

# 道路网络结构与城市交通拥堵形成机理的关联性研究

赵程鹏

622301\*\*\*\*\*353X

**摘要:** 城市化进程加速使城市交通拥堵成为制约高质量发展的关键瓶颈。道路网络作为交通运行的核心载体,其结构特征直接关联交通流分布效率与运行状态,进而影响交通拥堵的形成与演化。本文立足城市交通系统复杂性,聚焦道路网络结构核心维度,解析交通拥堵形成机理,探究两者内在关联。通过梳理道路网络结构表征指标,明确拥堵多阶段演化规律,揭示网络结构对拥堵的驱动路径与制约因素,为道路网络规划优化及拥堵缓解提供理论支撑与实践思路。

**关键词:** 道路网络结构; 交通拥堵; 形成机理; 关联性; 城市交通优化

**DOI:** 10.64216/3104-9664.25.03.044

## 引言

城市化与机动化协同发展推动交通需求持续增长,交通拥堵问题日益突出。这一问题不仅降低居民出行效率、增加出行成本,还加剧能源消耗与环境压力,制约城市功能高效发挥。道路网络作为交通系统的骨架,其拓扑结构、等级配置、连通性等特征直接决定交通流组织模式与运行效率,是影响拥堵形成与演化的关键因素。

## 1 道路网络结构核心表征与解析

### 1.1 核心维度划分

道路网络结构的核心维度划分是解析其特征与功能的基础。从交通运行的实际需求出发,可将其划分为拓扑结构维度、等级配置维度与连通性维度。拓扑结构维度聚焦道路网络的空间布局形态,反映路网节点与路段的连接关系,是决定交通流分布基础形态的关键。等级配置维度主要关注不同等级道路的构成比例与衔接方式,不同等级道路承担的通行功能存在差异,其配置合理性直接影响路网的通行效率。连通性维度则侧重路网节点之间的可达性程度,体现路网保障出行需求的基础能力。

### 1.2 关键量化指标

道路网络结构的关键量化指标是实现其特征精准描述的重要工具。在拓扑结构维度,常用的指标包括节点度数、网络密度与平均路径长度等。节点度数反映路网节点的连接数量,直接关节点的交通集散能力;网络密度体现单位面积内道路的分布强度,影响区域交通的可达性水平;平均路径长度则表征路网中任意两节点之间的平均通行距离,与出行效率密切相关。在等级配置维度,主要通过高等级道路占比、不同等级道路衔接

系数等指标进行量化,这些指标能够直观反映路网等级结构的合理性。

### 1.3 不同城市形态下结构差异

不同城市形态下的道路网络结构存在显著差异,这一差异源于城市发展历程、自然地理条件与规划理念的不同。在紧凑式城市形态中,城市布局相对集中,道路网络多呈现方格式结构,路网密度较高,节点连通性较强,高等级道路与低等级道路的衔接较为紧密,能够较好地适配集中式的出行需求。在蔓延式城市形态中,城市空间不断向外扩张,道路网络多以放射状或环形放射状为主,路网密度相对较低,外围区域与核心区域的道路衔接存在不足,容易导致交通流向核心区域过度集中。

## 2 城市交通拥堵形成机理与演化规律

### 2.1 核心触发因素

城市交通拥堵的形成是多种因素共同作用的结果,其中核心触发因素可分为需求侧因素与供给侧因素。需求侧因素主要表现为交通需求的过度增长与时空分布不均衡。城市化进程中,城市人口与机动车保有量持续增加,导致交通需求总量不断攀升;同时,通勤出行的潮汐性特征使得早晚高峰时段交通需求高度集中,远超路网的通行承载能力。供给侧因素则包括道路网络供给不足与设施配置不合理。部分城市路网规划滞后于交通需求增长,道路总里程与通行能力无法满足实际出行需求。

### 2.2 多阶段演化过程

城市交通拥堵的形成与发展呈现出明显的多阶段演化过程。第一阶段为自由流阶段,此时路网内交通流

量较小,车辆行驶速度稳定,交通流处于有序运行状态,不存在拥堵现象。第二阶段为临界流阶段,随着交通流量逐渐增加,车辆行驶速度开始出现小幅波动,部分路段出现短暂的通行缓慢,交通流的稳定性有所下降,但尚未形成实质性拥堵。第三阶段为拥堵形成阶段,交通流量继续增长并超过路网临界承载能力,车辆行驶速度大幅降低,车辆排队现象明显,拥堵开始在局部路段形成。第四阶段为拥堵扩散阶段,局部路段的拥堵会通过交通流的传导逐渐向周边路段蔓延,形成区域性拥堵,此时路网的整体通行效率严重下降,拥堵状态持续时间较长。

### 2.3 空间传导路径

交通拥堵的空间传导路径具有显著的规律性,主要呈现出点一线一面的扩散特征。拥堵首先在关键节点形成,这些节点多为道路交叉口、交通枢纽等交通流量高度集中的区域,节点处的通行瓶颈导致车辆排队,形成拥堵点。随后,拥堵点会沿着路段向两端延伸,形成拥堵线,此时拥堵从单一节点扩散到路段层面,影响范围进一步扩大。当多条拥堵线相互连接,或者拥堵线向周边路网蔓延时,就会形成区域性的拥堵面,此时拥堵不再局限于单一路段或节点,而是扩散到整个区域路网。

## 3 道路网络结构与交通拥堵形成的关联逻辑

### 3.1 网络连通性的基础影响

道路网络连通性是影响交通拥堵形成的基础因素,其对拥堵的影响主要体现在通行效率与拥堵扩散两个方面。高连通性的路网能够为交通流提供更多的通行路径选择,有效分散集中的交通流量,减少单一路段的通行压力,从而降低拥堵形成的概率。反之,连通性较差的路网中,交通流的通行路径相对单一,一旦某一路段或节点出现通行障碍,就容易导致交通流堵塞,且难以通过其他路径分流,进而加速拥堵的形成。

### 3.2 等级配置的耦合关系

道路等级配置与拥堵分布之间存在密切的耦合关系,合理的等级配置能够实现交通流的有序分流,减少拥堵的形成与扩散。高等级道路主要承担长距离、大容量的通行需求,低等级道路则负责短距离、分散性的出行接驳,两者的合理配比与顺畅衔接是保障路网高效运行的关键。若高等级道路占比过高,而低等级道路配套不足,会导致出行接驳不畅,高等级道路出入口容易形成拥堵瓶颈;若低等级道路密度过大,而高等级道路承载能力不足,则无法有效疏解长距离交通流,导致区域

路网整体通行效率下降。不同等级道路的衔接方式也会影响拥堵分布,衔接顺畅的路网能够实现交通流的平稳过渡,减少拥堵节点的形成;衔接不合理则会诱发局部拥堵。

### 3.3 拓扑结构的调控作用

道路网络拓扑结构对交通拥堵的演化具有显著的调控作用,不同拓扑结构的路网在拥堵应对能力上存在明显差异。方格式拓扑结构的路网,节点连接均匀,交通流分散性较好,能够在一定程度上缓解局部拥堵,但当交通流量过大时,容易出现全域性的低速通行。放射状拓扑结构的路网,能够快速连接城市核心区域与外围区域,提高核心区域的可达性,但容易导致交通流向核心区域过度集中,加剧核心区域的拥堵程度。环形放射状拓扑结构结合了方格网与放射状的优势,通过环形道路分流核心区域的交通流量,减少放射状道路的通行压力,对拥堵演化具有较好的调控效果。

## 4 道路网络结构影响交通拥堵的驱动与制约

### 4.1 供需匹配视角下驱动路径

从供需匹配视角来看,道路网络结构通过影响路网供给能力与供给效率,形成影响交通拥堵的驱动路径。当道路网络结构合理,路网供给能力与交通需求相匹配时,能够实现交通流的高效运行,减少拥堵的形成。其驱动路径主要表现为:合理的路网拓扑结构与等级配置能够提高路网的通行容量,增加交通供给总量;良好的连通性能够优化交通流的分布,提高供给效率,使路网供给更好地适配交通需求的时空分布特征。反之,当道路网络结构不合理,路网供给与交通需求不匹配时,会通过两条路径驱动拥堵形成:一是供给总量不足,无法满足交通需求增长,直接导致拥堵;二是供给效率低下,交通流分布不均衡,局部区域供给过剩而核心区域供给不足,诱发局部拥堵并逐渐扩散。

### 4.2 交通流组织层面制约因素

在交通流组织层面,道路网络结构通过影响交通流的运行状态,形成制约拥堵缓解的关键因素。路网节点设计不合理是重要的制约因素之一,如交叉口渠化不足、转向车道设置不合理等,会导致车辆通行秩序混乱,降低节点的通行效率,形成拥堵瓶颈。道路网络的连续性不足也会制约交通流组织,部分路段存在断链、瓶颈路段等问题,导致交通流运行中断,诱发拥堵。不同等级道路的衔接不畅会影响交通流的平稳过渡,高等级道路的交通流无法快速、顺畅地分流到低等级道路,或者低

等级道路的交通流无法高效汇入高等级道路,都会导致交通流拥堵。这些结构层面的制约因素,直接影响交通流组织的有效性,增加了拥堵缓解的难度。

### 4.3 时空异质下差异机制

在时空异质性背景下,道路网络结构对交通拥堵的影响呈现出明显的差异机制。从时间维度来看,不同时段交通需求特征不同,道路网络结构的影响效果也存在差异。高峰时段交通需求集中,路网连通性与等级配置的合理性对拥堵形成的影响更为显著,连通性差、等级配置不合理的路网会快速形成拥堵;平峰时段交通需求较小,路网结构的影响相对弱化,拥堵形成概率较低。从空间维度来看,城市核心区域与外围区域的路网结构影响存在差异。核心区域路网密度高、交通流量大,拓扑结构与节点设计对拥堵的影响更为关键;外围区域路网密度低、交通流量相对较小,道路连通性与区域间衔接道路的配置对拥堵的影响更为突出。这种时空异质下的差异机制,使得道路网络结构对拥堵的影响呈现出复杂的特征。

## 5 基于关联性的道路网络优化思路

### 5.1 优化原则

基于道路网络结构与交通拥堵的关联性,拥堵导向型道路网络结构优化应遵循三大核心原则。一是供需适配原则,优化需以交通需求为导向,根据不同区域、不同时段交通需求特征,调整路网结构与通行能力,实现路网供给与交通需求的动态匹配。二是层级协同原则,注重不同等级道路之间的协同衔接,明确各等级道路的功能定位,优化高、低等级道路的配比与衔接方式,实现交通流的有序分流。三是区域统筹原则,优化不能局限于局部路段或节点,而应统筹城市全域路网,兼顾核心区域与外围区域、不同功能组团之间的路网衔接,提升路网的整体运行效率。还应注重路网的可持续性,结合城市发展规划,实现路网优化与城市发展的协同推进。

### 5.2 核心指标调整策略

针对道路网络结构的核心量化指标,应采取针对性的调整策略以缓解交通拥堵。在路网密度指标方面,应根据城市不同区域的功能定位调整密度,核心区域适当提高低等级道路密度,增强出行接驳能力;外围区域合理控制路网密度,避免资源浪费。在连通性指标方面,应着力提升路网的连通度与可达性指数,通过打通断头路、优化道路交叉口等方式,增加路网节点的连接数量,拓宽交通流的通行路径。在等级配置指标方面,应优化

高等级道路占比,减少核心区域高等级道路的出入口数量,避免交通流过度集中;同时,加强高、低等级道路的衔接设计,提高衔接系数,实现交通流的平稳过渡。通过核心指标的精准调整,全面提升路网结构的合理性。

### 5.3 协同适配路径

实现道路网络结构与交通需求的协同适配,需要构建多维度的适配路径。首先,应建立交通需求动态监测机制,通过大数据技术实时掌握不同区域、不同时段交通需求变化特征,为路网结构优化提供数据支撑。其次,结合城市空间规划,优化路网拓扑结构,根据城市形态特征选择适宜的路网布局模式,如紧凑式城市采用方格网式路网,组团式城市加强组团间连接道路建设。再次,推行差异化的路网优化策略,针对高峰时段的潮汐式交通需求,优化道路通行方向配置;针对不同区域的需求差异,调整路网供给能力。最后,加强路网与公共交通系统的协同适配,优化公交专用道网络与路网的衔接,提升公共交通的吸引力,减少私人机动车出行需求,缓解路网通行压力。

## 6 结论

本文围绕道路网络结构与城市交通拥堵形成机理的关联性展开研究,系统梳理了道路网络结构的核心表征维度与量化指标,解析了交通拥堵的形成机理、多阶段演化过程与空间传导路径。研究发现,道路网络结构与交通拥堵形成存在密切的内在关联,网络连通性、等级配置与拓扑结构通过不同机制影响拥堵的形成与演化;从供需匹配、交通流组织等视角来看,路网结构通过特定驱动路径影响拥堵,同时也存在诸多制约拥堵缓解的因素,且这种影响在时空异质性背景下呈现出明显差异。

### 参考文献

- [1] 谢庆龙. 城市道路网络优化对交通流量的影响研究[J]. 人民公交, 2024, (20): 35-37.
- [2] 蔡金彪. 面向道路供给结构调整的城市交通网络优化研究[D]. 深圳大学, 2023.
- [3] 宋小冬, 李晓晗, 齐文菲, 等. 城市道路网络拓扑结构对常规公共交通的适宜性评价[J]. 城市规划学刊, 2020, (04): 43-50.
- [4] 田钊. 道路交通网络结构特征分析方法及典型点段优化[D]. 北京交通大学, 2016.
- [5] 赵玲. 城市道路网络结构分析及其对交通流的影响研究[D]. 中南大学, 2013.