

# 基于物联网的高速公路主动发光诱导系统设计

时恒心<sup>1</sup>, 孟强<sup>2</sup>, 刘梦依<sup>2</sup>, 王润民<sup>1</sup>

(1. 长安大学 信息工程学院, 陕西 西安 710064;

2. 山东省交通规划设计院, 山东 济南 250031)

**摘要:**近年来,交通压力与日俱增,高速公路的安全问题也日益凸显。研究表明,低能见度环境会导致交通安全事故发生机率提升。因此,提高高速公路低能见度环境下交通诱导水平从而提升交通运行的安全性愈加重要。为了解决上述问题,提出了一种基于物联网的高速公路路侧主动发光诱导系统。该系统基于智能检测技术和局域网构建技术,通过协同短距离 Zigbee 通信技术和长距离光纤通信技术,构建高速公路智能化监测控制网络,通过车-路协同控制路侧发光诱导装置对低能见度环境下的高速运行车辆进行有效诱导,提高高速公路的交通安全性。通过模拟实验,该系统能够大大降低设备铺设路段交通安全事故的发生率,且相比于原有 LED 发光设备,该系统也具有更好的节能效果。

**关键词:**高速公路;低能见度;行车诱导;主动发光;Zigbee

中图分类号:TP302

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)04-0115-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.04.022

## Design of Active Luminescence Induction System for Expressway Based on Internet of Things

SHI Heng-xin<sup>1</sup>, MENG Qiang<sup>2</sup>, LIU Meng-yi<sup>2</sup>, WANG Run-min<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Shandong Traffic Planning and Design Institute, Jinan 250031, China)

**Abstract:** In recent years, the traffic pressure is increasing day by day, the highway safety is also increasingly prominent. Research has shown that low visibility will increase the incidence of traffic accidents. Therefore, it is more and more important to improve the level of traffic inducement in the low visibility of expressway so as to improve the safety of traffic. In order to solve the above problems, we propose an active luminous guidance system based on Internet of things. Based on intelligent detection technology and LAN construction technology, through collaborative short-distance Zigbee communication technology and long-distance optical fiber communication technology, this system builds the intelligent monitoring and control network of expressway. Through the car-road coordination control of roadside luminous induction device, the high-speed vehicles in low visibility can be effectively induced to improve the traffic safety of the expressway. Through field tests, the system can greatly reduce the incidence of traffic accidents in paved road sections, and compared with the original LED lighting equipment, it also has better energy saving effect.

**Key words:** expressway; poor visibility; driving inducement; active luminescence; Zigbee

## 0 引言

近年来,随着交通系统压力逐年增大,高速公路<sup>[1]</sup>交通安全事故的发生愈加频繁,高速公路诱导系统作为降低高速公路事故发生率的有效手段得到广泛应用。以降低低能见度环境下高速公路交通安全事故的发生率为目的,文中提出了一种基于物联网的高速公路路侧主动发光诱导系统。现有的高速公路大多采用

被动发光系统对车辆进行诱导,该方式主要通过轮廓标上设置反光膜<sup>[2]</sup>,通过反射行驶车辆的灯光达到对车辆进行诱导的目的,但通过反射方式运行的轮廓标诱导装置存在以下不足。该被动发光系统反射轮廓标的反光强度较弱,大约只有 300~400 mcd,若驾驶员未开启远光灯或灯光较暗,则反射效果会更弱,难以对高速行驶的车辆起到很好的诱导作用;该系统轮廓

收稿日期:2019-05-11

修回日期:2019-09-12

网络出版时间:2019-12-05

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFB0105104);国家自然科学基金重点项目(U1864204);陕西省重点研发计划项目(2018ZDCXL-GY-05-02)

作者简介:时恒心(1994-),男,硕士研究生,研究方向为计算机网络、无线通信。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20191205.1146.072.html>

标上的反光膜由于长期暴露于空气中,容易出现老化,使反射功能下降,也会降低轮廓标的诱导作用;特殊天气环境下,该系统由于光的反射和散射,导致反射轮廓标的反光强度较低,影响诱导标的诱导作用;在路线曲率较小的转弯路段,该系统的反射轮廓标反光强度较低,影响诱导标的诱导作用。

文中提出的基于物联网<sup>[3]</sup>的高速公路路侧主动发光诱导系统,在当前道路交通环境下,可以通过被动检测和主动发光诱导的方式提高交通系统的安全性,因此,对降低交通安全事故的发生率有重要意义。

## 1 低能见度环境下高速公路路侧行车诱导系统需求分析

影响高速公路能见度的主要因素可分为大雾、雾霾、暴雨、暴雪和沙尘暴等,通过分析不同低能见度环境下的交通流数据,结合对低能见度条件下交通事故发生情况的统计,得出不同低能见度条件对交通流的影响,见表 1。

由表 1 可知,低能见度环境对交通流的影响较大,且对交通系统的安全性有较大影响,因此,如何提高低能见度环境下高速公路的通行能力和安全性成为交通系统的关键问题。全国各交通部门迫切需要一种提高

低能见度环境下高速公路行车安全性的方案,希望该方案能够根据不同的外界环境提出不同的发光诱导策略,能够通过诱导的方式达到提高高速公路行车安全性的目的。

表 1 低能见度天气对交通流的影响

天气因素	道路环境	交通流影响	道路运营影响
大雾 雾霾 沙尘暴	能见度 道路标线可视性	通行能力	驾驶员行为
		车速较低	交通管制
		出行时间延误 易发生事故	道路限速 交通诱导
暴雨、暴雪	能见度 道路标线可视性 路面附着系数	通行能力	车辆性能
		车速较低	驾驶员行为
		出行时间延误 易发生事故	道路限速 交通诱导

## 2 高速公路路侧主动发光诱导系统设计方案

文中提出了一种基于物联网<sup>[4-5]</sup>的高速公路路侧主动发光诱导系统,该系统的结构设计主要分为以下四部分:一是信号感知模块<sup>[6]</sup>;二是中央控制模块;三是远程监控模块;四是终端控制模块,各模块之间的组成方式如图 1 所示。

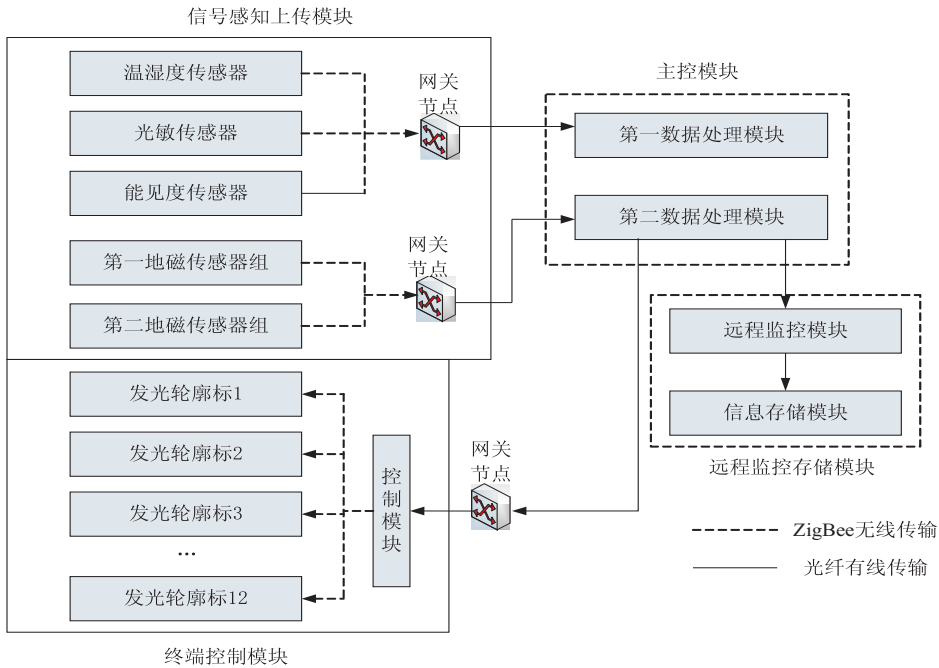


图 1 主动发光诱导系统模块连接图

### 2.1 主动发光诱导系统的模块组成

#### 2.1.1 信号感知上传模块

主动发光诱导系统的信号感知上传模块主要由三部分组成,一是车辆信息感知模块,二是环境信息感知模块,三是网关节点。车辆信息感知模块主要由两组地磁传感器组成,分为第一地磁传感器组和第二地磁

传感器组。其中第一地磁传感器组置于车辆行驶诱导区域的入口位置,第二地磁传感器置于车辆行驶诱导区域的出口位置,两组地磁传感器可以实时监测道路车辆通过情况,向主控模块反馈车辆通过信息;环境信息感知模块主要由温湿度传感器、光敏传感器和能见度传感器组成,主要用于检测外部环境的温湿度、光照

强度和空气能见度,并将交通外部环境信息上传到主控模块;网关节点充当装置的网络互联设备,主要作用是实现各个模块之间的网络互联。

### 2.1.2 终端控制模块

终端控制模块主要由多个主动发光轮廓标(12个轮廓标为一组)和控制模块组成,其中轮廓标作为该设备的核心器件,其发光功率主要根据主动发光轮廓标的无线通信距离、无线射频信号的中心频率和设备灵敏度计算得到,轮廓标的光源为LED灯,且轮廓标上均有逆反射反光膜,用来增加光照强度,其中逆反射反光膜位于LED发光器件的内侧。另外,上述发光轮廓标可以发红色和黄色两种颜色的光,而且发光的频率可控;控制模块的主要功能为接收来自主控模块的信息,对轮廓标的发光策略进行控制。

### 2.1.3 主控模块

主控模块置于车辆行驶诱导区中段,且与地磁传感器组通过无线的方式连接,与网关节点之间通过有线的方式连接。主控模块主要由 Zigbee<sup>[7-8]</sup> 信号收发模块和数据处理模块组成,信号收发模块的功能主要有两部分,一是接收来自信号感知上传模块的信息,二是将数据处理模块的处理结果发送到终端控制模块,用来控制发光轮廓标发光。

### 2.1.4 远程监控存储模块

远程监控存储模块通过有线的方式与主控模块连接,其主要功能是实现对轮廓标发光情况的实时监控并存储相关数据信息,另外,该模块还可向主控模块发送强制信号用来实现终端控制模块轮廓标发光策略强制改变。

## 2.2 主动发光诱导系统的工作流程

该装置的工作流程(见图2)如下:

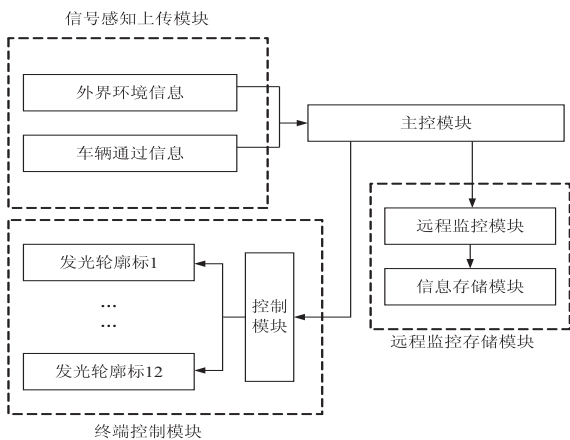


图2 主动发光诱导系统工作流程

(1)信号感知上传模块通过温湿度传感器、光敏传感器和能见度传感器获取各类环境信息,包括空气能见度、温湿度和光照强度;

(2)信号感知上传模块通过在路侧安装地磁传感

器,实时测量是否有车辆通过发光诱导区域;

(3)信号感知上传模块将所获得的环境信息和车辆的通过信息上传至主控模块;

(4)主控模块根据所获得的信息进行决策,决定是否启动路侧主动发光设备进行车辆诱导;

(5)主控模块将决策信息发送给终端控制模块,终端控制模块根据决策结果对路侧主动发光设备进行发光控制;

(6)主控模块将决策结果上传至远程监控模块,远程监控模块可实时监控各个监控路段路侧主动发光轮廓标<sup>[9]</sup>的运行情况,且可强制控制各个路段主动发光轮廓标的运行情况。

## 2.3 主动发光诱导系统的布设分析

主动发光轮廓标诱导装置的应用场景示意图如图3所示。

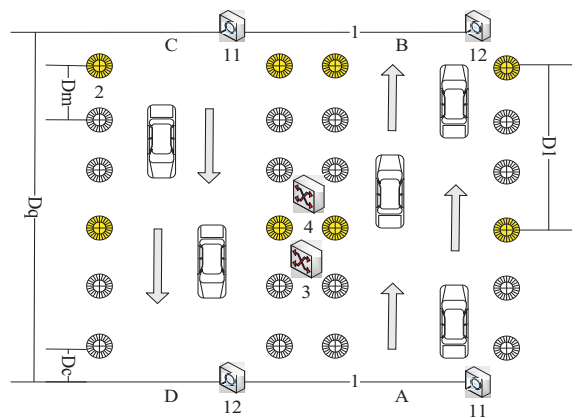


图3 主动发光轮廓标诱导装置应用场景示意图

图3为双向单车道主动发光诱导系统的应用场景示意图,标号对应的设备信息如下:A、C-车辆诱导区域的入口,B、D-车辆诱导区域的出口,1-地磁传感器组,11-第一地磁传感器组,12-第二地磁传感器组,2-主动发光轮廓标,3-主控模块,4-网关节点。

在实际应用中,如图3所示,以C-D车道为例,当车辆由入口C驶入车辆行驶诱导区域,沿行车方向,该车依次通过第一地磁传感器组、主动发光轮廓标和第二地磁传感器,且第一地磁传感器与沿行车方向第一个发光轮廓标之间的距离为 $D_c$ ,相邻发光轮廓标的间距为 $D_m$ ,发光轮廓标布设的最小距离为 $D_m$ 。

$D_c$ 的计算方式如下:

$$D_c = \frac{v \cdot t}{3.6} + \frac{(v/3.6)^2}{2gf_1} \quad (1)$$

其中, $g$ 为重力加速度, $f_1$ 为车辆与地面摩擦力的阻力系数(不考虑其他阻力), $t$ 为紧急制动的反应时间(通常取1.0s), $v$ 为驶入车辆的平均速度。

$D_m$ 的计算方式如下:

在图4中,为了避免发生车辆追尾事故,需满足:

$$D_m = L_f + L_z - L_q \leq L_j \quad (2)$$

其中,  $L_f$  为制动反应距离,  $L_z$  为制动距离,  $L_q$  为前方车辆的行驶距离,  $L_j$  为环境能见度距离。设  $t_f$  为制动反应时间,  $t$  为制动时间。

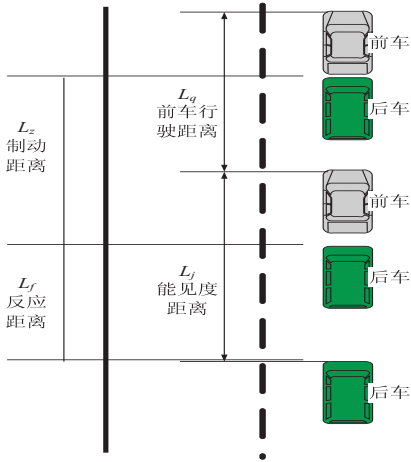


图 4 运行速度分析

因此,由上述分析可知,在相应的能见度条件下对高速公路上行驶车辆进行限速很有必要,甚至可以采取封锁高速等强制措施

式(2)中制动反应距离  $L_f$  取决于制动反应时间  $t_f$  和车辆制动时的行驶速度  $v_0$ 。

$$L_f = v_0 t_f \quad (3)$$

根据加速度与位移的关系:

$$L_z = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (4)$$

根据上式,可求得:

$$L_z = -\frac{v_0^2}{2a} \quad (5)$$

根据《公路工程技术标准》(JTGB01-2003)的规

定,制动反应时间  $t_f$  取 2.5 s,假设前方车辆以  $v_1$  的速度匀速行驶,将式(5)代入式(2)可得:

$$D_m = 2.5 v_0 - \frac{v_0^2}{2a} - v_1(2.5 + t) \leq L_j \quad (6)$$

在图 3 中,在直线型道路和曲线型道路中  $D_1$  的值不同。一般情况下,考虑到发光轮廓标功率在不同环境下的透射效果,经过反复试验,确定在直线型道路中  $D_1$  的值为 32 m,在曲线型道路中,综合发光轮廓标的发光功率及曲线道路的曲率半径,经过反复试验,得到不同曲率半径条件下  $D_1$  的值,见表 2。

表 2 不同曲率半径下  $D_1$  的值

曲率半径/m	<90	91-180	181-275	376-375	>375
$D_1$	8	12	16	24	32

### 2.4 行车诱导控制策略设计

主动发光诱导系统主要由外界环境信息和诱导区域的交通流信息共同控制,其中外界环境信息的控制优先级高于交通流信息,若光敏传感器、能见度传感器和温湿度传感器的检测值<sup>[10-11]</sup>均高于固定阈值(经验值),则无论此时该发光诱导区域是否存在交通流,发光诱导轮廓标均处于关闭状态,若传感器检测到的外界环境信息低于固定阈值,则地磁传感器组开始检测交通流,控制器根据交通流信息控制发光轮廓标的工作状态。

主动发光诱导系统的发光策略主要根据外界环境的可见度、路面的附着系数和车辆的行驶速度决定,发光策略的不同主要通过灯光闪烁的数量,灯光的颜色,灯光闪烁的频率来决定。文中提出的主动发光诱导策略的实现方法见表 3。

表 3 不同能见度下发光诱导策略

可见度距离 $d/m$	车 前			车 后		
	闪烁方式	闪光数量	闪光距离	闪烁方式	闪光数量	闪光距离
$d < d_1$	红色高步闪烁	所有灯光	$2 \times d_1$	红色高速闪烁	所有灯光	$2 \times d_1$
$100 > d > d_1$	红色同步闪烁	所有灯光	$d_v$	黄色高速闪烁	所有灯光	$d_v$
$200 > d > 100$	黄色同步闪烁	间隔一个发光	$d_v$	红色同步闪烁	间隔三个发光	$d_v$
$500 > d > 200$	黄色同步闪烁	间隔三个发光	$d_v$	黄色同步闪烁	仅尾灯发光	$d_v$
$d > 500$	黄色常亮	间隔五个发光	$d_2$	红色常亮	仅尾灯发光	$d_2$

表 3 中  $d_1$ 、 $d_v$  和  $d_2$  的计算方式如下:

$d_1$  的计算:设在当前能见度环境下,高速公路车辆行驶要求的最低速度为  $v_{min}$ ,则将  $v_0 = v_1 = v_{min}$  代入式(6),即可得  $d_1 = D_m$ ;

$d_v$  的计算:设在当前能见度环境下,高速公路车辆行驶的平均速度为  $v_a$ ,则将  $v_0 = v_1 = v_a$  代入式(6),即可得  $d_v = D_m$ ;

$d_2$  的计算:设在当前能见度环境下,高速公路车辆行驶的最高速度为  $v_{max}$ ,则将  $v_0 = v_1 = v_{max}$  代入式(6),即可得  $d_2 = D_m$ 。

当由交通流信息控制发光轮廓标工作状态时,发光控制思想为:发光诱导区域内有车辆通过,则发光轮廓标诱导装置打开,经过一段时间(1 min)若无车通过便自动熄灭。在一个控制器控制的发光诱导区域内,当该组设备中第一地磁传感器组检测到有车辆通过入口,且同时第二地磁传感器未检测到车辆通过出口时,则控制器判断该诱导区域内有车辆经过,此时打开主动发光轮廓标,对诱导区域的车辆进行特殊天气环境下的行车诱导<sup>[14-15]</sup>。此时,当第二地磁传感器组检测到车辆通过诱导区域,延时程序启动,且检测程序优先

级高于延时程序,延时程序运行时间为1 min,在该时段发光轮廓标诱导装置一直处于发光状态,此时若无车辆通过,则延时程序运行结束后,主动发光轮廓标熄灭,延时程序运行期间,若第一地磁传感器组检测到有车辆经过,则延时程序停止运行(不记录中断,启动时重新运行),直到第二地磁传感器组检测到车辆通过该发光诱导区域,延时程序重新启动,如此反复运行。

## 2.5 道路拥堵与交通安全事故预测

上述系统除了能够实现对低能见度环境下高速公路车辆的行驶诱导,还可实现道路拥堵与交通安全事故预测功能<sup>[16-17]</sup>。其检测道路拥堵情况的具体实现方法有两种,第一种方法是通过地磁传感器组对通过车辆的速度进行检测,根据对车辆速度的检测结果对道路拥堵情况进行预测,当行驶车速小于某个固定的阈值,则认定为堵车。该方法需要在每个地磁传感器安装点位安装两个地磁传感器,成本较高;第二种方法是通过计算在某路段滞留车辆的数量判断该路段的拥堵情况,具体操作步骤如下:当车辆通过入口处的地磁传感器时,记录车辆进入该区域的信息,同理,当车辆通过出口处的地磁传感器时,记录车辆驶出该区域的信息,最后实时统计该路段滞留车辆的数量,通过滞留车辆的数量判断路段的拥堵情况,当滞留车辆的数量大于某个阈值,则认为该路段堵车。

该系统除了进行道路拥堵预测,还可以进行交通安全事故的检测,其具体实现方法如下:当有车辆经过第一地磁传感器组进入该区域,经过一定的时间(阈值)未通过第二地磁传感器组,则该车辆可能出现故障,若多辆车出现该状况,则可能出现交通安全事故,此处应该借助道路拥堵情况的检测结果进行分析,若为堵车的情况,该阈值时间相对较长,若为不堵车的情况,则该阈值相对较短,此处阈值时间根据不同路段,不同外界环境和不同车辆通过情况进行认定,如果系统监测到发生交通事故,则此时监控存储模块报警,提示及时处理该路段的交通状况。

## 3 结束语

随着经济社会的发展,交通系统压力越来越大,交通安全问题也显得愈加重要,因此,如何提高道路系统的使用效率,降低交通系统的事故发生率成为交通领域亟待解决的难题。文中提出了一种基于物联网的高速公路路侧主动发光诱导系统。该系统基于智能检测技术和局域网构建技术,通过协同短距离 Zigbee 通信技术和长距离光纤通信技术,构建高速公路智能化监测控制网络,通过该网络对低能见度环境下的高速运行车辆进行有效诱导,提高高速公路的交通安全性。该系统还可以利用现有设备,对路段的拥堵情况

进行检测,并且能够在一定程度上检测交通安全事故的发生。综上所述,该系统能够在低成本的情况下,实现对高速公路的优化,提高高速公路行车的安全性,也能够实现高速公路各路段的远程监控,促进交通系统的智能化发展。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张春玲,蒋珉,柴干.基于MapX的高速公路动态拓扑结构的构建[J].计算机技术与发展,2010,20(12):205-208.
- [3] 董亮,张灵,陈云华.基于限制广播的 ZigBee 分布式动态能量均衡协议[J].传感技术学报.2014,27(8):1120-1124.
- [4] 范兴刚,徐俊超,车志聪,等.一种概率栅栏覆盖模型及其构建算法[J].计算机研究与发展,2017,54(5):969-978.
- [5] 戴光麟,方凯,方飞,等.基于集合最大流算法的 WSN 栅栏修复方法研究[J].传感技术学报,2016,29(11):1742-1747.
- [6] 冀文娟,石为人,李明,等.异构无线传感器网络中多目标优化节点部署策略[J].传感器与微系统,2012,31(3):29-31.
- [7] 张冲,熊勇,房卫东,等. ZigBee 网络性能测试系统研究[J].国外电子测量技术,2015,34(8):74-81.
- [8] 梅海彬,张明华,黄冬梅.基于无线传感器网络的实时近海环境监测系统设计[J].计算机应用与软件,2015,32(1):110-113.
- [9] 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.
- [10] 刘洋.高速公路安全设施设计方法[D].西安:长安大学,2012.
- [11] 梁启靓.基于 GeoServer 的开源 WebGIS 开发与应用[D].西安:长安大学,2010.
- [12] 张国山,刘振.雾霾天气下交通标志的检测与识别[J].天津工业大学学报,2015,34(5):71-75.
- [13] 刘东,金凤君.我国重点区域公路网络发展水平评价研究[J].交通运输系统工程与信息,2013,13(3):189-195.
- [14] YU R, ABDEL-ATY M, AHMED M. Bayesian random effect models incorporating real-time weather and traffic data to investigate mountainous freeway hazardous factors[J]. Accident Analysis and Prevention,2013,50:371-376.
- [15] YEO H, JANG K, SKABARDONIS A, et al. Impact of traffic states on freeway crash involvement rates[J]. Accident Analysis and Prevention,2013,50(4):713-723.
- [16] BUNN T L, SLAVOVA S, HALL L. Narrative text analysis of Kentucky tractor fatality reports[J]. Accident Analysis and Prevention,2008,40(2):419-425.
- [17] ANDREY J, MILLS B, LEAHY M, et al. Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities[J]. Natural Hazards,2003,28(2):319-343.