

文章编号:1671-8879(2017)02-0089-10

区域高速路网交通事故影响区划分及交通诱导

金书鑫, 王建军, 徐嫚谷

(长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要:为了提升交通事故发生后高速路网对突发事件的应对能力,减少区域路网受交通事故影响的时间,降低交通事故带来的损失,开展交通诱导策略研究。将交通事故的影响范围按点、线、面 3 个层次进行划分,分别利用公路养护施工控制区设置经验及规范要求、交通流理论、路径阻抗计算与行驶时间对比的研究方法,定量确定点、线、面 3 个层次的事故影响区。按诱导分流点、管制诱导点和强制诱导点 3 种级别划分和优选点、线、面事故影响区内的道路节点。以杭金衢(杭州—金华—衢州)高速公路事故为例进行分析,找到区域路网内的各级诱导节点,验证了研究方法的可行性。研究结果表明:在区域高速路网拓扑关系的基础上,结合其交通量、车速、通行能力数据以及交通事故现场状况分析,能快速确定事故影响区范围;采用提出的方法可分层次针对优选路网节点提出交通控制策略,提高了事故处置效率。

关键词:交通工程;交通事故;影响区划分;诱导节点;交通安全;区域高速路网

中图分类号:U491.3

文献标志码:A

Traffic accident affected zone division and traffic guidance under regional highway network

JIN Shu-xin, WANG Jian-jun, XU Man-gu

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to improve the emergency response capacity of highway network after traffic accident happening, reduce the time that regional road network is affected by traffic accident and lower the loss caused by traffic accident, the effective implementation of traffic guidance strategy is very necessary. This paper divided the traffic accident affected zone into three levels including nodes, lines and areas, and applied quantitative method to accident affected areas from nodes, lines and areas level and the method is respectively presented by setting experience and requirements of construction control area of highway maintenance, flow theory, comparison method between path impedance calculation and travel time. The paper divided and optimized the road nodes of traffic affected area from nodes, lines and areas level according to the induced point, the control point and the compulsory point. The induction nodes at all levels in regional road network were found, and the feasibility of the method was verified, based on the analysis on the accident situation of Hangjinq Highway (Hangzhou-Jinhua-Quzhou). The results show that

收稿日期:2016-11-21

基金项目:国家高技术研究发展计划(“八六三”计划)项目(2007AA11Z248);中央高校基本科研业务费专项资金项目(310821153402);中央高校优秀博士学位论文培育项目(310821165021);陕西省交通运输厅交通科技项目(15-26K)

作者简介:金书鑫(1988-),女,内蒙古呼伦贝尔人,工学博士研究生,E-mail:79732588@qq.com。

通讯作者:王建军(1970-),男,陕西乾县人,教授,博士研究生导师,E-mail:wjjun16@163.com。

the accident affected zone can be determined quickly, based on the regional highway network topology, and combined with the traffic volume, vehicle speed, traffic capacity data and analysis on traffic accident scene. The proposed method can put forward the traffic control strategy hierarchically corresponding to the optimized road network nodes. Therefore, the efficiency of the disposal of the accident is improved. 3 tabs, 7 figs, 36 refs.

Key words: traffic engineering; traffic accident; affected zone division; induced node; traffic safety; regional highway network

0 引言

交通事故对区域路网交通造成由点及面的恶劣影响,事故影响范围预测是开展高速公路管控策略和紧急救援的基本理论。目前针对交通事故影响范围的主要研究方法为基于排队论和交通波理论建立起来的模型^[1-2]、流体力学理论^[3]、交通规划模型^[4-5]、元胞传输模型^[6],以及上述 2 种方法的结合运用^[7]等。比较有代表性的研究成果有:郑黎黎等考虑事故参数模糊特性构建事故排队长度和延误预测模型^[8];张晶晶根据路网节点联系强度,用交通流理论建立事故上游车辆绕行计算模型来研究事故直接和间接影响范围^[9];钱刚等基于事故持续时间的划分,运用集散波理论建立了能够描述交通状态传播情形的高速公路事故影响范围模型^[10];Chen 等利用元胞传输模型对大型活动消散过程中交通流时空分布状况进行模拟研究,以确定大型活动下突发事件的交通影响范围,并设计出适合突发事件下的准动态交通分配方法^[6]。此外,现代检测设备的应用也丰富了事故影响范围的研究方法。胡晓健等用检测器获取事故点及上游路段交通量和密度数据,运用冲击波理论计算事故影响范围^[11];张敬木翰等将事故影响范围划分为事故保护区、事故上游进行可变情报板及警示标示提示时的拥堵排队长度、车辆在当前气象能见度和路面状况下的停车视距 3 个部分^[12]。通过物联网技术实现对交通流状态、气象环境、路面结冰、积水状况的实时感知和反馈,结合交通流理论,借助 TransCAD 仿真软件,分析二次交通事故的预警范围。可见,现阶段的研究方法多对事故影响范围做整体划定。

在高速公路交通安全控制措施方面,国外主要集中在匝道控制方面,典型的模型有需求容量模型和线性二次模型、静态线性规划模型、序列模型、动态分析模型以及动态仿真模型。匝道协调控制方面:Stephanedes 等提出了以系统通行时间最小、系统通过量最大或各入口匝道总流量最大等为目标函

数的系统最优协调控制模型^[13];Papageorgiou 等将入口匝道调节率作为控制变量,利用非线性优化算法使交通状态维持在设定值附近,提出含有反馈机制的多变量控制模型,并基于经验和实测数据,总结出启发式匝道协调控制方法^[14-15]。在通道控制方面:Kotsialos 等运用匝道控制与诱导相结合的方法,提出将两者相结合的集成控制策略^[16];Diakaki 等将匝道、诱导及信号控制三者相结合,提出了集成交通响应城市控制策略(IN-TUC 策略),其适用于包括城市道路、高速公路在内的整个区域交通网络^[17]。中国一些学者在国外交通控制研究的基础上将模糊控制、自适应控制引入到匝道控制中来;还有学者针对中国特定国情对交通控制相关模型和参数进行优化,如路网匝道调节率^[18]、启发式 bottleneck 控制方法^[19]、宏观交通流模型^[20]等。智能交通技术方面,高速公路交通控制系统与车路协同技术的应用研究还处于起步阶段,李珣等基于车路协同信息平台,利用威胁度函数建立了多车道元胞自动机协同换道规则模型 STCA-T。非常态交通信息监测、预报与管理平台以及紧急疏散模型和仿真模拟平台的建立并没有完全步入应用阶段^[21]。中国于 2015 年颁布了《雾天高速公路交通安全控制条件》(GB/T 1445—2015),规定了雾天高速公路交通控制等级、封闭条件和安全控制措施^[22]。许多学者利用非线性双层规划模型,以通行能力为约束,将主路交通流密度限制在临界密度的负邻域内,从系统最优、用户平衡的角度进行系统静态优化,应对突发事件与交通流的实时变化。王晓飞利用交通守恒、特性曲线和波动理论确定事发单元上游影响范围,将灾变事件类型和等级、交通流状况、运营安全可靠、行车风险及行程时间等因素作为路网安全管理决策的依据,其中诱导起点、诱导终点和迂回点的确定为交通诱导策略的实施奠定了基础^[23];王建军等针对不同事故影响区分别建立相应的交通组织预案^[24-27];顾金亮利用基于交通拥堵指数的交通拥挤判别算法和基于交通监测器识别交通流参数的高速

公路交通事件自动检测算法,对区域高速公路网的交通运行状态进行判别,实行应急交通控制和应急救援^[28];李炼恒提出了不同服务水平、事故形态下交通诱导策略的适用性^[29];曹志远等基于分析提示信息 and 实施入口限流、出口分流措施后交通波与事故波的运行性质,将饱和状态作为临界标准确定提示信息的发布范围,将分流路径上的等效通行能力作为分流信息的发布范围^[30]。总体上看,目前对处理突发事件的交通控制方法、模型的研究一直是交通安全领域的热点。国内外关于交通安全决策理论和交通安全决策支持系统的研究尚存在局限性,且多集中于节点和路段交通控制,对路网级别交通控制技术的研究鲜有涉及,加之受道路智能化水平的限制,使得交通控制技术很少应用于区域路网突发事件的跟踪控制过程。为此,本文从区域路网的角度出发,对事故层面影响区的交通诱导分流策略进行深入研究。提出事故影响区分层划分思路和量化方法,旨在更清晰地确定事故影响区范围,便于分层次提出相适应的交通诱导措施。

1 交通事故影响区划分

1.1 交通事故影响区划分层次

交通事故有一定的影响时间和影响范围,在事故影响时间内,事故发生点先变为瓶颈,上游路段通行能力开始降低,出现排队,随着时间的推移,排队逐渐延伸至上游整个路段甚至邻近交叉口,从而导致交叉口通行能力下降,拥堵向各个方向扩散,造成更大区域的交通堵塞。这个过程即为交通事故随时间推移在区域路网中由点及面的传播过程。鉴于交通事故在路网中的传播遵循“点-线-面”的特殊传播方式,故在进行事故影响区划分时,将其划分为事故发生点及周边小范围所形成的点层影响区、事故直接影响路段所在的线层影响区、事故在路网中波及区域所覆盖的面层影响区,形成“点-线-面”3层影响区划分结构^[26],如图1所示。

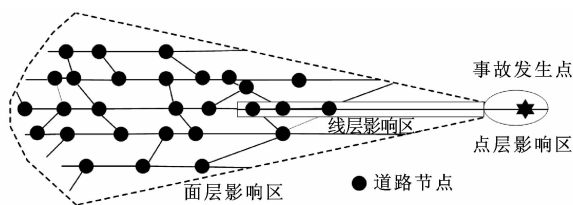


图1 交通事故影响区划分

Fig.1 Traffic accident effected zone division

点层影响区指据交通事故发生处交通特征划定

的事故现场和为保护现场在事故点上游设立的限制车辆随意驶入的过渡区域。

线层影响区指事故发生后点层影响区与事发路段上游可分流节点之间的区域。可分流节点指在事故处理人员到达时尚未出现拥堵排队现象,仍具备道路分流能力,且距事故点层影响区最近的点。

面层影响区指点层影响区的上游路段及两侧道路组成的面域,将线层影响区包含在内。事故发生点上游交通流可直接波及的路段、平交口、互通立交等覆盖的范围属微观影响范围,事发道路的平行线、连接线及可能驶入事发区域的邻近道路和重要节点覆盖的范围属宏观影响范围。

1.2 交通事故影响区划分方法

点层影响区由事故现场和为保护现场而限制车辆自由行驶的过渡区构成。事故现场范围取决于事故类型与严重程度,事故发生时即确定;过渡区域长度主要受车辆行驶速度的影响。依据事故现场大小,并参考公路养护施工控制区设置经验及《公路养护安全作业规程》(JTG H30—2004)^[31](JTG H30—2015)^[32]养护维修作业区中合流区、缓和区长度的相关要求,事故点层影响区长度可由下述公式确定。

事故现场仅占用1条车道时

$$L_D = \frac{V^2 D}{155} + S \quad V \leq 60 \text{ km/h} \quad (1)$$

$$L_D = 0.625DV + S \quad V > 60 \text{ km/h} \quad (2)$$

事故现场不止占用1条车道时

$$L_D = \frac{V^2 D}{155} + S + 5(n-1) \frac{V^2 D}{155} + \frac{V^2 D}{155} \quad V \leq 60 \text{ km/h} \quad (3)$$

$$L_D = 0.625DV + S + 5(n-1) \frac{V^2 D}{155} + \frac{V^2 D}{155} \quad V > 60 \text{ km/h} \quad (4)$$

式中: L_D 为点层影响区长度(m); V 为事故路段的设计车速或85%车速(km/h); D 为事故占用的道路宽度(m); S 为事故现场长度(m); n 为封闭车道数。

线层影响区指事故发生后点层影响区与事发路段上游可分流节点间的区域,是事发路段上游交通流能直接波及的范围。事故拥挤持续时间内,线层影响区的排队一直存在,此时到达车辆与排队相遇即受影响,故线层影响区范围为车辆在拥挤持续时间内行驶长度与最大排队长度之和。令 $s_r =$

$$\sqrt{1 - \frac{Q_r}{Q_m}}, s_a = \sqrt{1 - \frac{Q_a}{Q_m}}, Q_m, Q_a, Q_r \text{ 分别为道路饱和}$$

流率、正常状态下流量、事故条件下事故点剩余通行能力(pcu/h),则线层影响区范围 L_x 为^[32-34]

$$X=|U_1t_b|=\frac{U_1U_2}{U_1-U_2}t_a=\frac{(s_r-s_a)V_0t_a}{2s_a} \tag{5}$$

$$t_b=\frac{U_2t_a}{U_2-U_1}=\frac{s_r}{s_a}t_a \tag{6}$$

$$L_x=X+\bar{V}t_b \tag{7}$$

式中: X 为最大排队长度(m); U_1 为事故发生时从事故点向上游排队形成的集结波; t_b 为事故发生至最大排队长度的时间(s); U_2 为事故清除完毕时事故点产生向上游传播的消散波; t_a 为事故延迟时间(s); V_0 为高速公路设计速度(km/h); \bar{V} 为事故点上游路段平均车速(km/h)。

计算出线层影响区范围后,取距事故点距离大于 L_x 的最近上游可分流节点,该节点与事故点层影响区之间区域为事故线层影响区。

考虑到面层影响区主要控制措施为诱导分流,面层影响区范围可通过交通分流范围来确定。此外,为了更有利于各诱导点的分级划分,在确定分流范围时需要结合实际路网,保证其与线层影响区之间至少存在 2 个分流节点。具体确定流程如图 2 所示, t_{ij} 、 \bar{t}_{ij} 分别为车辆在路段的行程时间和平均行程时间, i 、 j 为节点。

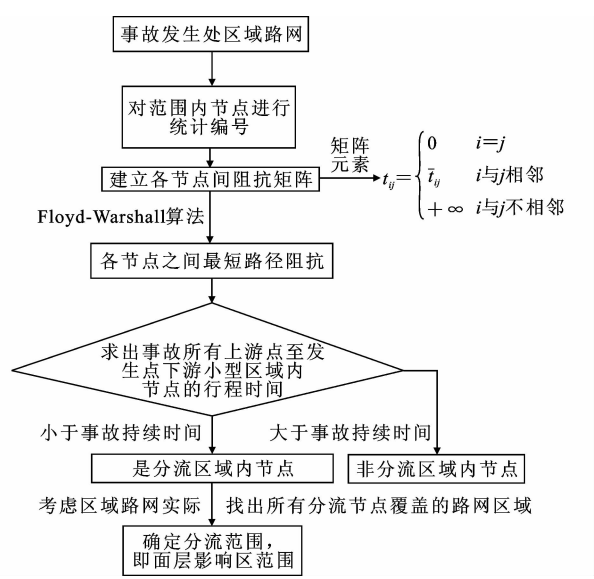


图2 面层影响区范围界定

Fig. 2 Scope definition of area effected zone

2 交通诱导点选取

诱导分流与交通管制是事故影响区常用控制措施。事故处理过程中,影响范围内路网结构复杂,节点众多,为选择合适节点发布诱导分流信息或设置交管设施,需对事故影响范围内的路网节点进行筛

选。将采取交通诱导管制措施的节点统称为交通诱导点。

诱导点设置原则:①按流量流向需求布设;②理论上从事故发生路段较远的上游及相邻平行路段上游开始布设,由远及近;③根据诱导点位置和功能分级分类并进行优选。据此考虑设置 3 级路网诱导点:诱导分流点、管制诱导点和强制诱导点^[35]。其强制级别由低到高,诱导分流点是可供选择是否诱导的诱导点,一般在此利用交通标志、可变信息板等提供各种道路状况信息,如区域内路网的流量状况、特殊事件发生情况、管制措施信息等;管制诱导点是增设辅助性交通设施的诱导点,利用渠化交通的方式主动引导车辆驶入分流路径,如减速标志和标线、限速标志和标线、测速仪等;强制诱导点是必须进行交通诱导的诱导点,利用车流疏导标志、标线的引导强制车辆绕行,必要时需进行现场交通管制。

交通事故发生点上游面层影响区及其下游包含绕行迂回节点在内的小型迂回区分别为 2 个分流范围,如图 3 中分流范围 I 和 II。诱导点的选取在面层影响区进行,为符合诱导点分级设置原则,首先将分流范围 I 分为 2 个部分,如图 3 所示,其中 A 区表示线层影响区及周边区域,B 区表示面层影响区最远边界与线层影响区最远边界之间区域,且 B 区内事故直接影响路段的延长线上宜存在 2 个以上可分流点。

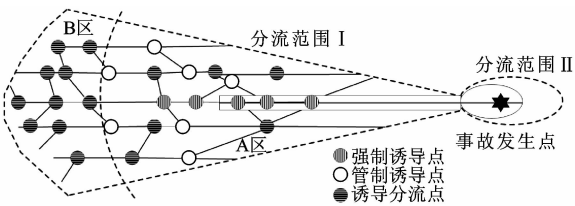


图3 路网内诱导点分布示意

Fig. 3 Induced nodes in road network

根据诱导点设置原则和事故影响区划分情况,视 B 区内节点为诱导分流候选点,A 区内在事故线层影响区及延长线上节点为强制诱导候选点,A 区内其他节点为诱导分流和管制诱导双重候选点。

3 诱导点优选

3.1 诱导点优先级评价指标

3.1.1 空间区位重要度

节点空间区位重要度 K 通过节点在路网中的拓扑关系来描述,认为连接节点的边越重要,节点越重要;边的重要度取决于边所连 2 个节点的度;节点

的度定义为与其连接的边的数目^[36]。节点空间区位越重要,越先采取诱导分流,即

$$w_{ij} = k_i k_j \quad (8)$$

$$K_i = \sum_{j \in \Gamma_i} w_{ij} \quad (9)$$

式中: w_{ij} 为边节点*i*、*j*的权重; k_i 为节点*i*连接边的数目,即节点*i*的度; k_j 为节点*j*连接边的数目,即节点*j*的度; K_i 为节点*i*的空间区位重要度; Γ_i 为节点*i*的所有邻居节点集合。

3.1.2 功能重要度

节点功能重要度*Q*通过节点在路网中承担的交通流量来描述,认为从各方向通过节点的交通量越大,节点在路网中的功能越重要,越先采取诱导分流,即

$$Q_i = \frac{q_i}{\max_{j \in N} q_j} \quad (10)$$

式中: Q_i 为节点*i*的功能重要度; q_i 、 q_j 分别为节点*i*、*j*的交通量(pcu/h);*N*为路网中接受评价的节点数目。

3.1.3 绕行度

绕行度*R*指起讫点间有效最短路径行程时间与实际最短路径行程时间的比值,实际最短路径行程时间是车辆经过事故路段的最短行程时间。绕行度越小,越先采取诱导分流,即

$$R_i = \frac{\sum_{k=1}^m O_{ik} t_{ik} / \sum_{k=1}^m O_{ik}}{\sum_{k=1}^m T_{ik} / m} \quad (11)$$

式中: R_i 为节点*i*的绕行度; O_{ik} 为以*i*为起点的第*k*条实际最短路对应的起讫点间OD量; t_{ik} 为以*i*为起点的第*k*条有效最短路的行程时间(h); T_{ik} 为以*i*为起点的第*k*条实际最短路的行程时间(h);*m*为以*i*为起点的有效最短路的条数。

3.1.4 共线度

共线度*G*定义为车辆在起讫点间最短路径所包含的事故路段上的行程时间与车辆在整个最短路径上的行程时间的比值。当最短路径不经过事故路段时,共线度为无穷大。共线度越大,越晚采取诱导分流,即

$$G_i = \frac{\sum_{k=1}^n t'_{ik} / T'_{ik}}{n} \quad (12)$$

式中: G_i 为节点*i*的共线度; t'_{ik} 为车辆在以*i*为起点的第*k*条最短路径所包含的事故路段上的行程时间

(h); T'_{ik} 为以*i*为起点的第*k*条有效最短路径的行程时间(h);*n*为以*i*为起点的起讫点对数。

需指出,绕行度和共线度计算模型中,事故发生点上游事故面层影响区内全部节点均可看作起点,事故发生点下游路网中邻近节点及与起点分据事故线层影响区两侧的节点作为讫点。

3.2 诱导点优先次序确定

节点空间区位重要度和功能重要度为效益型指标,绕行度和共线度为成本型指标,将各指标归一化处理:效益型指标除以该指标最大值,成本型指标除以该指标最大值后取倒数(指标最大值不包括无穷大)。考虑到节点功能重要度在计算过程中完成归一化,故直接参与综合指标值计算。用层次分析法确定各指标权重,依权重计算综合指标结果,确定诱导候选节点优先级,即

$$Z_i = \alpha \frac{K_i}{\max_{j \in N} K_j} + \beta Q_i + \gamma (R_i / \max_{j \in N} R_j)^{-1} + \theta (G_i / \max_{j \in N} G_j)^{-1} \quad (13)$$

式中: Z_i 为诱导点*i*的综合指标值; α 、 β 、 γ 、 θ 分别为节点空间区位重要度、功能重要度、绕行度和共线度的指标权重,且 $\alpha + \beta + \gamma + \theta = 1$ 。

4 案例分析

4.1 杭金衢高速公路路网概况

模拟杭金衢高速公路某处发生交通事故,根据区域路网实际情况划定点、线、面3层影响区,并对面层影响区诱导点进行优选。实际路网如下页图4所示,路网抽取简化图如下页图5所示,各道路节点按照从主要道路到次要道路,从左到右的顺序进行编号。

杭金衢(G60)高速公路横贯衢州东西方向,是衢州的横向主干线。衢州段东与金华段相接,起自龙游县土元乡西畈村,西与江西梨温高速公路相连,终至常山县窑上乡,全长101.14 km。双向4车道,采用沥青混凝土路面铺装,K188+347~K226+694段设计车速120 km/h,硬路肩2×3 m;K226+694~K289+486段设计车速100 km/h,硬路肩2×2 m。全线设有8处互通,4处服务区,6处收费站。根据杭金衢高速公路的统计资料,断面年平均日交通量为15 158 pcu/d,大型车所占比例为33.98%。

4.2 事故路段运行状况与事故情形假设

某日上午10:00,雨雪天能见度100~200 m,杭金衢高速公路吕塘枢纽(K207+200)与衢州东互通

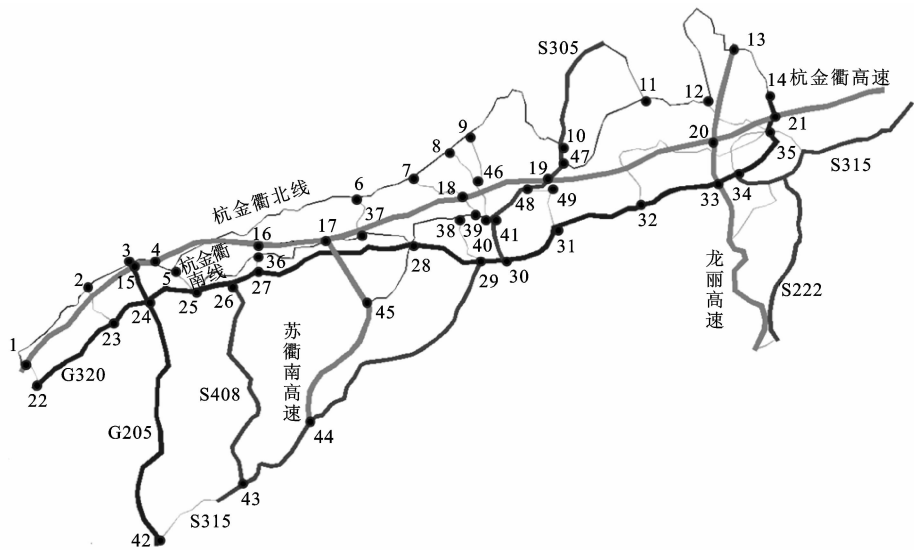


图 4 杭金衢高速公路路网
Fig. 4 Network of Hangjinqu Highway

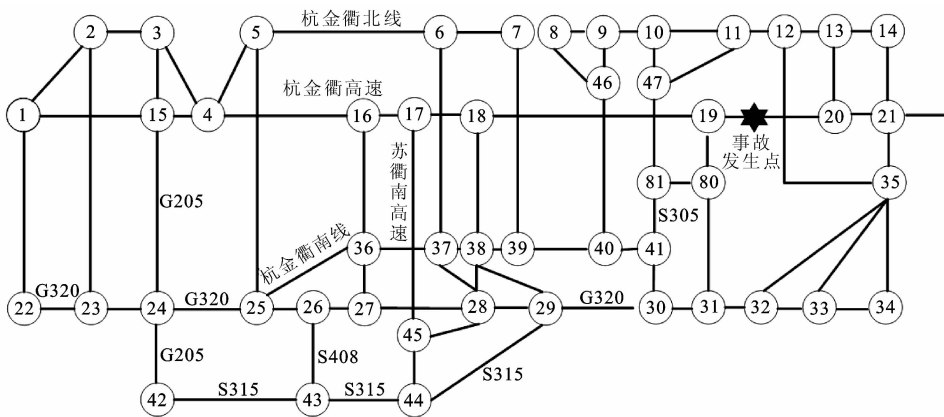


图 5 杭金衢高速公路路网示意
Fig. 5 Schematic of network of Hangjinqu Highway

(K226+161)之间(图 5 中节点 ⑮和⑯之间)多雾路段 K216~K218 上的 K217 处发生交通事故,事故延迟时间 $t_a=0.5$ h,事故占用 1 条车道,车道宽度 $D=3.5$ m,事故现场区长度 $S=100$ m,事故发生后事故路段上游平均车速 $\bar{V}=60$ km/h。

根据杭金衢高速公路统计资料,吕塘枢纽至衢州东互通 10 的断面交通量为 $Q_a=1\ 415$ pcu/h,该段属于 K188+347~K226+694,设计车速 $V_0=120$ km/h,在一级服务水平下畅行速度 $V=120$ km/h。通过计算得可能通行能力 $Q_m=3\ 008$ pcu/h,根据事故占用 1 条车道可利用的系数为 0.35,可得事故路段通行能力 $Q_c=1\ 053$ pcu/h。

4.3 事故影响区划分与诱导点选取

点层影响区长度 L_D 点由式(2)求得

$$L_D=0.625DV+S=362.500\text{ m}$$

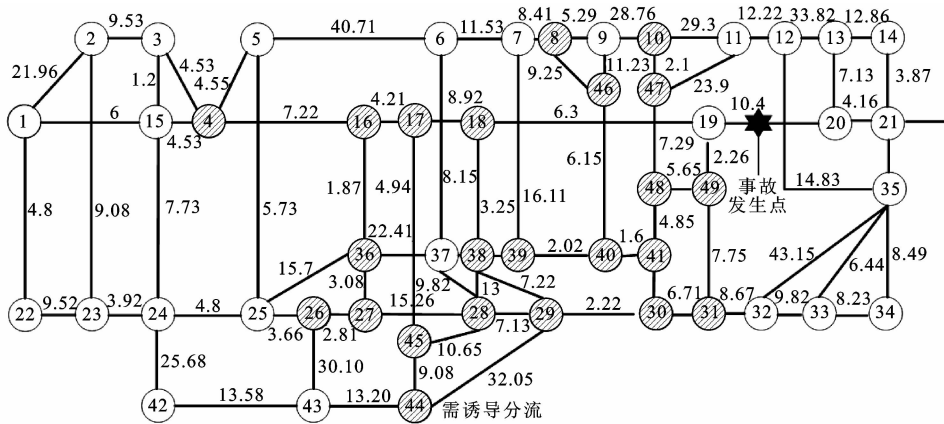
线层影响范围 L_X 由式(5)~式(7)求得

$$X=3.236\text{ km}, t_b=0.554\text{ h}, L_X=36.476\text{ km}$$

事故发生点桩号 K217+000, L_D 和 L_X 共计 36.839 km,根据杭金衢高速互通桩号,确定事故发生点至节点⑯阁底互通(K258+330)间为事故线层影响区。

面层影响区范围通过分流范围确定。首先确定路网中各节点间的行驶时间,如下页图 6 所示,计算出事故发生点上游各节点距事故上游最近节点⑮的最小行驶时间,如下页表 1 所示。

据表 1 计算结果,节点⑮上游距事故点行驶时间小于事故延迟时间 30 min 的节点有 24 个,如图 6 所示,其覆盖的区域为需进行诱导分流的区域。考虑到面层影响区 B 区内沿事故直接影响段的延长线上至少存在 2 个可分流节点,可由此来界定 A 区



单位: min

图 6 杭金衢高速公路周围路网各节点间行驶时间

Fig. 6 Travel time between nodes of road network around Hangjin Highway

表 1 节点⑬上游各节点到节点⑬最小行驶时间

表 2 判断矩阵和权重结果

Tab. 1 Minimum travel time between upstream node of

Tab. 2 Judgment results of matrix and weight

node ⑬ and node ⑬ min

节点 编号	最小行 驶时间	节点 编号	最小行 驶时间	节点 编号	最小行 驶时间
①	37.18	⑬	6.30	⑳	9.55
②	40.71	⑭	41.98	㉑	12.79
③	31.18	⑮	39.57	⑳	14.36
④	26.65	⑯	35.65	㉒	12.76
⑤	31.20	⑰	30.85	㉓	56.02
⑥	40.43	⑱	27.19	㉔	42.44
⑦	28.90	㉑	24.38	㉕	29.25
⑧	29.76	㉒	22.55	㉖	20.16
⑨	31.74	㉓	16.77	㉗	20.51
⑩	17.30	㉔	16.18	㉘	15.20
⑮	31.18	㉕	10.01	㉙	7.91
⑯	19.43	㉖	21.30	㉚	2.26
⑰	15.22	㉗	32.37		

指标	空间区位重要度	绕行度	共线度	权重%
空间区位重要度	1	1	5	47.95
绕行度	1	1	3	40.55
共线度	1/5	1/3	1	11.50

25.49、18.00 min。据式(13)得出各诱导候选节点指标归一化分析参数优先级计算结果见下页表 3。

根据候选诱导点综合指标值大小确定优先级排序,据实际情况分别优选出 3 类诱导点结果如下。

诱导分流点: A 区④⑮⑮⑮⑮

B 区⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖

管制诱导点: ㉖㉗㉘㉙㉚㉛

强制诱导点: ㉜㉝㉞㉟

将以上分析与实际路网对比可知,面层事故影响区的划分范围大小合适,“点-线-面”3 层事故影响区均可以代表交通事故产生拥堵所波及的点、路段和面域范围;在事故影响区内所优选的各级诱导节点功能明确、结构合理,针对诱导分流点、管制诱导点和强制诱导点分别实施的交通管控措施效果良好。事故影响区划分结果及诱导节点优选结果如图 7 所示。

5 结 语

(1)“点-线-面”3 层次事故影响区量化划分模式有助于确定交通诱导点的性质,进而分级提出与交通控制策略适用性相符的控制方案,加强影响区内交通组织方式的协调性,从整体上提升公路管理者应对区域路网突发事件的能力水平。

(2)诱导点优先级评价指标的筛选,反映出节点在区域路网中的综合诱导能力,有助于高效智能分

范围,该事故影响区划分结果如下页图 7 所示。

4.4 面层影响区诱导点优选

为简化计算,本例进行诱导点优选时仅考虑节点空间区位重要度、绕行度和共线度 3 个指标,且绕行度和共线度按单个起讫点对进行计算,取事故处邻近节点⑬为固定讫点,以此计算面层影响区内各起点至节点⑬的绕行度和共线度指标。

运用层次分析法计算诱导点优先级。定义判断标度:1 为同等重要,3 为一般重要,5 为强烈重要。判断矩阵和权重结果见表 2。

计算节点绕行度的过程中,事故发生后线层影响区路段行程时间受通行能力减小的影响,据第 4.2 节中道路发生事故后运行状况数据,求得事故发生后⑬—⑰、⑰—⑱、⑱—㉑行程时间分别为 12.00、

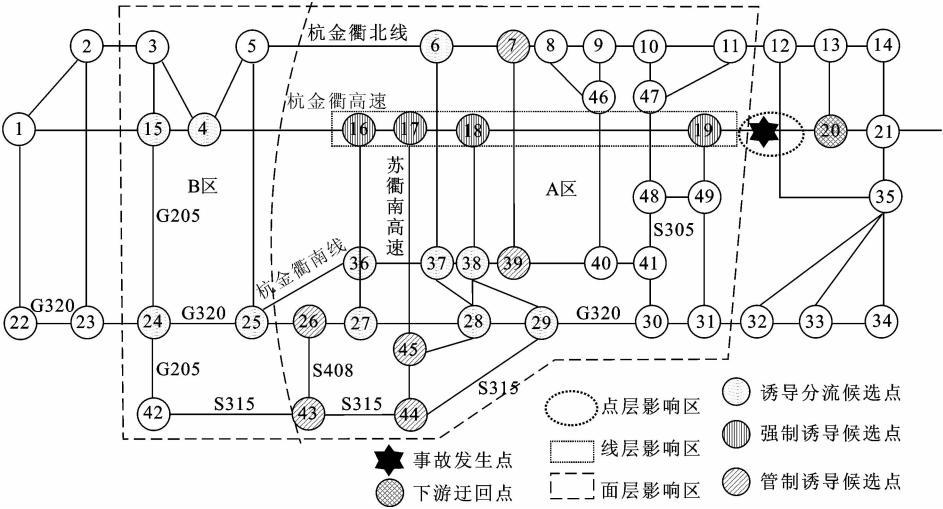


图 7 杭金衢高速公路交通事故影响区内诱导候选节点

Fig. 7 Induced nodes in traffic accident effected zone of Hangjinqu Highway

表 3 各节点优先级计算结果

Tab. 3 Calculation results of priority of each node

节点所属区域	编号	空间区位 重要度	绕行度	共线度	综合 指标值
线层影响区	18	0.347 4	2.857 1	1.000 0	1.440 2
	16	0.347 4	2.857 1	1.000 0	1.440 2
	17	0.284 2	2.857 1	1.000 0	1.409 9
面层影响区 A 区	4	0.547 4	2.352 9	1.371 7	1.374 4
	25	0.589 5	2.169 2	1.587 3	1.344 9
	15	0.589 5	2.155 2	1.605 1	1.341 2
	24	0.547 4	2.012 1	1.834 9	1.289 4
	3	0.347 4	2.155 2	1.605 1	1.225 1
	5	0.347 4	2.155 2	1.605 1	1.225 1
	42	0.147 4	1.503 8	3.676 5	1.103 2
	38	1.000 0	2.227 2	1.515 2	1.557 0
	28	1.000 0	1.519 8	3.584 2	1.508 0
	36	0.589 5	2.695 4	1.096 5	1.501 8
面层影响区 B 区	37	0.631 6	1.360 5	5.128 2	1.444 3
	6	0.315 8	1.288 7	6.410 3	1.411 2
	27	0.378 9	2.481 4	1.254 7	1.332 2
	29	0.673 7	1.697 8	2.659 6	1.317 4
	45	0.347 4	2.403 8	1.324 5	1.293 7
	26	0.315 8	2.325 6	1.398 6	1.255 3
	7	0.284 2	1.404 5	4.587 2	1.233 4
	39	0.347 4	1.915 7	2.028 4	1.176 7
	44	0.315 8	1.964 6	1.923 1	1.169 3
	43	0.252 6	1.666 7	2.785 5	1.117 3
	30	0.315 8	1.000 0	0	0.557 0
	10	0.284 2	1.000 0	0	0.541 8
	9	0.284 2	1.000 0	0	0.541 8
	8	0.284 2	1.000 0	0	0.541 8
	31	0.284 2	1.000 0	0	0.541 8
	49	0.284 2	1.000 0	0	0.541 8
	48	0.284 2	1.000 0	0	0.541 8
	41	0.284 2	1.000 0	0	0.541 8
	40	0.284 2	1.000 0	0	0.541 8
	46	0.284 2	1.000 0	0	0.541 8
	47	0.284 2	1.000 0	0	0.541 8

流策略的逐级实施,提高了区域路网的诱导效率,改善了事故后车辆通行条件。

(3)在区域路网交通事故影响范围的确定中,本文方法与交通检测设备的结合应用是未来的研究重点;在事故发生后交通管控措施实施的过程中,各级诱导点之间的协同作用以及互相影响机理也有待于进一步研究。

参考文献:

References:

[1] 郭冠英. 用集散波法计算道路交通拥塞长度[J]. 上海公路, 1997(2): 39-41.
GUO Guan-ying. Calculation for length of road traffic congestion by using the method of distributed wave [J]. Shanghai Highways, 1997(2): 39-41.

[2] 臧 华, 彭国雄. 高速道路异常状况下车辆排队长度的预测模型[J]. 交通与计算机, 2003, 21(3): 10-12.
ZANG Hua, PENG Guo-xiong. Prediction model of vehicle queue length under abnormal condition of highway[J]. Computer and Communications, 2003, 21 (3): 10-12.

[3] MICHALOPOULOS P G, PISHARODY V B. Derivation of delays based on improved macroscopic traffic models[J]. Transportation Research Part B, 1981, 15 (5): 299-317.

[4] SANSÒ B, MILOT L. Performability of a congested urban transportation network when accident information is available[J]. Transportation Science, 1999, 33 (1): 68-79.

[5] 石小法, 王 炜. 交通事故对城市交通网络的影响研究[J]. 公路交通科技, 2000, 17(5): 38-41.

- SHI Xiao-fa, WANG Wei. Study on accident effects in urban transportation network[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2000, 17(5): 38-41.
- [6] CHEN Q, LI W Q. Influence range of emergency under special events based on CTM[J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2009, 25(2): 257-261.
- [7] 程莹. 城市道路交通事故影响传播机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- CHENG Ying. Research on influence scope and propagation mechanism of urban road traffic accidents [D]. Changchun: Jilin University, 2011.
- [8] 郑黎黎, 丁同强, 范海燕, 等. 高速公路交通事件影响范围的模糊预测[J]. 数学的实践与认识, 2009, 39(1): 72-77.
- ZHENG Li-li, DING Tong-qiang, FAN Hai-yan, et al. Fuzzy forecast of incident incidence on freeway [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2009, 39(1): 72-77.
- [9] 张晶晶. 路网环境下高速公路交通事故影响传播分析[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- ZHANG Jing-jing. An analysis on the spread of highway traffic accident influence on road network[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [10] 钱刚, 蒋珉, 柴干. 高速公路事故影响范围的研究[J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(6): 83-86, 91.
- QIAN Gang, JIANG Min, CHAI Gan. Study on expressway traffic accident influence scope[J]. Computer Technology and Development, 2014, 24(6): 83-86, 91.
- [11] 胡晓健, 王炜, 陆建. 道路交通意外事件影响范围确定方法[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2007, 37(5): 934-939.
- HU Xiao-jian, WANG Wei, LU Jian. Determination impact area of traffic incident[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2007, 37(5): 934-939.
- [12] 张敖木翰, 张平, 曹剑东. 物联网环境下高速公路交通事故影响范围预测技术[J]. 物联网技术, 2015(5): 41-43, 47.
- ZHANG Ao-muhan, ZHANG Ping, CAO Jian-dong. Forecast technology of expressway traffic accident influence scope under the environment of networking [J]. Internet of Things Technologies, 2015(5): 41-43, 47.
- [13] STEPHANEDES Y J, CHANG K K. Optimal control of freeway corridors [J]. Journal of Transportation Engineering, 1993, 119(4): 504-514.
- [14] PAPAGEORGIOU M, KOTSIALOS A. Freeway ramp metering: an overview[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2002, 3(4): 271-281.
- [15] PAPAGEORGIOU M, HAJSALEM H, BLOSEVILLE J. Modeling and real time control of traffic flow on the southern part of the boulevard peripherique in Paris: part II, coordinated on-ramp metering[J]. Transportation Research Part A, 1990, 24(5): 3-45.
- [16] KOTSIALOS A, PAPAGEORGIOU M, MANGEAS M, et al. Coordinated and integrated control of motorway networks via non-linear optimal control [J]. Transportation Research Part C, 2002, 10(1): 65-84.
- [17] DIAKAKI C, PAPAGEORGIOU M, MCLEAN T. Simulation studies of integrated corridor control in Glasgow[J]. Transportation Research Part C, 1997, 5(3/4): 211-224.
- [18] 嵇春宝, 蒋珉, 柴干. 高速公路网的匝道协调控制及仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(4): 1206-1209.
- JI Chun-bao, JIANG Min, CHAI Gan. Coordinated ramp metering and simulation study on freeway network[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(4): 1206-1209.
- [19] 柴干, 高祥云. 路段拥挤条件下的高速公路匝道协调控制方法[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2013, 43(3): 654-658.
- CHAI Gan, GAO Xiang-yun. Coordinated control method for freeway ramp with congestion of road section[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2013, 43(3): 654-658.
- [20] 马明辉, 杨庆芳, 梁士栋, 等. 高速公路主线与匝道合流区协调控制方法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2015, 36(12): 1603-1608.
- MA Ming-hui, YANG Qing-fang, LIANG Shi-dong, et al. Coordination control of mainline control and ramp metering in freeway merging area[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2015, 36(12): 1603-1608.
- [21] 李珣, 曲仕茹, 夏余. 车路协同环境下多车道车辆的协同换道规则[J]. 中国公路学报, 2014, 27(8): 97-104.
- LI Xun, QU Shi-ru, XIA Yu. Cooperative lane-changing rules on multilane under condition of cooperative vehicle and infrastructure system[J]. China Journal of Highway and Transport, 2014, 27(8): 97-104.
- [22] GB/T 31445—2015, 雾天高速公路交通安全控制条件[S].

- GB/T 31445—2015, Standard for expressway traffic safety control under fog weather conditions[S].
- [23] 王晓飞. 灾变条件下道路网运营安全管理及应急处置研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
WANG Xiao-fei. Research on operation safety management and emergency disposal against disastrous conditions of freeway corridor[D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [24] 王建军, 李维佳, 金书鑫. 高速公路分流区事故扩散最早恢复时间敏感性分析[J]. 中国公路学报, 2016, 29(9): 121-127.
WANG Jian-jun, LI Wei-jia, JIN Shu-xin. Applying sensitivity analysis to determination of earliest recovery time after accident in expressway diverge zone[J]. China Journal of Highway and Transport, 2016, 29(9): 121-127.
- [25] 陈勇军. 路网环境下高速公路交通事故紧急交通组织策略与评价研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
CHEN Yong-jun. Study on the strategy and evaluation of the emergent traffic organization for the highway traffic accidents under the road-network environment[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [26] 常振文. 路网环境下高速公路交通事故紧急交通组织研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
CHANG Zhen-wen. Study on emergency traffic organization of expressway traffic accident under circumstance of road network[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [27] 宋子祥. 区域路网突发事件防控技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.
SONG Zi-xiang. Study on technology of emergency prevention and control under regional road network[D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [28] 顾金亮. 区域高速公路路网应急保障研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.
GU Jin-liang. Study on the regional highway network emergency support[D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.
- [29] 李炼恒. 高速公路事故条件下交通诱导关键技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
LI Lian-heng. Key technology research of traffic guidance under freeway traffic accident condition[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- [30] 曹志远, 郭忠印, 张起森, 等. 高速公路重大交通事故下信息发布空间范围研究[J]. 交通科学与工程, 2011, 27(2): 87-90, 95.
CAO Zhi-yuan, GUO Zhong-yin, ZHANG Qi-seng, et al. Research on spatial extent of information distribution in terrible traffic accident on highway[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2011, 27(2): 87-90, 95.
- [31] JTG H30—2004, 公路养护安全作业规程[S].
JTG H30—2004, Safety work rules for highway maintenance[S].
- [32] JTG H30—2015, 公路养护安全作业规程[S].
JTG H30—2015, Safety work rules for highway maintenance[S].
- [33] 马阿瑾. 高速公路交通事故持续时间和影响范围研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.
MA A-jin. Study on the freeway traffic accident duration and influence range[D]. Xi'an: Chang'an University, 2013.
- [34] HASHIMOTO S, YOSHIKI S, SAEKI R, et al. Development and application of traffic accident density estimation models using kernel density estimation[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2016, 3(3): 262-270.
- [35] 毛剑锋. 高速公路拓宽工程交通分流技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.
MAO Jian-feng. Study on traffic diversion technology of widen project on expressway[D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [36] 王建伟, 荣莉莉, 郭天柱. 一种基于局部特征的网络节点重要性度量方法[J]. 大连理工大学学报, 2010, 50(5): 822-826.
WANG Jian-wei, RONG Li-li, Guo Tian-zhu. A new measure method of network node importance based on local characteristics[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2010, 50(5): 822-826.