

Energy Storage and Self-illuminating Anti-Fire Emergency Escape System of Highway Tunnel

Bin Liang, Shouwei Li

Highway Administration of Jinhua, Jinhua
Email: jh_liang_xiong@163.com, jhsglgclsw@126.com

Received: Jul. 10th, 2014; revised: Aug. 6th, 2014; accepted: Aug. 14th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The features of road tunnel accidents and reasons for its frequent occurrence are analyzed; the problems that exist in the present requirements for fire prevention and emergency escape design of road tunnel are discussed. Accordingly, the necessity of equipping road tunnel with energy storage self-illuminating system is pointed out. The composition, technical requirement of energy storage self-illuminating material, and evacuation signage are analyzed as well. Finally, some suggestions for present emergency escape system and emergency rescue measures of roads tunnel are proposed.

Keywords

Road Tunnel, Fire Prevention, Emergency Escape, Energy Storage Self-illuminating System

公路隧道蓄能自发光型防火灾 应急逃生系统

梁 冰, 李寿伟

金华市公路管理局, 金华
Email: jh_liang_xiong@163.com, jhsglgclsw@126.com

收稿日期: 2014年7月10日; 修回日期: 2014年8月6日; 录用日期: 2014年8月14日

摘要

本文分析公路隧道事故特点及多发原因,论述我国目前公路隧道防火、安全逃生设计要求及存在的问题、运营期隧道应急救援措施及问题;在此基础上提出设置隧道蓄能自发光型防火灾应急逃生系统的必要性,并分析蓄能自发光型防火灾应急逃生系统的系统组成、蓄能自发光型材料的技术要求和逃生引导标识;最后,结合我国目前公路隧道的应急逃生系统、应急救援措施,提出相应的建议。

关键词

公路隧道, 防火, 应急逃生, 蓄能自发光型系统

1. 引言

近年来,随着我国交通事业的快速发展,隧道数量急剧增加。截至2012年底,我国共有公路隧道10,022座、8,052,672米,其中大于3公里的特长隧道441座,长隧道1944座,中隧道2054座,短隧道5583座,水下隧道1座。隧道大规模的建设和使用,大大改善了公路特别是山区公路的路线指标,缩短了路线长度,提高了公路的服务水平和通行能力。但由于隧道内车辆行驶时相互碰撞和货物自燃等各种原因造成的隧道火灾事故也频繁发生。隧道火灾发生时会引起车辆、货物甚至是沥青路面燃烧,并释放出大量含有苯并芘、苯并葱、呋唑等致癌的烟气,大量的烟、热易造成人员伤亡,同时严重影响能见度,给安全疏散和救援工作带来很大困难。例如,2014年3月1日,山西省晋济高速岩后隧道内车辆追尾引发了隧道内火灾,事故共酿成31人死亡、9人失踪、42辆车被烧毁的严重后果。目前,隧道防火研究主要集中在隧道洞体的结构设计、施工技术、隧道通风、照明等方面,而对人员逃生特别是自救具有非常重要作用的隧道急逃生系统的研究却不多见。

2. 公路隧道火灾的特点及原因分析

2.1. 公路隧道火灾的特点

基于对公路隧道多起事故的分析,得出公路隧道的火灾具有如下特点:

1) 烟雾大。隧道内一旦发生火灾,特别是当供氧不足而燃烧不完全时,烟雾浓、发烟量大,有些材料燃烧时还会产生毒性气体。由于隧道空间小且近似处于密闭状态,燃烧产生的热量、烟气、毒害物质不易散发排除,导致隧道内司乘人员窒息、灼伤、中毒甚至死亡;同时严重影响能见度,给安全疏散和救援工作带来很大困难。

2) 温度高。隧道火灾发生时会引起车辆、货物甚至是沥青路面燃烧,释放出大量热量。由于隧道相对封闭,严重影响了洞内与洞外间的热量交换,以致洞内热量聚集,进而导致洞内温度迅速升高,甚至可达几百摄氏度。温度升高又会反过来加剧隧道内物体构造物甚至是洞壁的燃烧,进一步加剧事故严重性。如日本大坂隧道火灾温度高达600℃以上,将隧道内一千多平方米的顶部烧塌落。

3) 疏散与逃生困难。隧道作为管状构造物,横断面小、道路狭窄、空间相对封闭,发生火灾时除了人员疏散困难以外,物资疏散也极其困难。车辆一辆接着一辆,要疏散几乎是不可能的。而且火灾在车辆之间的蔓延也比较快,且每一辆汽车都有油箱,如果汽油燃烧将加剧火势发展,并沿隧道纵向快速蔓延扩大。

有数据显示,隧道火灾现场出事者大多是被烟雾窒息身亡。发生火灾后,火灾产生的烟雾使隧道能

能见度大大降低，司乘人员无法辨别方位及逃生方向，无法迅速疏散、安全逃生，由于高温、热辐射、有毒气体导致窒息等而死，甚至造成群死群伤事故的发生。

4) 扑救困难。隧道发生火灾，消防人员救生道路缺乏，很难接近火源扑救，容易造成较大的伤亡事故。如发生在隧道中心，从隧道口到火灾现场有几百米或更长距离，加之缺乏照明，扑救更加困难，甚至无法接近火灾发生点。而长距离隧道火灾，在隧道里进行内攻灭火几乎是不可能的。

对于普通地方公路，基本上没有单独为隧道设置的专业消防队伍，在事故发生后需要附近武警消防部队的支援，这要求在第一时间到达事故现场几乎不可能。作为世界最长的公路隧道—秦岭终南山公路隧道，不仅设置了专业消防队，还在隧道内布置了4处应急救援(消防)点且24小时值班，也只能提出“8分钟”理念：一旦发生紧急情况，能够在最短时间达到事故现场实施救援，在8分钟内解决战斗。根据该隧道运营后发生的2起车辆火灾事故后救援情况，也只能做到消防人员3分钟到现场、消防车7分钟到现场。

2.2. 公路隧道火灾多发的原因分析

造成公路隧道火灾多发的原因与公路隧道的特殊性密切相关。

1) 隧道空间相对封闭。车辆在相对封闭的空间行驶时，容易造成不安全感、压迫感和恐惧感，使司机产生负面影响，影响其反应能力，加大了车辆碰撞的机会；事故发生后，这种心理变化又会影响司乘人员的判断力，导致逃生决断不明智、不果断，错过最佳的逃生时间。

2) 隧道内能见度较差，容易发生车辆相撞事故，甚至撞击起火、爆炸等事故。隧道起火时伴随的毒浓烟烟雾难以排除，严重时隧道内灯光照明在烟雾笼罩中人眼无法看见，给安全疏散和救援工作带来很大困难。

3) 长隧道里发生交通碰撞和火灾，甚至撞击爆炸事故中，电力系统很容易瘫痪，而且在烟雾笼罩中，灯光常常被遮没。被困司乘人员看不清逃生方向，浪费了宝贵的逃生时间。

3. 我国公路隧道的防火灾及安全逃生设计

鉴于公路隧道火灾的多发性及严重性，我国部颁规范及地方技术标准对公路隧道的防火及安全逃生设计都做了相应的规定，在一定程度上降低了事故发生率、以及事故所造成的人员伤亡和财产损失。

我国现行的规范、标准中，涉及公路隧道防火及安全逃生问题部颁规范《道路交通标志和标线》(GB5768)、《公路隧道设计规范》(JTG D70)、《公路隧道设计细则》(JTG/T D70)、《公路隧道交通工程设计规范》(JTG/T D71)、《公路交通安全设施设计技术规范》(JTG D81)、《公路交通安全设施设计技术细则》(JTG/T D81)、《公路交通标志和标线设置规范》(JTG D82)、《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ026.1)、《高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范》(JTG D80)，以及浙江省地方标准《高速公路交通安全设施设计规范》(DB33/T704)、《山区高速公路勘察设计规范》(DB33/T899)等，主要规定包括：

- 1) 设置行车通道、行人通道、逃生避难所等避难设施[1] [2]；
- 2) 设置火灾报警、消防设施，包括火灾探测器、手动报警按钮、灭火器、消防栓[3] [4]；
- 3) 设置相关标志，包括紧急电话标志、消防设施标志、行人通道标志、行车通道标志、疏散指示标志。标志采用电光标志，内部照明，双面显示[5]；
- 4) 要求采用透雾性能较好的灯具[5]；
- 5) 配备应急电源供电，如不间断电源，提供火灾事故的疏散诱导照明，电池维持供电时间 $\geq 30 \text{ min}$ ；
- 6) 高速公路隧道设置不间断照明供电系统。长度大于 1000 m 的其他隧道设置应急照明系统；高速公路长隧道和长度大于 2000 m 的其他隧道，设置避灾引导灯。

虽然以上部颁规范及地方标准对公路隧道防火及安全逃生做了一定的要求，但总结分析后仍发现存在以下不足：

1) 所有应急设施需要电光照明(包括正常供电和应急供电)、或通过光线照射后反光。由于供电线路基本上通过电缆栈桥等暴露安装，一旦发生火灾就特别容易燃烧，极易损坏电路导致供电系统瘫痪，进而导致应急设施瘫痪，反光标志因无光线照射失去引导作用；

设置蓄能自发光型防火灾应急逃生系统可克服上述缺陷。

2) 对隧道防火及安全逃生只做了原则性、纲要性的规定，而没有详细的可操作性的具体章程，导致设计没有针对性；

3) 对应急逃生内容详述比较简单，且没有一套行之有效的处理程序和规则，可操作性差；

4) 缺乏公路隧道事故人员应急、疏散及逃生的引导规程。

4. 我国公路隧道防火灾应急救援的现状和问题

国际救援组织联盟(IAG)认为灾情发生后救援的顺序应当自救、邻里互救、社会力量救援。而目前我国对隧道防火灾应急救援的总体思路是“他救”，依靠应急抢险队伍去营救抢险。虽然对遇险人员“自救”作了一定的意识引导与技术保障，比如在隧道里配置一定的逃生引导标识、营运管理上加强安全教育与引导，但没有充分考虑到隧道发生火灾等异常情况的特殊性、严重性，对遇险人员如何靠自身力量在第一时间里迅速逃离危险源考虑不多。

鉴于此，我国要在应急救援管理制度建设、应急组织机构建设、预警机制构建、应急资金保障、应急队伍建设、应急保障装备配备和应急演练等方面下功夫。其中，应急演练是最为重要的环节。它建立在综合防灾规划上，是对应急组织管理指挥系统，应急工程救援保障体系，综合协调、应对自如的相互支持系统，保障供应体系和救援应急队伍等的提前预演，验证系统、纠正系统的最佳方式。但我国目前的公路隧道事故的应急演练，基本按照建筑消防的应急演练模式进行，与公路隧道事故的特殊性尚存在很大差距，具体表现为以下几个方面：

1) 现场制造的烟雾不大，没有考虑黑烟、浓雾、缺氧等情况；

2) 演练过程中隧道照明正常，没有考虑在断电情况下如何进行应急演练；

3) 主要进行的是“人”的应急，是对救援预案的演练；对隧道已有“设备”应急的检验不够，特别是照明、标志等设施在火灾中的使用效果检验；

综上，应急演练与现实中公路隧道事故现场相距甚远。

5. 公路隧道蓄能自发光型防火灾应急逃生系统的设置

鉴于公路隧道数量剧增、火灾频发的现状，隧道内的防火灾应急逃生系统已日益受到世人的关注。长隧道里发生交通碰撞和火灾，甚至撞击爆炸事故中，电力系统很容易瘫痪，而且在烟雾笼罩中，灯光常常被遮没；被困司乘人员看不清逃生方向，浪费了宝贵的逃生时间[6]。因此，在隧道内设置不依靠电力及供电设备的蓄能自发光型防火灾应急逃生系统，对保障断电时应急逃生系统的正常运转、提升隧道安全保障水平具有重要意义。

一个完整的蓄能自发光型防火灾应急逃生系统的设计，包括：自发光逃生系统组成设计、隧道自发光材料的性能指标与测试，逃生应急标识规格、设置类型、设置位置、施工方法与检查验收。隧道逃生系统应由逃生路线、逃生通道、消防灭火设施、消防报警设施4部分组成。

针对湿度大、环境照度低的隧道特殊环境，应选用高发光亮度、耐温和耐水性的蓄能自发光型材料，要特别注重发光亮度性能、耐高温性能、耐水性能、耐酸碱性能、耐盐雾腐蚀性能和自洁性能[6] [7]。采

用自发光材料，制备且设置各种逃生引导标识，包括：自发光安全逃生出口方位及距离标志、自发光逃生轮廓标志、自发光转角绊阻物标识、自发光边框条形标、自发光消防报警器按钮标志、自发光消防灭火设施指示标志、自发光箭头标、自发光分隔线突起路标等，示例见图 1、2、3、4 和 5。

在公路隧道内除布设普通的交通安全设施外、同时设置蓄能自发光型防火灾应急逃生系统[8]，当隧道中一旦发生火灾，在浓烟笼罩中隧道上部的照明灯具不起作用时，或在电力(包括应急照明)中断的情况下，自发光逃生系统在烟雾中的穿透力是一般灯光的 2~3 倍，可为紧急疏散人员提供清晰的方向指引，引导司乘人员在最短时间内从隧道危险区域疏散到洞外安全地带，最大限度地保障灾后受困人员的应急逃生，减少人生伤亡；同时，提供准确的消防设备位置、类别，以有效组织灭火，大大提升了隧道安全

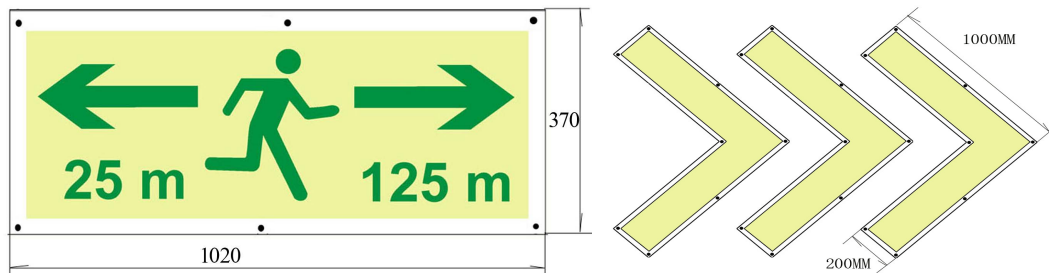


Figure 1. Identification of exit route of energy storage and self-luminous system
图 1. 蓄能自发光型逃生路线标识

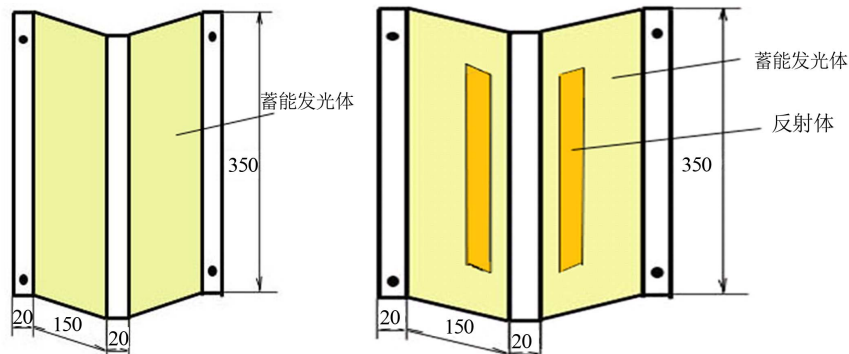


Figure 2. Identification of outline of escape route of energy storage and self-luminous system
图 2. 蓄能自发光型逃生通道的轮廓标识



Figure 3. Identification of fire alarm button of energy storage and self-luminous system
图 3. 蓄能自发光型消防报警器按钮标识

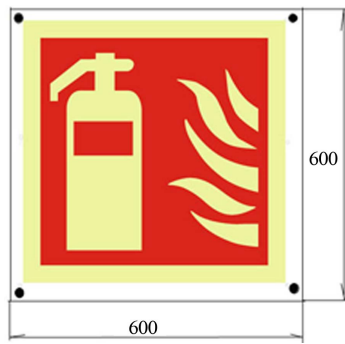


Figure 4. Identification of fire prevention and control facilities of energy storage and self-luminous system

图 4. 蓄能自发光型防灭火设施标识

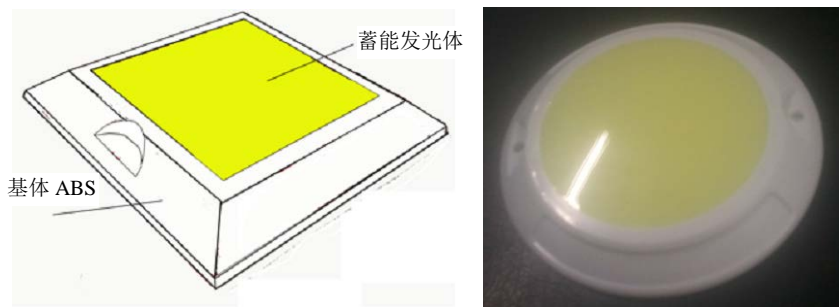


Figure 5. Dividers signpost of energy storage and self-luminous system

图 5. 蓄能自发光型分隔线路标

保障水平。

6. 结语

结合我国目前公路隧道的应急逃生系统、应急救援措施，建议今后在以下方面进行探索：

1) 完善规范。在相关规范中对应急逃生安排单独的章节进行专门规定。当隧道运营中出现异常情况，如发生火灾时，应根据火灾的严重程度，明确不同情况下照明、通风、监控、报警的运行方式及联动方式。

2) 设置蓄能自发光型防火灾应急逃生系统。除通过电光照明的应急设施外，还应增设蓄能自发光型防火灾应急逃生系统，在硬件上为人员自救提供基础条件，提高逃生效果和人员生存机会。

3) 提高应急演练实效。应根据以往公路隧道火灾的经验，完善应急预案。应急演练应全面分析可能出现的各种不利因素，如烟雾笼罩、断电等等；同时，“自救”与“他救”相结合，演练程序第一步是“自救”，第二步才是“他救”。以保证演练质量，使演练更逼真、更有实效。

4) 普及逃生知识。对公路隧道应急逃生应有一整套实施办法，编制实用性逃生指南，并通过网站、电视、广播或培训等手段在全社会范围内对公路隧道中的行车安全、消防和应急逃生等基础知识进行普及教育。在这个方面，地铁作了较多的实践。

基金项目

浙江交通科技项目(2012H53)。

参考文献 (References)

- [1] JTGD70-2004 (2004) 公路隧道设计规范. 人民交通出版社, 北京.
- [2] JTG/TD70-2010 (2010) 公路隧道设计细则. 人民交通出版社, 北京.
- [3] JTG/T D71-2004 (2004) 公路隧道交通工程设计规范. 人民交通出版社, 北京.
- [4] JT/T 610-2004 (2004) 公路隧道火灾报警系统技术条件. 人民交通出版社, 北京.
- [5] JTJ026.1-1999 (2000) 公路隧道通风照明设计规范. 人民交通出版社, 北京.
- [6] 吕宁生 (2012) 公路自发光交通标识研究. *中国公路学会学术论文集(上册)*, 人民交通出版社, 北京.
- [7] 冯志文, 程绍颐 (2008) 蓄光型自发光疏散指示标识探讨. *建筑电气*, 中国建筑工业出版社, 成都.
- [8] 戴均和 (2002) 应用蓄光型自发光(光致发光)技术于消防标志的初探. *消防技术与产品信息*, **6**, 6.