

城市交通拥堵微整治研究

——以南京市胜太东路改造工程为例

黄德军

南京紫城工程设计有限公司

摘要:城市交通拥堵日益加剧,已成为城市可持续发展的重要制约因素。本文以南京市胜太东路改造工程为例,通过数据采集分析交通运行环境和交通拥堵的主要特征,采用故障树分析法分析交通拥堵成因及其形成机理,并基于小微堵点微改造思路从交叉口渠化、车道分配、信号协调控制、停车管理等方面提出交通拥堵控制措施,以最小的改造工程消除或缓解交通拥堵问题,改善方案经仿真评价显示交通拥堵改善效果显著,为城市交通拥堵治理提供了经验和思路。

关键词:交通拥堵;拥堵成因;故障树;优化设计;仿真分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.11.073

引言

交通拥堵是指在某一特定的时空环境条件下,由于交通需求和供给产生矛盾或受交通事件影响而引起的交通滞留现象。随着我国城市化进程的推进,汽车出行需求快速增长,城市交通压力越来越大,城市交通拥堵问题严重制约城市的可持续发展^[1-3]。

城市交通拥堵问题给社会经济带来了巨大的负面影响,研究交通拥堵的形成机理和缓解策略可以有效提高道路服务能力,保障交通系统高效运行,为道路设计和交通管理提供思路。

一、国内外研究现状

城市交通系统是一个复杂的系统,在交通拥堵方面,国内外学者从其形成原因、评价指标、拥堵程度、控制策略等方面进行了相关研究。关于交通拥堵成因,张仁^[4]认为交通需求与道路资源不匹配、交通结构与交通需求不匹配、城市道路系统功能不匹配是造成交通拥堵的主要原因。王潇等^[5]采用故障树理论以北京市广安路为例分析了交通拥堵的原因,最终确定公共汽车站及线路设置不合理、车道被占是导致交通拥堵的显著致因。Downs^[6]提出出行时间集中、私家车保有量增加、人口增长和交通事故等意外情况的发生是交通拥堵的四个因素。另外,梨符忠^[7]建立了交叉口指标、路段指标以及区域指标等因素的城市道路交通拥堵评价体系,并通过实例表明其评价体系的有效性。Janecek A^[8]等提出了一种从移动蜂窝网络收集的匿名信令数据的方法来推断公路上的车辆行驶时间,并实时检测道路拥堵。诸云^[1]提出基于聚类分析的交叉口智能信号控制方法来合理分配交叉口通行路权,提高交叉口通行效率。曹莉^[3]对道路机动车道展宽提出了建议,认为交叉口进口道设置公交停靠站时应对机动车道展宽。近几年,我国对于交通拥堵整治践行城市更新“留改拆”政策,以保留利用提升为主,对道路拥堵路段及拥堵点进行微改造,从而实

现道路通行能力及服务水平的提升^[9]。

二、交通拥堵成因分析方法

准确找到交通拥堵产生的原因是合理提出交通拥堵解决策略的前提。目前,国内外对交通拥堵成因分析方面往往是对经验的归纳总结,或者通过分析交通流特性间接推导拥堵原因,在交通拥堵成因分析方面尚不完善,本文采用故障树分析法分析交通拥堵原因^[5],为交通拥堵成因分析提供更多解决方案。

故障树分析,简称FTA(Fault Tree Analysis),由美国贝尔实验室提出,是可靠性工程中的重要组成部分,是进行可靠性分析的有力工具,在国内外系统级EMP易损性评估中多有应用^[10-11]。

故障树分析是以一个不希望发生的故障事件即顶事件作为分析对象,通过由上向下的严格按层次的故障因果逻辑分析,逐层找出故障事件的必要而充分的直接原因。通过故障树模型,找出导致顶事件发生的所有可能原因及原因组合,在有基础数据时可计算出顶事件发生的概率和底事件的重要度。

三、实例分析

本文以南京市胜太东路(双龙大道-庄排路)段交通拥堵整治为例,通过现场调查获取研究数据,利用故障树法分析该路段交通拥堵的原因,基于理论和文献资料结合实际情况提出拥堵改善措施,并利用vissim仿真模拟对改善措施进行评价。



图1 改造路段整体布局

(一) 改造路段交通环境分析

胜太东路位于南京市江宁区百家湖片区,规划为东西向城市主干路,是连接百家湖片区和东山片区的重要跨河道路,沿线以居住、商业及办公用地为主,土地开发强度高,交通生成和吸引量大,是兼具交通性和生活性功能的道路,其沿线多个节点交通压力大,早晚高峰时段拥堵严重。

胜太东路（双龙大道-庄排路）段共设4个交叉口，其中3个为有信号控制交叉口，道路宽度28m，断面形式为“双向6车道+两侧非机动车道+两侧路边停车带”，道路设置中央隔离护栏和机非隔离护栏，400m范围内共设3处中央隔离护栏开口和6处两侧隔离护栏开口，开口范围大。另外，改造路段沿线设置1对直停式公交停靠站，1处地铁站。

（二）拥堵问题及成因分析

通过对胜太东路的现状设施、交通状况调查及交通量统计，发现道路各个节点存在不同的交通问题，主要表现为交叉口交通拥堵及混乱、路段车辆运行效率低。

1. 交叉口

城市道路交叉口通常易成为道路的瓶颈路段，车辆在行驶至交叉口时通常出现行驶缓慢或停车等待的情况，影响整个交通流的连续性。

本次研究路段包含了有信号控制交叉口和无信号控制交叉口两种交叉口形式，对于有信号控制交叉口，从现状交通调查可以发现早晚高峰期交叉口拥堵现象明显，尤其胜太东路-双龙大道交叉口东侧进口道及北侧进口道拥堵严重，大部分机动车出现2次停车或3次停车的情况，非机动车交通量大，停车占用交叉口面积，影响机动车通行。表1和表2是对早高峰时间段胜太东路-双龙大道交叉口交通量及交叉口东侧进口道停车延误、

排队长度的统计数据，根据国内对大中城市交叉口服务水平评判依据（表3），从停车延误、排队长度判定，该进口道右转车道为非常拥堵，直行车道分别为非常拥堵和拥堵，左转车道为稍有延误。

另外，胜太东路与严南路交叉口无信号控制，交叉口行车混乱，通行效率低，行车安全性差。

2. 路段

根据现场观察，发现本次研究路段由东向西方向拥堵明显严重，除交叉口处，拥堵主要发生在公交车停靠站、机动车停车位、非机动车道、外侧机动车道等位置。另外，本次研究测量了该路段上车辆的区间平均速度，测量结果显示双龙大道至庄排路路段（含双龙大道和庄排路交叉口）平均车速约为20km/h，主要受交叉口信号控制、公交车进站停靠、机动车靠边停车、非机动车无序行驶等影响，车辆行驶缓慢且车辆停滞时有发生，根据我国大中城市道路路段平均速度评判等级参考值（表4）对主干路的规定，胜太东路路段拥堵等级为“拥堵”，且东向西方向拥堵程度高于西向东方向。

基于以上胜太东路交通拥堵问题分析，结合道路条件和交通特性，应用故障树分析法对造成该道路交通拥堵的成因进行分析。本次交通拥堵故障树模型（图2）主要从道路条件、车辆因素、非机动车和行人因素、公共交通系统四个方面构建。根据该模型利用下行法求

表1 胜太东路与双龙大道交叉口早高峰小时交通量统计

	机动车（标准车/小时）			非机动车（辆/小时）			行人过街（人/小时）
	右转	直行	左转	右转	直行	左转	
东进口道	424	624	208	276	1128	296	140
西进口道	52	276	220	52	396	108	276
南进口道	84	204	584	64	964	648	280
北进口道	276	148	468	36	1028	312	420

表2 胜太东路与双龙大道交叉口东进口道早高峰小时停车延误及排队长度

	右转	直行	左转
平均停车延误（s）	175	115	36
平均排队长度（m）	162	96	53

表3 我国大中城市交叉口服务水平评判依据^[1]

评判指标	一级	二级	三级	四级	五级
	畅通	稍有延误	可接受的延误	拥堵	非常拥堵
平均停车延误（s）	<30	[30, 40)	[40, 50)	[50, 60)	>60
排队长度（m）	<30	[30, 60)	[60, 80)	[80, 100)	>100

表4 我国大中城市道路路段平均速度评判等级参考值^[1]

评判指标	一级	二级	三级	四级	五级
	畅通	稍有延误	可接受的延误	拥堵	非常拥堵
快速路（km/h）	>65	(50, 65]	(35, 50]	(20, 35]	≤20
主干路（km/h）	>45	(35, 45]	(25, 35]	(15, 25]	≤15
次干路（km/h）	>35	(25, 35]	(15, 25]	(10, 15]	≤10
支路（km/h）	>30	(20, 30]	(10, 20]	(5, 10]	≤5

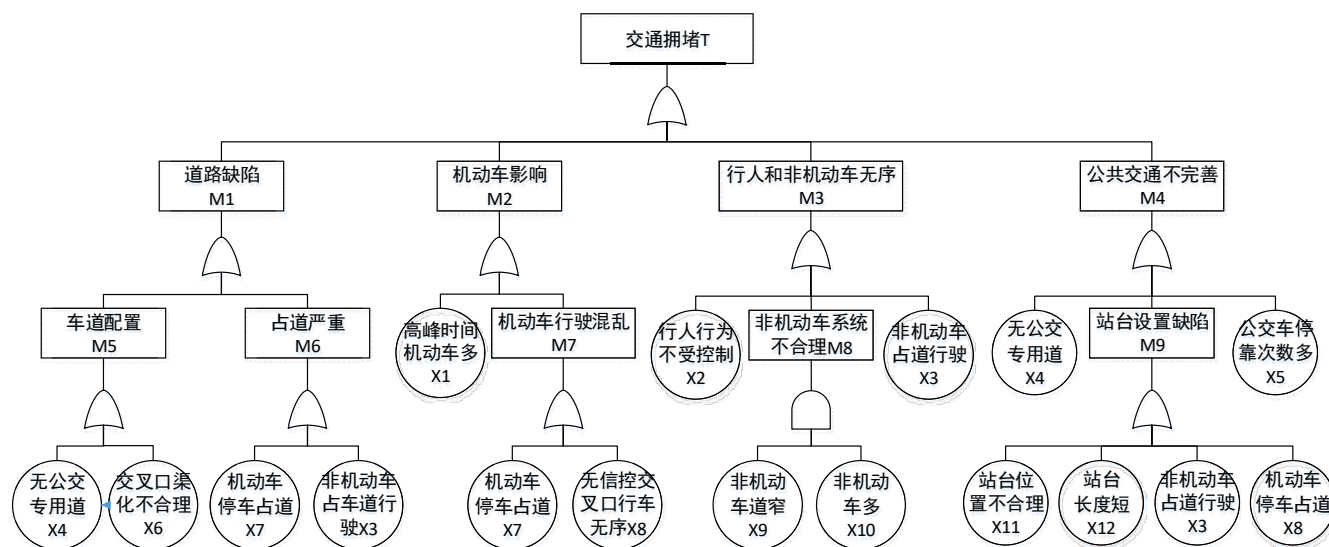


图2 胜太东路交通拥堵故障树

得拥堵故障树的最小割集为{X1}, {X2}, {X3}, {X4}, {X5}, {X6}, {X7}, {X8}, {X9, X10}, {X11}, 经分析导致胜太西路交通拥堵的直接原因是：(1) 高峰时间机动车多；(2) 行人行为不受控制；(3) 非机动车占道行驶；(4) 无公交车专用道；(5) 公交车停靠次数多；(6) 交叉口渠化不合理；(7) 机动车停车占道；(8) 无信控交叉口行车无序；(9) 非机动车道窄而非机动车多；(10) 公交站台位置不合理；(11) 公交站台长度短。上述原因中任何一个发生都可能导致交通拥堵，若上述事件全部发生交通拥堵必然发生。

依据故障树模型定性分析得到的交通拥堵直接原因，并结合现场实际对胜太东路交通拥堵做进一步分析，可以得到以下结论：1) 造成胜太东路-双龙大道交叉口东侧进口道右转车道拥堵的主要原因是高峰时间段右转车辆多、交叉口右转车道数量少且渠化长度短、行人和非机动车占用机动车道等红灯。而直行车道被停车等待的右转车辆占道导致直行车辆行车受阻，加剧该交叉口拥堵。拥堵车辆排队长度越过严柳路交叉口，与严柳路不受信号控制的右转车辆无序交汇，造成交通混乱，扩大拥堵范围。2) 胜太东路-严南路交叉口无信号控制，机动车、非机动车、行人无序进入交叉口造成交通混乱和交通拥堵。3) 胜太东路改造段全线两侧设置路内停车，停车位位于非机动车道外侧，根据统计，路段全线机动车停车位与非机动车道之间共有17个冲突点，从拥堵原因分析可以看到机动车停车占用非机动车道造成非机动车行车不连续，大量非机动车滞留或占机动车道行驶从而引起路段的交通拥堵。4) 胜太东路改造段沿线设置1对直停式公交停靠站，公交车停靠约36次/h，未设置公交专用道、站台位置不合理、站台长度短、公交车停靠次数多、大量非机动车行驶（高峰小时路过公交车站的非机动车为1800辆/h）及机动车停车占公交停靠站站前车道等是造成该节点交通拥堵的主要原因。

(三) 改善方案及效果分析

依据上文胜太东路交通拥堵现状及拥堵原因的分析结果，并结合交通拥堵治理的相关理论和项目经验，同时秉承小微堵点轻量化改造的理念，提出胜太东路各节点交通拥堵改善方案，以达到改善交通秩序、缓解交通拥堵、提升慢性交通品质的目的，改善方案主要包括以下内容：

(1) 改造路段全长约450m范围内共设有4个交叉口，交叉口间距较近，因此将与严南路交叉口调整为信号控制交叉口；在与严柳路交叉口补充严柳路右转信号控制，规范车辆及行人通行；同时将改造路段由东向西方向设置为绿波协调控制，保证该路段车辆高效通行。

(2) 与双龙大道交叉口东进口道进行渠化展宽，增加一个车道，将直右车道调整为单独直行和右转，同时将展宽段由40m延长至100m，调整后进口道总体蓄车能力提升至1.5倍，右转车道蓄车能力提升至4倍。

(3) 与严柳路交叉口东进口道进行渠化展宽，增加两个直行车道，调整后可进一步增加双龙大道交叉口东进口道供车辆排队等待的车道长度。

(4) 与严南路交叉口东、西进口道分别增加一个车道，单独设置左转掉头/掉头车道，减少转弯掉头车与直行车道的相互干扰。

(5) 取消双龙大道至严南路路段部分路内停车位，降低对机动车和非机动车的行车干扰，同时为道路拓宽提供空间。

(6) 利用两侧开阔的人行道空间做渠化展宽，将直停式公交停靠站调整为港湾式公交停靠站，降低公交车进站停靠对主线交通流的影响。

(7) 设置连续的机非隔离护栏，将非机动车道外置于公交停靠站，保障非机动车行车安全、连续、舒适，降低非机动车行车对机动车交通的影响，减少非机动车通行与公交车进站停靠的相互干扰。

根据改善方案，采用vissim仿真软件对胜太东路改

表5 早高峰改造前后对比

行车方向	平均停车延误 (s)		平均停车次数		路段平均速度 (km/h)	
	改善前	改善后	改善前	改善后	改善前	改善后
东-西	115.6	32.4	2.33	0.65	20.6	29.9
西-东	83.4	63.4	1.76	1.65	20.1	21.2
东-北	175.2	20.5	3.01	0.48	15.3	37.8
北-东	111.3	90.9	2.33	2.17	18.8	20.2



图3 优化路段仿真设计

造结果进行仿真分析,用平均停车延误、平均停车次数、路段平均速度评价指标评价改善方案优化效果。路段改造前后早高峰时间段不同行车方向的各项评价指标如表5所示。

由仿真结果可知,改造优化后的胜太东路平均停车延误、平均停车次数都有明显改善,路段平均行车速度也有较大提高。东-西、东-北行车方向改善优于西-东行车方向,绿波协调控制措施效果明显。东-北行车方向改善效果最为突出,可见胜太东路-双龙大道交叉口东侧进口道延长展宽段长度并设置2条右转专用车道有效缓解了右转车辆拥堵问题。

四、结论

本文以南京市胜太东路交通拥堵为研究对象,通过分析该道路交通环境、拥堵现状、拥堵原因等,提出交通拥堵改善措施。根据观察和分析,研究路段交通拥堵时间特征和空间特征明显,拥堵主要发生在早晚高峰时间,交叉口以及行人、非机动车、机动车混行路段交通拥堵更为明显。通过故障树分析交通拥堵成因,发现高峰时间车辆多、交叉口设计及车道分配不合理、行人和车辆出行无序、公共交通系统不完善等是造成交通拥堵的主要原因。基于以上分析,针对本次研究路段交通现状,提出交通拥堵改善措施,主要包括交叉口渠化优化设计、信号协调控制、合理分配各交通主体运行空间、完善路内停车设置等,并对优化方案进行仿真评价,结果显示,交通拥堵改造效果显著。

参考文献

[1] 诸云.城市道路交通拥堵态势评估建模技术及优化方法研究[D].南京:南京理工大学,2018.
 [2] 顾金刚,付强,胡建伟.基于排队时间指数的信号控制路口交通拥堵评价方法[J].交通信息与安全,2020,38(6):80-86.
 [3] 曹莉.城市道路拥堵路段的微改造研究[J].科技与创新,2021,(21):40-41.
 [4] 张仁.城市道路交通拥堵的主要原因及缓解的基

本方法[C].第七次城市道路与交通工程学术交流会议,北京,2002.

[5] 王潇,王武宏,毛琰等.大城市交通拥堵致因的故障树分析[J].交通信息与安全,2012,30(2):127-130.

[6] Downs A.Can Traffic Congestion Be Cured[J].The Washington Post,2006(4):955-974.

[7] 黎符忠.基于灰色关联模型的城市道路交通拥堵评价研究[J].城市与建筑,2018,17(5):38-40.

[8] JanecekA, ValerioD, Hummel K A, et al.The cellular Network as a Sensor: From Mobile Phone Date to Real-Time Road Traffic Monitoring[J].IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems,2015,16(5):2551-2572.

[9] 王俊.城市道路拥堵路段的微改造研究[J].科技资讯,2022,(5):49-51.

[10] 蔡佳昆,宋海平.多种故障树求解方法的测试与分析[J].强度与环境,2004,31(2):33-39.

[11] 陈岳承,刘树中,卢治刚.基于故障树模型的电台电磁损伤评估方法[J].现代电子技术,2022,45(13):165-168.

[12] 何方焱,朱再兵,方静.故障树分析法在船舶主机燃油系统故障诊断中的应用[J].中国水运,2022,22(8):61-63.

[13] 郝轶,李文刚.城市道路拥堵因素分析及对策研究[J].公路交通科技(应用技术版),2017,(6):325-327.

[14] 苗壮,杨婧.路边停车对路段交通流延误影响研究[J].交通科技,2015,(1):155-156.

[15] 梁军,李旭宏,于洪君等.路边停车对路段交通流的影响研究[J].公路交通科技,2003(2)85-87,95.