

公路隧道灾害预警救援一体化系统及算法实现

吴婧, 沈斐敏

(福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350116)

摘要: 针对现有的公路隧道火灾预警方式及措施比较单一, 提出一套由多个传感器群感应热辐射、有毒气体、温度、可见度和车速, 采集器和微控制器实时监控、突发事件预警响应的公路隧道灾害预警监控系统, 使火灾和交通事故的报警、救援一体化。该系统由传感器群、报警控制主机、现场设备和通信系统组成。首先阐述该系统的工作原理, 将事故等级分为轻微事故、一般事故、应急事故和危险事故, 并对各级事故的救援预案进行了说明; 最后, 根据公路隧道灾害预警系统的算法设计, 编制对应的程序, 该程序界面简明直观, 信息量大, 实用性强。

关键词: 公路隧道; 预警; 监控系统; 算法设计; 应用程序

中图分类号: X951; U458.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2015)04-0366-06

Disaster pre-warning and rescue integral system of highway (road) tunnels and algorithm implementation

Wu Jing, Shen Feimin

(College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: Considering that the fire pre-warning measures of the existing highway (road) tunnels were simple, a monitoring system integrated with the functions of real-time detection and emergency alert response was proposed. The system used a set of sensors to detect the thermal radiation, the toxic gases, the temperature, the visibility and the driving speed in the tunnel, in which a data collector and a micro control unit were incorporated to realize the pre-warning in real time that integrates the pre-warning and rescue of the fire and traffic accidents. The system consists of a sensor group, an alarm panel, site equipment and communication systems. The working principle of the pre-warning system was described. The accidents were divided into four categories: minor, general, emergency and dangerous incidents, the rescue plan of which were discussed. The corresponding algorithm of the pre-warning system was programmed, which is visual, informative and practical.

Keywords: highway tunnel; pre-warning; monitoring system; algorithm design; application program

近几年来,随着交通运输业的蓬勃发展、隧道的不断涌现和隧道内交通量的增大,使得载有各种可燃物质的车辆通过隧道的数量和频率都在增长,由于隧道内通风不畅,温度上升快,遇到高温和明火,极易发生火灾和爆炸。如果同时隧道内

发生交通拥堵,此时汽车排出的尾气难以及时排除,当有毒有害气体累积到一定浓度后,对人体健康不利,同时也会导致发生火灾事故的风险机率大大增加。

预警是对灾害或危险状态的一种预先信息警

报或警告^[1]。国内在公路隧道安全预警监控领域的研究相对滞后,而国外在这方面起步较早、发展快。英国的 Dabill 等人在 1996 年通过试验研究了隧道中温度、压力、湿度对有毒气体监测系统检测值的影响,对提高隧道监控系统的监控精确度具有重要意义^[2]。同年美国的 Anon 提出了对隧道中的有毒气体 CO 用 PLC 进行自动监测并显示。^①2004 年 Hellery 等根据火焰颜色^[3]、Liu Chebin 等利用红外图像探测^[4]来达到火焰识别的方法。2006 年 B. Uğur Töreyn 提出基于 HSV 色彩空间和亮度的方法^[5],但容易与路灯或汽车灯光发生混淆,造成误报^[6]。国内方面,2001 ~ 2004 年,西南交通大学针对目前国内最长的公路隧道——秦岭终南山特长公路隧道(18km)而开展的系统的防灾救援技术,侧重在灾害发生后的救援预案研究。李得俊 2006 年在“公路隧道监控系统探讨”一文中建立了隧道监控系统网络的层次结构模型,介绍了监控系统软、硬件的组成、结构和特点^[7]。2007 年蔡黎等对三峡库区隧道火灾提出了一种基于 DDE 技术的语音预警系统和具体实现方法^[8]。2009 年肖劲夫等人通过对上海市公路隧道运营的实地调研以及欧洲主要城市公路隧道的资料收集,对城市公路隧道预警指标的选择进行了研究,从而为城市公路隧道预警系统的规范化、标准化提供了一定的理论依据^[9]。2014 年偶建磊等人研究出了一套对隧道中有毒尾气实时感应、自动检测、实现日常实时预警提示和突发事件应急救护一体化的监控系统^[10]。以上研究提出的火灾预警系统有的偏重理论,有的措施和方式比较单一,不适合各种复杂的隧道环境,易受到外界干扰,容易产生漏报或者误报,而且没有考虑从空间位置信息及整体表现出的特征。本文提出一套基于多参数评判的公路隧道灾害预警监控系统,使火灾和交通事故的现场和远程预警、救援一体化,结合视频监控与语音播报,使各种灾害和事故及时发现,救援和处理快速高效。

1 预警系统设计与原理

1.1 系统的设计

公路隧道灾害预警监控系统的组成,包括传感器群、报警控制主机(采集器+微控制器)、现

场设备和通信系统,如图 1 所示。

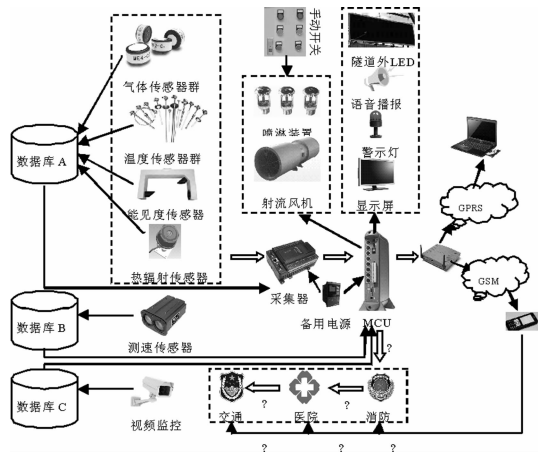


图 1 公路隧道灾害预警救援一体化系统
Fig.1 Disaster pre-warning and rescue integral system of highway (road) tunnels

(1) 传感器群

一条公路隧道运营环境的健康与否,可通过隧道内温度、相对湿度、能见度、照度、风速、交通量、行车间距、车速、有害气体(CO、NO₂等)浓度等参数来反映。参照我国的规范和标准^[11-13],对公路隧道的防火与疏散做了部分规定,但均不完善,难以满足实际的需要。根据美国消防协会 NFPA 发布的《公路隧道、桥梁和限制通行的高速公路的防灾设计标准》(NFPA 502-2011),最终确定隧道火灾预警参数为隧道内温度、热辐射强度、CO 浓度和能见度,隧道交通拥堵预警参数为行车速度,如表 1 ~ 3 所示。

(2) 报警控制主机

报警控制主机由采集器和微控制器(micro control unit, MCU)组成。采集器能接收传感器发送的信号,再由报警控制继电器输出,并且能够与 MCU 进行通信向上位机直接发送;MCU 能提供远程和实时通信,包括显示屏实时显示,隧道外 LED 显示,警示灯报警和现场语音播报的控制,以及视频监控图像播放。

(3) 现场设备

现场设备主要包括射流风机、喷淋装置、备用电源以及 LED、语音播报设备、警示灯和视频监控。主要用于当灾害发生时,提醒车辆和人员,控制和监视灾害的发展过程,以有效减小灾害的损失。

① Anon. System controls toxic gases in tunnels. Public Works, 1996(6):43-46.

表 1 公路隧道火灾事故判别标准

Tab.1 Criteria for judgements of highway (road) tunnel fire

火灾事故类型	警度	温度/℃	热辐射强度/(W · m ⁻²)	CO 浓度	可见度/m	事故等级	救援响应等级
特大火灾	特警	≥80	≥6 305	≥2 000 × 10 ⁻⁶	≤10	危险事故	I 级响应
重大火灾	重警	70 ~ 79	2 500 ~ 6 305	(1 150 ~ 2 000) × 10 ⁻⁶	10 ~ 50	应急事故	Ⅱ级响应
一般火灾	中警	50 ~ 69	1 576 ~ 2 500	(450 ~ 1 150) × 10 ⁻⁶	50 ~ 100	一般事故	Ⅲ级响应
小型火灾	轻警	40 ~ 49	940 ~ 1 576	(200 ~ 450) × 10 ⁻⁶	100 ~ 200	轻微事故	Ⅳ级响应
安全状态	安全	<40	<940	<200	<200 × 10 ⁻⁶	—	—

表 2 公路隧道交通事故判别标准①

Tab.2 Criteria for judgements of road tunnel traffic accidents

交通事故类型	警度	伤亡程度	事故等级	救援响应等级
特大事故	特警	死亡 3 人以上,或者重伤 11 人以上,或者死亡 1 人,同时重伤 8 人以上,或者死亡 2 人,同时重伤 5 人以上,或者财产损失 6 万元以上	危险事故	I 级响应
重大事故	重警	死亡 1 ~ 2 人,或者重伤 3 人以上 10 人以下,或者财产损失 3 万元以上不足 6 万元	应急事故	Ⅱ级响应
一般事故	中警	重伤 1 ~ 2 人,或者轻伤 3 人以上,或者财产损失不足 3 万元	一般事故	Ⅲ级响应
轻微事故	轻警	轻伤 1 ~ 2 人,财产损失机动车事故不足 1 000 元,非机动车事故不足 200 元	轻微事故	Ⅳ级响应

表 3 公路隧道交通拥堵判别标准

Tab.3 Criteria for judgements of highway (road) tunnel jams

		不同设计速度公路隧道交通拥挤程度		
拥挤程度	警度	行车速度阈值/(km · h ⁻¹)		
		40	60	80
严重拥挤	重警	[0,10)	[0,15)	[0,20)
中度拥挤	中警	[10,20)	[15,25)	[20,30)
轻度拥挤	轻警	[20,30)	[25,40)	[30,50)
畅通	正常	≥30	≥40	≥50

(4)通信系统

通信系统主要由有线通信和无线通信(GSM、GPRS 网络)组成,用来连接消防部门、急救中心、交通监管部门以传输数据库中的数据以及联系相关责任人。

1.2 预警系统的工作原理

公路隧道灾害预警系统的工作流程如图 2

所示。

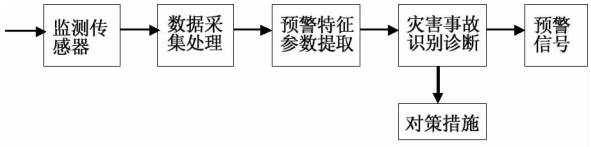


图 2 公路隧道灾害预警系统的工作流程

Fig.2 Workflow of highway (road) tunnel disaster pre-warning system

当隧道发生事故时,热辐射传感器能够探测到明火和辐射强度并产生模拟信号;可见度传感器检测到达到阈值的烟雾时会产生模拟信号;温度传感器和气体传感器当检测到高于预警温度和体积分数时会产生相对应的模拟信号;激光测速传感器能测出车辆运行速度并输出光电信号;视频监控系統实时监控取得隧道内的视频信息。这些信号作为输入信号进入采集器、MCU 以及各数据库,同时报警控制继电器输出;当控制室(或值班室)显示屏实时显示有关热辐射、可见度、温度

① 公安部关于修订道路交通事故等级划分标准的通知,(2003-06-09),人民网,http://people.com.cn/。

和 CO 气体浓度值达到相应阈值并有相应的安全提示时,查看车速传感器检测的行驶车辆中是否有车速为零的情况,如果有调入视频监控,由中央控制中心负责人员进行事故识别判断(是否为火灾、交通事故或交通拥堵),根据相应的警情程度,实施相应救援响应,MCU 实时通信和远程预警通信,进行事故识别判断和分级预警并发出指令信号。同时通过 Internet 网络启动各部门的控制室警报,并启动 GSM、GPRS 远程远端技术传输给监控中心责任人员的电脑、手机设备上,各部门负责人提取数据库数据作为救援的参考和依据,实施救援预案。本系统依照事故等级(见表 1~3)分为轻微事故、一般事故、应急事故和危险事故,对应的救援响应为Ⅳ级、Ⅲ级、Ⅱ级和Ⅰ级响应,表 4 为各种事故的救援预案^[14]。

2 预警算法设计和软件运行界面

根据上述公路隧道灾害预警模式的研究,设计公路隧道灾害预警系统算法流程图,如图 3 所示。

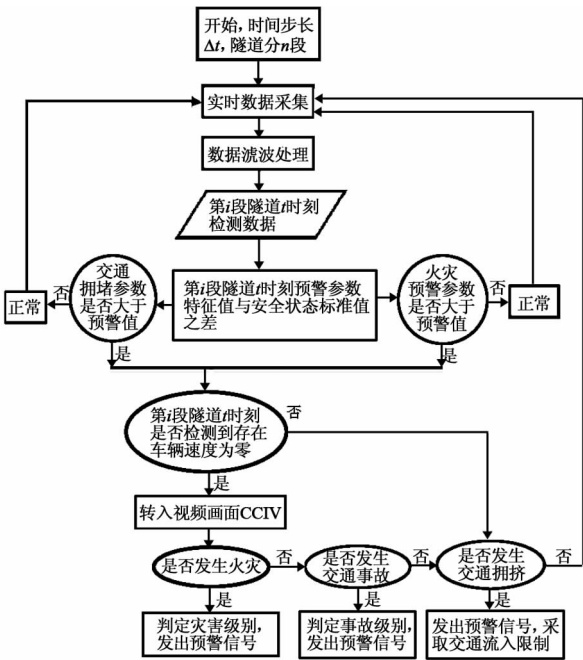


图 3 公路隧道灾害预警系统算法流程图

Fig. 3 Algorithm flowchart of highway (road) tunnel disaster pre-warning system

表 4 各种事故的救援预案
Tab. 4 Accidents rescue plans

事故级别	中央控制室	警示装置	通风	管理部门
轻微事故	火源定位,现场管理人员利用泡沫灭火器进行灭火,处理受伤人员和事故车辆,实时监控各数据库数据,监测事故发展状况	隧道外 LED 显示隧道内火源位置和警情,警示灯闪烁,现场语音设备开始播报,提醒隧道内外车主注意火情,避免造成心理恐慌	—	—
一般事故	火源定位,利用泡沫灭火器进行灭火,火被扑灭后,开启喷淋系统对可燃物进行降温,防止火势扩大	隧道外 LED 显示隧道内火源位置和警情,警示灯报警闪烁,现场语音设备提醒准备驶向该火源方向的车辆绕行,隧道内的车辆及时驶离危险区域	—	触发消防部门、急救中心和交管部门警报,通过无线设备利用 GPRS 将数据传输到监控中心管理人员的电脑上,开启 GSM 手机通知 120 急救部门和 119 火灾报警中心,救护受伤人员
应急事故	火源定位,条件允许的情况下,先利用泡沫灭火器进行灭火,火势减小后,开启水雾喷淋系统降烟、降温、控火	隧道外 LED 显示隧道内火源位置和警情,警示灯报警闪烁,限制隧道外车辆进入隧道,现场语音设备告知事故车辆前方的车辆可直接驶离,后方的车辆立即停车,车上人员弃车逆向逃生,稳定被困人员情绪,配合救援行动的开展	启动射流风机和排烟机进行通风,但必须维持横通道口处于正压状态,抑制烟气进入未发生火灾的隧道,保证疏散人员迎着新风进入安全地带,同时满足等候区所需的新风	触发消防部门、急救中心和交管部门警报,开启 GSM 手机通知 120 急救中心和 119 火灾报警中心,救护受伤人员,执行紧急预案,消防人员和交警配合,指引疏散群众沿正确路线撤离,有序疏散隧道内被堵车辆

续表 4

事故级别	中央控制室	警示装置	通风	管理部门
危险事故	与指挥中心建立有线和无线的联系,将隧道监控图像接入指挥中心,根据现场情况进行操作	同应急事故	同应急事故	成立火灾事故抢险救援应急指挥中心,由 119 消防、120 急救和交管部门组成
交通轻度拥堵	—	—	—	触发交管部门警报,开启 GPRS 将信息传输给交管部门负责人手机上,通知有关人员引导车流
交通中度拥堵	—	隧道外 LED 显示隧道内车辆拥挤情况,警示灯报警闪烁	开启射流风机降低有毒气体浓度,降低隧道内温度和增加氧气量	利用云端技术开启 GPRS、GSM,将数据传输到交管部门负责人手机和电脑上,有关人员到现场加强交通疏导
交通严重拥堵	—	同中度拥堵	同中度拥堵	触发交管部门警报,开启 GSM、GPRS 手机通知交管部门负责人,有关人员到现场限制进入隧道车流量

软件运行信息显示界面如图 4、5 所示,公路隧道灾害预警程序在 VB6.0 版本上调试通过,能够在隧道辐射度、温度、气体、烟雾浓度、行车速度等条件满足预设预警条件的情况及时预警,达到预期效果。



图 4 公路隧道灾害预警系统运行界面

Fig. 4 Operation interface of highway (road) tunnel disaster pre-warning system



图 5 公路隧道灾害预警系统子窗口

Fig. 5 Sub-window of highway tunnel disaster pre-warning system

3 系统的特点

此系统可对火灾事故、交通事故和交通拥堵情况进行预警,并具有以下特点:

- 1) 传感器自动级别判断报警与人工视频识别相结合,准确率高,产生漏报或者误报情况极低;
- 2) 设立事故预警救援级别不仅便于系统程序设计,更优化资源配置,降低救援成本;
- 3) 建立有线和无线两种方式通信,在线路损

坏的情况下,通过无线设备,利用 GSM、GPRS 技术以及远程云端技术确保系统正常工作,保证了该系统的安全性和可靠性;

4) 程序界面简明、直观,信息量大,通用性、实用性强,报警及时准确,在公路隧道领域有较强的实用价值。

4 结语

该公路隧道灾害预警系统,可以实时监测公

路隧道火灾、交通事故和交通拥堵情况,实现遇险报警和预警救援等功能,为解决隧道安全问题提供了一套可行并具有实用价值的解决方案,对保证隧道的安全营运具有重要意义。当然该系统还有不尽完善的地方,在以后运行的过程中将逐渐改进。

参考文献:

- [1] 韩直,杨尚荣,易富君,等.公路隧道运营安全技术[M].北京:人民交通出版社,2012:215-219.
- [2] Dabill D W, Groves J A, Lamont D R. The effect of pressure on portable gas monitoring equipment during compressed air tunnelling [J]. The Annals of Occupational Hygiene,1996,40(1):11-28
- [3] Johan H, Nishita T. A progressive refinement approach for image magnification[C]//Proceedings of the 12th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications(PG'04). Washington D C:IEEE Computer Society,2004:351-360.
- [4] Liu Chebin, Ahuja N. Institute B. Vision based fire detection[C]//Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition. Cambridge: IEEE Press,2004:134-137.
- [5] Toreyin B U, Dedeoglu Y, Gudukbay U, et al. Computer vision based method for realtime and flame detectve[J]. Pattern Recognition Letters,2006,27(1):49-58.
- [6] 陈建新,刘青,陈佳.基于视频数据的公路隧道火灾预警算法[J].北京理工大学学报,2012,32(6):596-601.
- [7] 李得俊.公路隧道监控系统探讨[J].青海交通科技,2006(5):21-23
- [8] 蔡黎,谭泽富.三峡库区隧道火灾语音预警研究[J].重庆三峡学院学报,2007,23(3):5-7.
- [9] 肖劲夫,胡群芳,黄宏伟,等.城市公路隧道预警指标体系调研与分析[J].中国安全科学学报,2009,19(8):144-151.
- [10] 偶建磊,田大庆,龙伟,等.高速公路隧道火灾有毒气体快速预警救援系统[J].消防科学与技术,2014,33(4):429-431.
- [11] 中华人民共和国交通运输部.JTG D70/2-2014 公路隧道设计规范(第二册)交通工程与附属设施[S].北京:人民交通出版社,2014.
- [12] 中华人民共和国交通运输部.JTG/T D70/2-02-2014 公路隧道通风设计细则[S].北京:人民交通出版社,2014.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T18567-2010 高速公路隧道监控系统模式[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [14] 陈述,余迪,郑霞忠,等.重大突发事件的协同应急响应研究[J].中国安全科学学报,2014,24(1):156-162.

(责任编辑:陈雯)