

文章编号:1005-0523(2019)02-0054-06

高速公路新型智能光电轮廓标设计

赵孝进¹, 郑长江¹, 张小丽²

(河海大学土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要:高速公路交通事故频发,重、特大事故占比高,对高速公路行车人员的人身安全产生巨大威胁。高速公路设置的诱导装置功能单一,诱导作用不强。基于上述现状,研发一种可实现高速公路拥堵路段车流密度提示、交通事故报警和事故路段交通诱导功能的新型智能光电轮廓标。结合高速公路交通事故疏导理论,对道路拥堵或事故状态下的车流密度与事故影响范围进行计算,并结合高速公路道路服务水平,对事故影响范围内的车辆进行闪烁报警,有效降低高速公路二次事故发生率。

关键词:智能光电轮廓标;高速公路;交通诱导;物联网

中图分类号:U491

文献标志码:A

1 研究背景

1.1 高速公路事故现状

高速公路交通事故的发生为社会带来了重大的经济损失和人员伤亡^[1]。高速公路事故造成的死亡人数占有所有道路交通事故死亡人数的比重高达9.98%,事故死亡率高达77%,远高于其他路段类型事故死亡率。大多数高速公路首次发生交通事故后,由于不能及时进行事故报警与交通诱导,进而引发道路二次交通事故,导致事故进入不可控状态,造成更为严重的后果。

高速公路事故是造成道路拥堵的主要原因之一。研究表明,高速公路上约60%的交通拥堵是由高速公路事故引起的^[2]。高速公路事故的严峻形势已成为我国高速公路管理者与使用者的关注焦点。若在首次交通事故发生后能够利用高速公路上的交通诱导装置及时进行事故报警,同时对路段车辆进行实时交通诱导,不仅可以有效缓解事故造成的交通拥堵,也能够降低高速公路上二次交通事故的发生的可能性。

1.2 国内外研究现状

国内外对高速公路智能光电轮廓标的研究较少,国外对其鲜有研究,国内包兴臣,孟强在《高速公路主动发光轮廓标应用方案设计探讨》一文中,为解决目前逆反射轮廓标亮度低以及诱导效果不明显的问题,提出了高速公路主动发光轮廓标的设计^[3]。通过设计主动发光诱导与检测系统,借助物联网技术,通过传感器主动检测能见度、温湿度值以及光照值来进行数据处理及事故多发路段安全诱导及交通事故检测,较为有效的解决目前高速公路诱导装置智能程度低,效果不佳的问题。

国内外高速公路目前设置的主流诱导装置主要包括逆反射式轮廓标和LED诱导屏,逆反射式轮廓标主要分为柱式轮廓标和附着式逆反射轮廓标两种,仅能起到视线诱导作用,诱导功能单一,无法起到事故报警等作用,路段交通设施资源利用率较小。LED诱导屏可以通过交管部门的控制实现静态或动态交通诱导,也能进行路段拥堵提示和交通事故报警。但其诱导范围不广,诱导智能度低,安装和养护价格昂贵,性价比较低。

收稿日期:2018-08-02

基金项目:国家自然科学基金项目(51608171)

作者简介:赵孝进(1997—),男,硕士研究生,主要研究方向为交通规划运输与管理。

通讯作者:郑长江(1966—),男,教授,主要研究方向为交通规划运输与管理。

2 方案设计

2.1 设计概述

高速公路上目前设置的逆反射轮廓标,LED 诱导屏等诱导装置存在着诱导功能单一、路段诱导效果不明显、诱导成本高等缺点。在高速公路事故发生后,不能及时对路段车辆进行事故报警和交通诱导,大大提高了道路二次事故发生的风险。高速公路亟需一种诱导功能全面、诱导作用明显、诱导设施利用率高的新型交通诱导装置。

通过研发设计一种高速公路新型智能光电轮廓标,正常路况下起到传统逆反射轮廓标的视线诱导作用,交通拥堵时能够起到交通疏导与车流密度实时提醒作用,高速公路发生事故时能根据交管部门提供的相关信息进行闪烁报警,对事故点上游车辆起到事故报警及交通诱导的作用,能够有效降低高速公路二次事故发生率,充分利用高速公路的交通设施资源,降低高速公路的诱导成本。

2.2 设计框架

设计框架包含理论研究、硬件部分设计和软件部分设计。

理论研究包括高速公路轮廓标设置规范和高速公路事故疏导理论,该部分研究为硬件及软件部分功能的实现提供了理论依据。首先对现有轮廓标的设置现状与短板进行分析,明确研究内容与方向。其次对支撑智能光电轮廓标运行的研究理论进行研究与运用,对事故数据进行采集。基于高速公路事故持续时间划分理论,从实际应用角度出发,结合车流波理论和高速公路网络交通突发事件辐射范围预测模型,运用车流集散波理论,构建高速公路事故影响范围模型。模型的搭建可用于后续的硬件编程控制其闪烁时间与范围。

硬件部分对智能光电轮廓标的通信模式选择与搭建、模型结构、各模块组成和实现功能以及硬件模拟调试方面进行设计。硬件由 LED 灯组,处理模块、通信模块、定位模块构成,可实现视线诱导和事故路段报警及交通诱导功能。

软件部分为网页终端,负责远程管理、监控硬件端的位置与运行情况,根据交管部门提供的不同的道路状态及交通数据进行功能选择与数据运算,向硬件端发送指令进行闪烁控制。

2.3 结构组成

轮廓标是一种沿道路两侧边缘设置,具有逆反射性能的一种交通安全设施,用于指示道路前进方向和边界^[4]。智能光电轮廓标附着于高速公路道路两侧的波形梁护栏,由智能光电轮廓标主体与后盖组成,其实物图如图 1 所示。轮廓标主体上共附着红黄绿 18 盏 LED 灯,在不同路况下进行闪烁,侧面附着太阳能电池板用于内部蓄电池的充电,如图 2 所示。

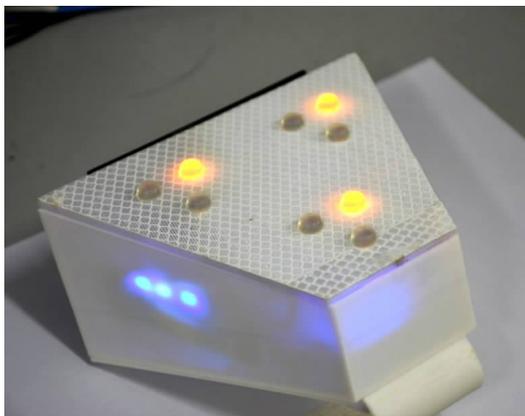


图 1 智能光电轮廓标实物正视图

Fig.1 The front view of intelligent photoelectric outline

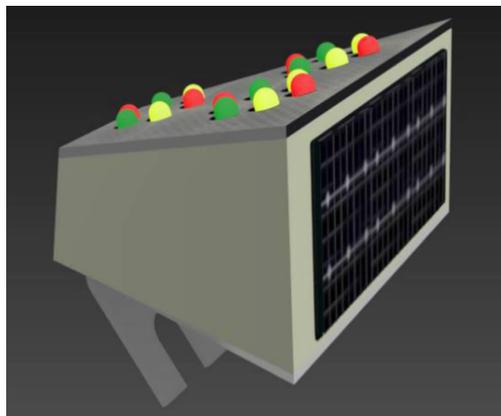


图 2 智能光电轮廓标模型侧视图

Fig.2 The lateral view of intelligent photoelectric outline model

智能光电轮廓标附着于波形梁护栏中间的槽内,主体结构为等腰梯形体,上底为 60 mm,下底为 160 mm,通过后盖固定在护栏与连接螺栓中,智能光电轮廓标硬件安装示意图如图 3 所示。安装时需注意,应保证轮

廓标表面逆反射材料与道路行车方向保持垂直,保证硬件视线诱导性能。

结合高速公路事故现状,设计一种操作简单、功能完善、响应时间短、诱导效果明显的高速公路新型智能光电轮廓标。智能光电轮廓标硬件结构如图4所示,其中模块4为中央处理模块,负责数据的处理与控制;模块5为定位模块;模块6为通信模块,负责数据传输;模块7为显示模块,负责控制灯组闪烁进行交通诱导;模块8~模块11为稳压供电模块,负责提供稳定电压保证轮廓标硬件正常工作。模块1为顶盖模块,附着反光膜用于光线反射;模块2为LED灯组模块,负责闪烁进行道路示廓与报警;模块3为后盖模块,负责与波形梁附着。由于模块1~模块3尺寸与位置问题,未在图中进行标明。

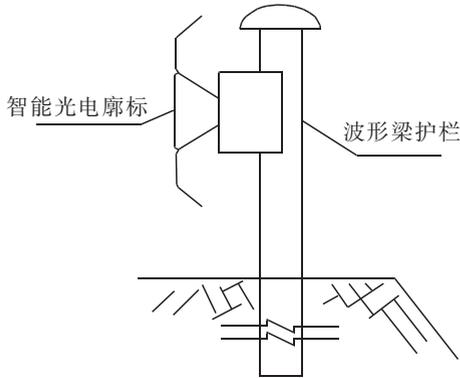


图3 智能光电轮廓标安装示意图

Fig.3 Diagram of intelligent photoelectric outline label installation

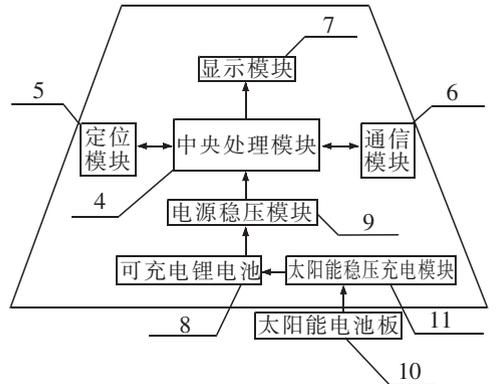


图4 智能光电轮廓标硬件结构图

Fig.4 Diagram of intelligent photoelectric outline standard hardware structure

2.4 运行原理

远程控制终端进行数据计算与分析,通过Wi-Fi对智能光电轮廓标硬件进行远程控制。在轮廓标智能控制中心输入道路状态,选择智能光电轮廓标所需实现的功能,在轮廓标智能控制中心输入交通数据,根据计算的预测值选定轮廓标工作的时间与范围,向范围内的轮廓标组输入信号。

通信模块通过Wi-Fi转串口将远程终端通过网络发送的指令传输至单片机核心板^[5],交管部门在远程控制终端输入事故类型及事故路段流量等基础数据,并且在事故各阶段持续时间输入实时交通密度数据,轮廓标智能控制中心将对数据进行处理并向事故影响区域内的轮廓标发送指令,控制轮廓标硬件的闪烁频率与灯色。事故路段交通诱导流程处理完毕,单片机通过通信模块将执行结果通过Wi-Fi反馈至终端控制设备,实现终端设备与高速公路新型智能光电轮廓标硬件的通信与控制。

诱导过程结束后轮廓标向控制中心发送反馈信号,高速公路智能光电轮廓标停止闪烁,并恢复到正常路况下的视线诱导功能。此时拥堵逐渐消散,交通恢复正常。

3 实现功能

通过Wi-Fi传输,软硬件端相互连接,软件端远程控制轮廓标硬件实现事故报警及事故路段交通诱导、路况拥堵提醒及视线诱导功能。在不同的高速公路道路环境下,智能光电轮廓标实现的功能不同。图5通过流程图形式,简要介绍了高速公路智能光电轮廓标的工作流程。

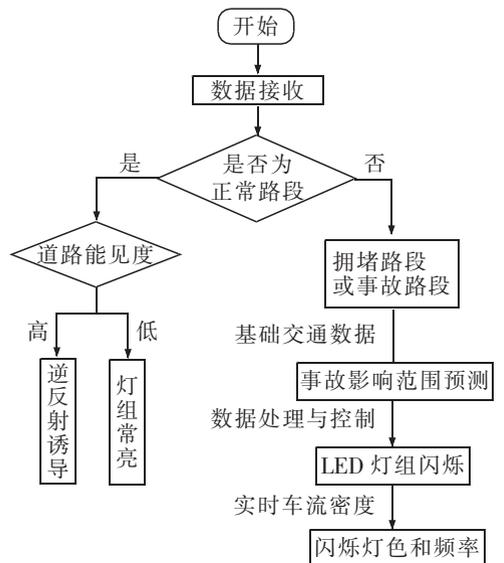


图5 智能光电轮廓标工作流程图

Fig.5 The flowchart of intelligent photoelectric outline

3.1 正常通行状态功能

道路能见度高时,轮廓标处于待机模式,轮廓标表面的逆反射材料通过光线反射对路段车辆进行视线诱导;夜间道路能见度降低时,平直路段轮廓标硬件不主动发光,逆反射材料通过反射车辆灯光进行视线诱导。急弯路段能见度低时,轮廓标 LED 黄灯组开启常亮,提高道路可见性,降低事故发生率。

雨雪雾导致的低能见度路段状态下,影响路段全线智能光电轮廓标开启,LED 黄灯组常亮,对路段车辆进行视线诱导。

3.2 拥堵状态功能

高速拥堵路段,轮廓标中的 LED 灯组进行闪烁,灯色切换基于高速公路道路服务水平等级与实时道路交通密度。

远程控制端根据交管部门及电子地图提供的路段拥堵信息选择相应的事故预警的范围,并对范围内的智能光电轮廓标发送信号,控制轮廓标硬件进行闪烁。在轮廓标智能控制中心输入实时交通密度,根据交通密度所在的区间选定黄色 LED 灯组或绿色 LED 灯组闪烁。

3.3 突发事件状态功能

高速公路事故发生时,在远程控制端输入高速公路路段基础数据,计算出事故后各阶段交通波的速度以及类型,从而计算出事故影响范围^[6]。在事故发生后至高速公路事故预计持续时间结束前,事故影响范围内的轮廓标进行红灯闪烁,提醒事故影响范围内的司机减速慢行,避免路段发生次生事故,降低二次事故发生率。

事故路段清理完毕后,车辆拥堵开始消散。轮廓标根据道路服务水平进行黄绿灯组的闪烁切换直至高速公路拥堵消散,路况恢复正常。智能光电轮廓标停止闪烁。

4 运行结果分析

明确智能光电轮廓标可服务路段状态与相应状态下可实现的功能后,须对各功能参数进行赋值。表 1 对硬件服务路段状态与功能参数进行汇总。

表 1 硬件服务道路状态功能参数汇总表
Tab.1 The summary for hardware service road status function parameters

道路状态	状态描述	车流密度/ (pcu/km)	LED 灯组 闪烁情况	LED 灯组闪 烁灯色	闪烁频率/ Hz
高能见度正 常路段	道路能见度高,车辆行 车自由度高	<7	不闪烁	无	无
低能见度正 常路段	道路能见度低,车辆行 车安全存在隐患	7~18	常亮	黄色	无
拥堵路段	车辆行车自由度低	19~45	闪烁	黄色/绿色	1~3
事故路段	交通流不稳定,行车安 全隐患极大	>26	闪烁	红色/黄色/绿色	2~3

高速公路拥堵状态下,通过对车流密度计算可控制轮廓标硬件闪烁对路段车辆进行交通诱导。设路段车流量为 2 000 pcu/h,平均车速为 60 km/h,此时路段车流密度 K 计算方式如下

$$h_s = h_t v = \frac{3\ 600}{Q} = 1.8 \times \frac{60}{36} = 30 \text{ m/pcu} \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{h_s} = 0.033\ 3 \text{ pcu/m} = 33.3 \text{ pcu/km} \quad (2)$$

式中: h_s 为平均车头间距, m/pcu; h_t 为平均车头时距, s/pcu; v 为高速公路平均车速, km/h; Q 为高速公路路段车流量, pcu/h; K 为车流密度, pcu/km。

通过对车流密度计算可知,拥堵路段实时车流密度为 33.3 pcu/km,高速公路道路服务水平可知当前路段属于四级服务水平,远程终端应发送信号控制轮廓标硬件进行红灯闪烁,闪烁频率为 2 Hz,提醒路段司机注意前方道路拥堵,减速慢行。

高速路段事故发生后,利用远程控制终端,计算事故影响范围。输入相应的路段数据,如平均车速、车流量等,网页端将自动进行计算获得事故影响范围。

在高速公路主线突发事件状态下,设路段畅行速度为 80 km/h,阻塞密度为 105 pcu/km。由格林希尔茨速度-密度线性关系模型可进行行车速度与车流密度的推算^[7]。

$$V=V_f\left(1-\frac{K}{K_j}\right) \quad (3)$$

式中: V 指高速公路车辆行车速度; V_f 指高速公路路段畅行速度; K_j 指高速公路道路阻塞密度。

高速公路交通事故发生后的各阶段内,事故主线上各交通波有不同的速度和特点。通过车流波动理论,可分别计算事发位置及汇入、汇出点处形成的各列车道交通波波速^[8-9]。车流波会向道路上游传播,并且事故产生车流波会结合产生新的混合波。车流波用 W_i 表示,混合波用 W_m 表示, i 指事故阶段。接下来我们对事故各阶段进行定义,第 1 阶段从正常路况至道路车辆发生事故;第 2 阶段从事故发生到事故车辆处理完毕;第 3 阶段从事故处理完毕到交通恢复正常。3 个阶段分别用数字 1,2,3 进行表示。其中,事故处理过程产生的混合波的波速可由当前阶段车流量及车速的变化值得。

$$W_1=\frac{Q_2-Q_1}{K_2-K_1} \quad (4)$$

式中: W_1 指正常路况至高速公路车辆发生事故阶段的车流波波速; Q_1 指正常路况下道路车流量; Q_2 指道路突发事故时道路车流量; K_1 指正常路况下道路车流密度; K_2 指道路突发事故时道路车流密度。

表 2 为事故各阶段路段车流量与平均车速分布,通过交管部门收集的基础交通数据能够进行高速公路事故影响范围测算。

表 2 事故各阶段路段基础交通数据表
Tab.2 Basic traffic data for road sections at various stages of the accident

事故阶段	路段车流量/(pcu/h)	路段平均车速/(km/h)	车流波波速/(km/h)
事故发生前	3 000	100	$W_1=20$
事故发生后	2 000	50	$W_2=33.3$
事故处理中	1 000	20	
事故处理完毕	2 500	80	$W_3=25$

利用计算得出事故处理过程中三类情况下的车流波波速,结合式(3)计算事故处理阶段车流波相遇时间。

$$t_{12}=\frac{W_2 t_1}{W_2-W_1}=1.0 \text{ h} \quad (5)$$

式中: t_{12} 指事故处理阶段车流波相遇时间; W_1 是指事故发生后产生的车流波; W_2 是指事故处理过程中道路产生的交通波。

结合对交通事故持续时间的预测,测得 $t_1=0.4 \text{ h}$, $t_2=1.3 \text{ h}$,计算得 $t_{12}=1.0 \text{ h}$,混合波的波速为 21.3 km/h。带入各值计算高速公路事故影响范围 L_m 。

$$L_m=\frac{(W_1-W_{m12})t_{12}+W_{m12}t_2}{W_3-W_{m12}}=7.1 \text{ km} \quad (6)$$

式中: W_m 指事故发生后车流波与事故处理期间车流波的结合波; L_m 指高速公路交通事故最大影响预测范围。

通过计算得出高速公路事故最大影响范围,此范围内的所有轮廓标硬件都将进行闪烁报警,提高路段司机警惕性,降低高速公路二次事故发生率。

高速公路事故路段在不采用交通诱导装置进行干涉情况下,事故路段交通拥堵消散速率将会降低,事故后将会产生更为严重的交通拥堵。基于决策树模型可知,高速公路车辆相撞导致人员受伤的事故持续时间约为 50~71 min^[10]。同时,事故持续时间每延长 10 min,将导致事故影响范围扩大约 1.2 km。若高速公路发生车辆相撞事件,排队的长度与时间将直接影响到行车人员的生命安全^[11],表 3 为高速公路事故发生后不同时间段内受伤人员的存活率。

表 3 不同事故持续时间内人员存活率
Tab.3 Survival rate during the duration of the accident

事故持续时间/min	人员存活率/%
1~7	94.8
8~14	75.3
15~60	40
61~90	10

使用高速公路新型智能光电轮廓标进行交通诱导可有效提升高速公路交通事故的消散速率,缩小事故影响范围,及时对因事故受伤的行车人员进行救治,降低高速公路事故死亡率,减小因事故造成的事故与经济损失。

5 结论

与目前高速公路设置的逆反射式轮廓标和 LED 诱导屏相比,高速公路新型智能光电轮廓标功能多样化、事故预警与报警功能实现动态化与实时化、远程控制端数据处理智能化。其能够对道路车辆进行实时车流密度提醒,提高事故路段交通诱导效率与高速公路路段诱导智能性,节省因道路交通事故或交通严重拥堵带来的人力与经济损失。

高速公路新型智能光电轮廓标诱导范围广,诱导成本低,可设置于高速公路波形梁护栏,对路段车辆进行智能交通诱导。

参考文献:

- [1] 曹仁霞,王迎,马岳. 高速公路交通事故预测研究[J]. 中外公路,2015,35(4):326-329.
- [2] NAM D, FRED M. An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration[J]. Transportation Research-A, 2000,34A(2):85-102.
- [3] 包兴臣,孟强. 高速公路主动发光轮廓标应用方案设计探讨[J]. 中国交通信息化,2017(4):113-115.
- [4] 全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会. JT/T 388-1999 轮廓标技术条件[S]. 北京:中国标准出版社,1999.
- [5] 唐远鸿,李岩,李菲,等. 基于 Wi-Fi 环境下 LED 照明智能化控制系统的设计与实现[J]. 科技视界,2016(9):46-47.
- [6] 张俊峰,张兰芳,董宪元. 高速公路路网环境事故影响范围预测方法[J]. 华东交通大学学报,2017,34(1):85-91.
- [7] 王炜. 交通工程学[M]. 南京:东南大学出版社,2008:122-126.
- [8] 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(5):934-939.
- [9] 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.
- [10] 刘伟铭,管丽萍,尹湘源. 基于决策树的高速公路事件持续时间预测[J]. 中国公路学报,2005,18(1):99-103.
- [11] 杨惠敏,陈雨人,方守恩,等. 高速公路交通事故救援时间与生存率关系模型研究[J]. 交通信息与安全,2015,33(4):82-86.