刘佳迪	西北大学	女	2003-03-28	技术员级	软件开发

(三) 各自承担的主要工作

本项目由西北大学和西安市交通发展研究中心共同承担，其中西北大学作为牵头单位负责具体研究工作，西安市交通发展研究中心负责业务协调、数据对接及实际应用推进，双方协同保障系统研发与落地。具体分工及实施内容如下：

西北大学承担的主要任务如下：

- (1) 完成项目工可研报告的编制工作，并组织通过评审。
- (2) 搭建系统整体技术架构，设计西安高铁北站客流预测与应急调度系统技术方案。
- (3) 负责算法研究工作，重点攻克多模态客流识别与动态监测、多源融合的 Transformer 客流预测、基于动态路网图神经网络车流预测和基于强化学习驱动的智能调度优化问题。
- (4) 开发西安高铁北站客流预测与应急调度系统，完成模块功能编码、调试及集成，保障系统核心功能落地。
- (5) 开展系统性能优化与测试验证，设计功能测试、压力测试及场景模拟演练方案，完成系统测试验证。

(6) 完成项目整体工作报告编制以及验收资料的汇总工作。

(7) 根据项目技术难点，申请发明专利、撰写学术论文。

西安市交通发展研究中心承担的主要任务如下：

(1) 负责业务协调工作，对接西安市交通运输局、西安高铁北站运营管理单位、公交公司、出租车管理平台等相关部门，明确各单位业务需求与调度规则，协调解决跨部门协同问题。

(2) 负责多源数据对接与资源统筹工作，整合西安高铁北站站内监控视频、公交及出租车 GPS 轨迹、路网拥堵监测、高铁到站班次等核心数据资源，为系统研发提供高质量、全维度的数据源支撑。

(3) 推进系统实际应用落地，组织系统在西安高铁北站及相关运力管理部门的试点部署。

(4) 应用效果评估与推广衔接工作，结合交通运输应急保障业务实际，评估系统在日常调度、应急处置中的应用效能，总结应用经验，推动系统与西安交通运输应急保障与协同调度平台的无缝对接，助力技术成果转化为实际运营能力。

(四) 项目主要负责人情况

项目负责人：颜建强，工学博士，正高级工程师。十多年来，一直在科研一线工作，先后主持参与了一大批科研项目和信息化项目建设，其中主持科研项目 8 项，解决了出租车摄像头位置异常检测、公交车内乘客的拥挤度识别、营运车辆驾驶员异常驾驶行为检测等难题，申请发明专利 10 多项，在权威、核心期刊和国际会议上发表学术论文 10 多篇。主持的《西安市智能出租车关键技术研究与应用》项目投入 6000 多万，实现了西安市 12000 多辆出租汽车定位、监控、调

度、管理和服务，项目成果“西安市智能出租车关键技术研究与应用”获得 2018 年陕西省科学技术奖三等奖(第一完成人，证书编号：2018-3-061-R1)；《西安市智能公交项目关键技术研究与应用》项目投入 8000 多万，建成一个数据中心、一个指挥调度总中心和 30 多个分调度中心，实现了西安市 300 多条线路 7000 多辆公交车的智能监控调度，项目研究成果“西安市智能公交项目关键技术研究与应用”获得 2017 年陕西省科学技术奖三等奖(第二完成人，证书编号：2017-3-059-R2)；《视频监控序列中基于画像的人脸检索》项目，实现基于画像的照片人脸检索和基于照片的画像检索，获 2011 年陕西省高等学校科学技术奖二等奖(证书编号：2011-B04)；负责 1000 万以上的信息化建设项目 4 项，“西安交通发布微信平台”关注用户超过 90 多万，荣获 2017 陕西政务新媒体优秀服务平台奖；《公路行业综合管理信息系统》和《手机应用系统快速开发平台》获得科技部中小企业科技创新基金支持，推动了科技成果的产业化，取得了巨大的经济效益。

五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件

（一）依托工程（工作）概况

本项目依托工程为：西安交通运输应急保障与协同调度平台。该项目是为了落实陕西省人民政府印发《陕西省“十四五”综合交通运输发展规划》中提出的“提高应急处置能力，建设完善综合交通运输运行协调和应急指挥平台”。西安市人民政府办公厅印发《西安市“十四五”综合交通运输发展规划》中提出的“提升交通应急安保能力”，“完善综合交通应急预案体系”等相关政策要求，由西安市交通运输局提出，并由西安市大数据局立项的重点建设项目。

该项目的目标是围绕应急运力资源统筹、应急人员管理、应急指挥调度等核心交通运输应急业务，采用大数据、云计算等高新技术，进行交通运输行业各类业务数据的全面整合、深度治理、融合应用，开展应急业务应用系统、应急应用支撑平台、重点场所、通讯网络、标准规范体系等建设工作，实现应急管理“事前、事发、事中、事后”全面感知、动态监测、智能预警、分析决策、快速处置、精准监管，全面支撑具有系统化、扁平化、立体化、智能化、人性化的现代交通运输行业应急管理体系建设。

建设内容包括交通运输数字智能应急综合业务系统、交通运输应急数字孪生可视化系统、交通运输应急数据治理平台、交通运输视频融合赋能平台和交通运输应急 GIS 资源整合平台五大平台。交通运输数字智能应急综合业务系统，实现应急资源的整合、合理规划和利用，通过对各个区域现有应急资源及分布地区进行调查梳理，建立集通信、信息、指挥和调度于一体的应急资源和资产数据库。交通运输应急数字孪生可视化系统，承载应急运力、应急人员等数

据，无缝对接交通运输数字智能应急综合业务系统、交通运输应急数据治理平台、交通运输视频聚合赋能平台、交通运输应急 GIS 资源整合平台等业务支撑平台，满足交通运输应急业务的可视化指挥需求。交通运输应急数据治理平台，作为交通运输数字智能应急综合业务系统、交通运输应急数字孪生可视化系统等相关业务系统的数据底座，实现对多源异构的数据汇聚、融合加工与治理，对横向数据共享，纵向信息贯通，为西安市交通运输局的交通运输应急保障工作提供统一的数据支撑。交通运输视频融合赋能平台，利用已建设的视频监控资源，横向拓展视频资源的应用范围，纵向提升视频资源对各部门业务的能力支撑，提供视频图像预览、录像查找回放、视频事件检测等视频价值挖掘的技术手段，促进视频应用与交通运输行业各委办局职能相融合，并初步建立起自动化、智能化的预警防范机制，为政府决策指挥提供智慧支持，促进社会治理智慧化水平提升。交通运输应急 GIS 资源整合平台，利用西安市已建设的 GIS 平台服务提供的 GIS 地图底图数据，需配置相应 GIS 工具，新建交通运输应急专题图层，实现救援资源一张图、防护目标一张图、交通资源一张图、企业信息一张图和重点工程一张图。

（二）投资来源

本项目研究经费 39.93 万元，其中陕西省交通运输厅科研项目拨款 19.93 万元，其余为自筹经费。

(三) 工程进度与项目科研进度的配合

本项目研究期限为二年，2026 年 1 月至 2027 年 12 月，具体计划安排如下：

2026.1.1-2026.6.30：进行全面的需求调研，收集西安高铁北站的相关数据资源，包括历史客流数据、周边车流数据、现有调度方案等。制定详细的研究计划和技术路线，完成数据的整合和接入工作。

2026.7.1-2026.12.31：开展基于 Transformer 的客流预测方法研究和基于图神经网络的车流预测算法研究。基于 YOLO 和 DeepSORT 开发客流检测模块，实现西安高铁北站客流的精准识别。同时，构建基于图神经网络的车流预测模型，完成初步的模型训练与测试，确保模型的准确性和稳定性，申请发明专利 1 项，发表 SCI 论文一篇。

2027.1.1-2027.6.31：开发西安高铁北站的客流预测与应急调度系统，将客流与车流预测模型集成到系统中，开发智能调度算法模块，生成动态调度策略和应急响应方案。进行系统功能测试与性能优化，确保系统在实际应用中的高效性和可靠性。申请发明专利 1 项，申请软件著作权 1 项。

2027.7.1-2027.9.30：系统试点运行与优化。将西安高铁北站的客流预测与应急调度系统在西安高铁北站进行试点应用，实时监控系统运行效果，收集运行数据并进行分析。根据试运行反馈，进一步优化系统功能和算法模型，提升系统在实际场景下的适应性与实用性。

2027.10.1-2027.12.31：项目总结与验收。整理项目研究成果，撰写项目报告和工作总结，完成系统的最终验收与结题。同时，探讨系统在其他交通枢纽中的推广应用策略，为未来的应用扩展提供依据和参考。

(四) 组织管理形式

项目组织实施中的主要管理形式和措施有：

(1) 本项目的各项研究内容和研究计划严格按本项目计划目标组织实施。

(2) 项目由负责单位和负责人全面负责管理，承担者各方的分工协作、经费拨付、考核目标和责任要求等具体内容将以分合同形式进一步明确。

(3) 每月定期召开项目工作会议，检查前阶段的具体工作、研究进展和实施深度，讨论解决研究过程中的各项技术问题和其他事宜，布置后阶段的工作重点和具体要求。对不能按时、保质完成研究任务的人员及时予以更换。

(4) 对本项目的重点阶段性目标和成果进行重点考核和督促，以确保项目总体研究目标的实现。

六、项目经费估算及资金筹措情况

对经费估算及资金筹措情况说明，提供所需经费测算说明。

经费投入（万元）		经费支出（万元）			
科 目	估算数	科 目	总经费	斤补经费	其他经费
省交通运输厅补助	19.93	合 计	39.93	19.93	20.0
工程配套研究经费	0.0	1.设备费	0.0	0.0	0.0
单位自筹	0.0	（1）购置设备费	0.0	0.0	0.0
其他经费	20.0	（2）设备改造与租赁费	0.0	0.0	0.0
		2.业务费	15.93	7.93	8
		（1）材料费	2.0	1.0	1.0
		（2）测试化验实验加工费	2.0	2.0	0.0
		（3）燃料动力费	0.0	0.0	0.0
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	4.0	2.0	2.0
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	6.0	2.0	4.0
		（6）其他费用	1.93	0.93	1.0
		3.劳务费	20.0	9.0	11.0
		（1）专家咨询费	3.0	2.0	1.0
		（2）聘用人员劳务费	12.0	5.0	7.0
		（3）其他劳务费	5.0	2.0	3.0
		（二）间接费用	4.0	3.0	1.0
		4.管理费	2.0	1.0	1.0
		5.绩效支出	2.0	2.0	0.0

七、项目绩效指标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1、专利授权数（项）	1
		（1）授权发明专利	1
		（2）实用新型	
		（3）外观设计	
		2、软件著作权授权数（项）	1
		3、发表论文（篇）	1
		（1）其中 SCI 索引收录数	1
		（2）其中 EI 索引收录数	
		（3）其它	
		4、著作（部）	
		5、制订标准数（项）	
		（1）国际标准	
		（2）国家标准	
		（3）行业标准	
		（4）地方标准	
		（5）企业标准	
		（6）科技报告	
	其他成果	1、填补技术空白数	
		（1）国际	
		（2）国家	
		（3）省级	
		2、获奖项数	
		（1）国家奖项	
		（2）部、省奖项	
		（3）地市级奖项	
		3、其他科技成果产出	
		（1）新工艺（或新方法模式）	
		（2）新产品（含农业新品种）	
		（3）新材料	
		（4）新装备（装置）	
		（5）平台/基地/示范点	
		（6）中试线	
		（7）生产线	

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4、研究开发情况	
		(1) 小试	是
		(2) 中试 (样品样机)	是/否
		(3) 小批量	是/否
		(4) 规模化生产	是/否
	人才引育	1、引进高层次人才	
		(1) 博士、博士后	
		(2) 硕士	
		2、培养高层次人才	
		(1) 博士、博士后	
		(2) 硕士	3
		3、培训从事技术创新服务人员 (人次)	
		4、是否设立科研助理岗位	否
	产业化情况	1、开放共享仪器设备数 (台/套/只等)	
		2、科研仪器设备利用率 (%)	
		3、孵化科技型企业 (个)	
		4、转化科技成果 (个)	
效果类指标	经济效益	1、新增产值 (万元)	
		2、新增销售 (万元)	
		3、新增出口创汇 (万美元)	
		4、新增利润 (万元)	
	社会效益	1、新增税收 (万元)	
		2、新增就业人数	
		3、就业培训 (人次)	
		4、带动农民增收 (万元)	
		5、培训和指导科技服务 (人次)	
		6、新增产业带动情况	
		7、技术集成示范 (项)	
		8、建立示范基地 (亩数)	
		9、节约资源能源	
		10、环保效益	
其他需要说明的情况			

八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益

1. 项目预期目标（项目的考核目标）

本项目聚焦西安高铁北站及其周边区域的交通管理痛点，以先进人工智能技术为核心驱动力，构建基于客流和车流供需平衡的交通应急调度系统。具体目标如下：

（1）开发基于 Transformer 的客流预测算法，精准捕捉不同时段、节假日及特殊事件引发的客流变化，攻克客流突变预测难题，为调度决策提供可靠的客流数据支撑。

（2）构建基于图神经网络的车流预测模型，实现对北站周边公交车、出租车等关键车型车流的实时预测，精准刻画交通网络关键节点的时空相关性，为运力供需平衡分析奠定基础。

（3）搭建西安高铁北站客流预测与应急调度系统，确保各模块协同运行，满足实时性、稳定性要求，最终解决北站复杂交通网络下的调度难题，提高交通应急保障能力。

2. 提交的研究成果及其形式

（1）完成基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究工作报告 1 份；

（2）完成基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究报告 1 份；

（3）开发西安高铁北站客流预测与调度系统原型系统一套；

（4）针对关键技术问题，申报 1 项国家发明专利；

（5）参加高水平国际学术会议 2 人次，在核心期刊发表学术论文 1 篇。

3. 经济、社会、环境效益分析

(1) 经济效益

项目的实施将大幅提升西安高铁北站的调度管理能力,显著提升高铁站的运营效率,增加运输能力,进而带来更多的运营收入和利润。同时能够及时响应和处理突发事件,有效减少因事故造成的人员伤亡和财产损失,从而降低高铁北站的运营成本和风险。

(2) 社会效益

项目研究将大幅提升西安高铁北站及其周边公共交通系统的服务水平和运行效率。通过减少交通事故、提高旅客满意度等方式,能够产生显著的社会效益,这些社会效益最终会转化为经济效益,如吸引更多旅客来西安旅游,增加西安旅游收入;通过优化调度减少车辆无效行驶、间接促进社会财富创造等。

九、其它需要说明的问题

无

十、申请单位意见

该项目依托基于西安交通运输应急保障与协同调度平台,针对西安高铁北站的客流和车流预测以及公共交通调度问题开展研究,构建一体化的西安高铁北站客流预测与应急调度系统,提升西安高铁北站的应急调度能力。项目方案设计合理,研究思路清晰,项目组成员具有丰富的理论基础和实际项目经验,能够保障项目顺利实施。本单位将为本项目提供相应的人力和物力支持,严格管理,按时以高标准进项项目验收。



单位负责人: (签字)



2015年12月23日

基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流 预测与调度方法研究大纲评审意见

2026 年 3 月 20 日, 陕西省公路局受陕西省交通运输厅委托在西安主持召开了“基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究”(项目编号:25-75X)项目大纲评审会。与会专家(名单附后)听取了项目组的汇报, 审阅了项目研究大纲, 经质询讨论, 形成如下评审意见。

一、项目研究内容比较全面, 研究目标基本明确, 技术路线可行。

二、项目研究人员组成比较合理, 前期研究基础较扎实, 试验设备齐全, 依托工程落实, 经费预算符合规定, 具备开展研究工作的条件。

三、预期成果基本覆盖研究目标, 与研究内容的逻辑框架契合。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

建议:

- 1.增加对历史数据规律的总结分析。
- 2.进一步优化技术经济指标, 客流与车流指标要有区分。

主任委员 
2026 年 3 月 20 日

基于交通应急调度平台的西安北站客流预测与调度方法研究 (项目编号: 25-75X)

大纲评审专家委员会名单

序号	评审会职务	姓名	工作单位	所学专业	从事专业	职称/职务	签名
1	主任委员	靖勃	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	交通工程	交通工程	正高工	
2	委员	孙楠	西安公路研究院	电子信息	电子信息	正高工	
3	委员	于金良	陕西交控集团	桥梁与隧道工程	桥梁与隧道工程	正高工	
4	委员	季锦章	华设集团	无线电与信息系统	智能交通	研高	
5	委员	顾明臣	交通运输部规划研究院	交通信息化工程	交通信息化工程	正高工	

专家审查意见表

项目名称	基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究				
专家姓名	靖 勃	职务/职称	正高工	专 业	交通工程
专家单位	中交第一公路勘察设计研究院有限公司			联系电话	13991927998

评 审 意 见

一、课题立项需求翔实，前期工作支撑条件较好，研究内容较为齐全、关键技术路线可行。

二、建议课题深度结合现代化综合交通运输体系的‘一网四化’核心要求，进行报告前面内容的完善。

三、主要研究内容中缺少对问题‘（1）多模态客流识别与动态监测问题’的研究。P29 的（1）中对‘高铁到站班次、节假日属性、气象条件、大型活动安排等外部影响因子适配不足、融合度低’的问题，也未见较好反映。

四、建议技术经济指标中对客流和车流的考量有个区分。

五、建议注重对既有数据规律的分析总结，支撑预测的效果。

评审专家（签字）：

2026 年 3 月 20 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

项目名称	基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究				
专家姓名	孙楠	职务/职称	正高工	专业	电气工程
专家单位	西安公路研究院			联系电话	1862938959

评审意见

整体工作内容丰富，目标明确。
 建议：① 增加数据探索内容，提高对数
 据规律的挖掘。
 ② 课题的预测精度建议增加对比，说明
 指标是先进的。

评审专家（签字）：

孙楠

2016年3月20日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

项目名称	基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究				
专家姓名	李金良	职务/职称		专 业	指挥
专家单位	陕西交控集团			联系电话	1389280150

评 审 意 见

- 一、建议加强和国铁西交局对接，通过高铁事出告情先更精准预测客流量。
- 二、考虑西交车站运行后，高铁客流的分流影响。

评审专家（签字）：李金良

2021年 3月 20日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

项目名称	基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究				
专家姓名	顾明臣	职务/职称	正高	专 业	交通信息化工程
专家单位	交通运输部规划研究院			联系电话	13910897715

评 审 意 见

- 1. 大纲总体方案合理、可行，同意按照此大纲推进相关研究工作。
- 2. 客流预测结果与应急调度执行环节之间的技术路线不够清晰建议适当细化；相对而言应急调度的研究内容较浅，将会直接影响研究成果实际应用成效，建议进一步优化完善。

评审专家（签字）：

2026 年 3 月 20 日
(本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸)

专家审查意见表

项目名称	25-75X 基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究				
专家姓名	季锦章	职务/职称	专业总工/研高	专 业	智能交通
专家单位	华设设计集团股份有限公司			联系电话	13601465599

评 审 意 见

- 1、 要切题，要突出基于交通应急调度平台进行客流预测与调度的内容。
- 2、 调度范围不能仅局限于枢纽区域，应在影响区域范围内，基于更多交通方式进行调度。
- 3、 后续考虑基于 12306 数据开展高铁站客流预测，并基于预测客流研究高效的车辆调度方法。

评审专家（签字）：

2026 年 3 月 20 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家意见处理表

项目名称：基于交通应急调度平台的西安高铁北站客流预测与调度方法研究（项目编号：25-75X）

序号	姓名	建议内容	处理意见 (逐条回应, 详细说明修改情况)
1	靖勃	一、课题立项需求翔实, 前期工作支撑条件较好, 研究内容较为齐全、关键技术路线可行。 二、建议课题深度结合现代化综合交通运输体系的‘一网四化’核心需求, 进行报告前面内容的完善。 三、主要研究内容中缺少对问题‘(1) 多模态客流与动态监测问题’的研究。P29 的(1) 中对‘高铁到站班次、节假日属性、气象条件、大型活动安排等外部影响因素适配不足、融合度低’的问题, 也未见较好反映。 四、建议技术经济指标中对客流和车辆的考量有个区分。 五、建议注重对既有数据规律的分析总结, 支撑预测的效果。	1. 增加了‘一网四化’相关内容。 2. 目前客流监测主要基于出入口的图像进行识别, 待本项目依托工程取得高铁北站车站口闸机数据后, 可实现多模态客流监测。 3. ‘高铁到站班次、节假日属性、气象条件、大型活动安排等外部影响因素适配不足、融合度低’的问题导致现有客流预测效果低, 本项目基于 Transformer 进行客流预测, 能够提升对突发客流预测的准确性。 4. 修改了客流预测的指标为“客流预测精度优于传统预测模型, 平均预测精度大于 95%; 在节假日及特殊事件场景下预测误差保持在±10%以内。” 5. 其他问题已修改完善。

2	孙楠	整体工作内容丰富、目标明确。 建议： (1) 增加数据探索内容，提高对数据规律的挖掘。 (2) 课题的预测精度建议增加对比，说明指标是先进的。	1. 客流和交通流具有周期性规律，通过对历史数据的学习，可以挖掘数据之间内在的规律，本项目模型通过历史数据的不断迭代学习，挖掘数据之间的规律。 2. 课题的客流预测精度已经修改为“客流预测精度优于传统预测模型，平均预测精度大于95%；在节假日及特殊事件场景下预测误差保持在±10%以内。” 车流预测精度要优于传统预测模型。	1. 客流和交通流具有周期性规律，通过对历史数据的学习，可以挖掘数据之间内在的规律，本项目模型通过历史数据的不断迭代学习，挖掘数据之间的规律。 2. 课题的客流预测精度已经修改为“客流预测精度优于传统预测模型，平均预测精度大于95%；在节假日及特殊事件场景下预测误差保持在±10%以内。” 车流预测精度要优于传统预测模型。
3	于金良	一、建议加强和国铁西安局对接，通过高铁票出售情况更精准预测客流量。 二、考虑西安车站运行后，高铁客流的分流影响。	1. 已将相关建议反馈给依托工程，目前铁路系统属于独立系统，对接难度较大，待依托工程实现与国铁西安局对接后，本项目在客流监测中将融合高铁票出售情况，提供客流预测的准确性。 2. 本项目的客流预测基于历史客流数据，当西安车站运行对高铁北站客流的分流后，模型会重新学习西安北站的客流数据，保证能够适应高铁北站的客流变化情况。	1. 已将相关建议反馈给依托工程，目前铁路系统属于独立系统，对接难度较大，待依托工程实现与国铁西安局对接后，本项目在客流监测中将融合高铁票出售情况，提供客流预测的准确性。 2. 本项目的客流预测基于历史客流数据，当西安车站运行对高铁北站客流的分流后，模型会重新学习西安北站的客流数据，保证能够适应高铁北站的客流变化情况。

4	季锦章	1、要切题，要突出基于交通应急调度平台进行客流预测与调度的内容。 2、调度范围不能仅局限于枢纽区域，应在影响区域范围内，基于更多交通方式进行调度。 3、后续考虑基于 12306 数据开展高铁站客流预测，并基于预测客流研究高效的车辆调度方法。	1. 修改完成了相关内容，强调了依托工程的应用基础。 2. 本项目主要基于西安高铁北站的客流和调度开展研究，调度方式取决于交通应急调度平台的调度能力，目前，基于西安市交通运输局的工作职责，该平台主要调度公交车和出租车。 3. 目前没有 12306 的数据，由于本项目资金有限，需要等到依托工程取得 12306 数据后，才能开展基于 12306 数据开展高铁站客流预测。
5	顾明臣	1. 大纲总体方案合理、可行，同意按照此大纲推进相关工作。 2. 客流预测结果与应急调度执行环节之间的技术路线不够清晰，建议适当细化；相对而言应急调度的研究内容交浅，将会直接影响研究成果实际应用成效，建议进一步优化完善。	1. 目前客流预测和调度不是自动的，调度是基于客流预测的结果生成调度方案，由于人工具体来实时调度。 2. 对应急调度的其他内容进行了修改完善。

项目负责人（签字）：

薛建强