

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2017.05.014

# 基于蓄能发光多功能材料的公路隧道 应急逃生照明研究

冯守中<sup>1,2</sup>, 李洁<sup>1,2</sup>, 白果<sup>2</sup>

(1. 武汉广益交通科技股份有限公司, 湖北 武汉 430079; 2. 安徽中益新材料科技有限公司院士工作站, 安徽 滁州 239500)

**摘要:** 为保证公路隧道的有效节能和防灾应急照明, 利用蓄能发光多功能材料涂装了隧道壁面。通过室内模型试验和工程实测, 研究了蓄能发光多功能涂料在公路隧道中的辅助增光和应急引导照明性能。结果表明: 在公路隧道两侧墙面涂装蓄能发光多功能材料, 不仅可以增光增亮和有效减少不同照明灯具的照明功率, 还可以明显消除隧道进出口的“黑洞”、“盲光”现象, 提高隧道内照明均匀度, 消除隧道路面和墙面的光斑现象, 有利于行车安全; 有助于提高人眼视觉功效, 增加小物体可视距离, 在紧急情况下可提高司驾人员大于1.3 s以上的安全处置储备时间; 蓄能发光多功能材料具有较强的烟雾穿透能力, 在隧道墙面涂装可达到黑暗和高烟雾浓度环境下的应急逃生诱导指示照明效果; 蓄能发光多功能材料涂装隧道壁面在美观装饰的同时, 既防火阻燃、耐污染, 又达到了应急逃生照明和节能的作用, 克服了传统的逃生指示装置在火灾时的引导效果缺陷。

**关键词:** 隧道工程; 蓄能发光多功能材料; 涂装; 应急逃生; 穿透烟雾

中图分类号: U453.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2017) 05-0102-07

## Study on Emergency and Escape Lighting in Highway Tunnels Based on Energy-storage and Luminous Multifunctional Materials

FENG Shou-zhong<sup>1,2</sup>, LI Jie<sup>1,2</sup>, BAI Gao<sup>2</sup>

(1. Wuhan Guangyi Transportation Science and Technology Co., Ltd., Wuhan Hubei 430079, China; 2. Academician Workstation, Anhui Zhongyi New Material Science and Technology Co., Ltd., Chuzhou Anhui 239500, China)

**Abstract:** To ensure the effective energy conservation and lighting for disaster prevention and emergency escape, the energy-storage and luminous multifunction materials are decorated on the sidewalls of tunnels. Based on laboratory model test and measurement in practical engineering, the performance of auxiliary lighting and emergency escape guidance of energy-storage and luminous multifunction materials in road tunnels is studied. The result shows that (1) decorating the sidewalls of highway tunnels with energy-storage and luminous multifunctional materials not only can increase brightness and effectively reduce lighting powers of different lighting facilities, but also can significantly eliminate “black hole” and “blind glare” phenomenon at the entrance and exit of tunnels, improve illumination uniformity inside tunnels and eliminate light spot phenomenon of road and wall surfaces in tunnels, which is good for driving safety; (2) it is conducive to improve visual performance of human eyes and increase visible distance for small-size objects, which can increase more than 1.3 s of the safe disposal time for drivers in case of emergency; (3) energy-storage and luminous multifunctional materials have a strong ability of penetrating through smoke, when painted on the tunnel walls, they can play the role of illumination for emergency escape guidance in the

收稿日期: 2016-11-01

基金项目: 安徽省交通科技项目 (WJ-2009-11); 内蒙古自治区交通科技项目 (NJ-2008-25)

作者简介: 冯守中 (1963-), 男, 安徽滁州人, 博士, 教授级高级工程师. (fsz63@vip.163.com)

darkness and in the smoke with high concentration; (4) with energy-storage and luminous multifunction materials decorated on the sidewalls of tunnels, it could realize the functions of beautiful decorative effect, fireproofing, inflaming retarding and anti-fouling, lighting for emergency escape and energy conservation, which could overcome the defect of traditional indicating device for emergency escape in fire disaster.

**Key words:** tunnel engineering; energy-storage and luminous multifunction material; coating; emergency escape; penetration through smoke

## 0 前言

随着我国综合国力逐年增强和经济的快速发展,隧道及地下工程的建设得到飞速发展<sup>[1-2]</sup>。截至2015年底,我国已建成各类隧道逾26 800 km,并且每年以超过3 000 km的速度不断增加里程长度,其中已建成公路隧道12 683.9 km<sup>[3]</sup>。公路隧道照明能耗大,且因交通环境的特殊性极易导致交通安全事故,一旦酿成火灾其逃生救援难度极大,例如2014年,晋济高速公路山西晋城段岩后隧道“3.1”特别重大道路交通危化品燃爆事故造成31人死亡、9人失踪,该事故的发生为我国公路隧道防灾照明敲响了警钟。

隧道起火时常伴随有烟雾,烟雾笼罩中,隧道内普通灯光照明下人眼无法看见,而正常照明系统又极易因电力线路损坏而失效,隧道内一旦发生断电,特别是紧急电源无法有效供电时,将造成整个隧道陷于黑暗,增加人员的不安全感等负面心理因素,极易造成事故严重程度的扩大化,造成重大人员伤亡和财产损失几率<sup>[4-5]</sup>。国内外研究表明<sup>[6-7]</sup>,公路隧道每百万车公里的年交通事故率为0.57~5.13次,平均1.68次;在隧道的出入口、长下坡路段是事故多发点,公路隧道火灾的特点是烟雾大、温度高、能见度低、不易疏散、扑救难,故火灾时的防灾逃生照明尤为重要。

冯守中科研团队于2003年开始研发蓄能发光多功能涂料的生产应用技术,自2006年以来,分别在安徽、内蒙古、贵州、云南、湖北、甘肃、河北、浙江等省开展了蓄能发光多功能涂料辅助公路隧道照明技术的系列研究或工程应用,并取得了良好的社会效益<sup>[8]</sup>;同时,结合公路隧道往来车流量大、隧道壁面极易污染等特点,研发制订了相应的技术指标,利用蓄能发光多功能材料装饰隧道壁面可辅助及应急照明,并能达到安全、节能,减少维护费用,消除隧道进出口“黑洞”、“盲光”的现象<sup>[9]</sup>,特别是在发生火灾等安全事故时,具有引导逃生指示照明的特殊功能。

## 1 蓄能发光多功能材料的基本特点

蓄能发光多功能材料是根据国家发明专利<sup>[10]</sup>“多功能涂料及其制备方法”(专利号ZL20081014 6949.7)的技术进行制备的,经过多年的配方研发和工艺改进,最终研制成功。该材料的特点是集防火阻燃、增光增亮、延时发光、漫反射、耐酸碱、耐腐蚀、耐沾污、自洁净、耐水洗、抗霉菌、抗静电、重物撞击不产生火花、释放负离子、环保、无毒、无害、无辐射、使用寿命长等功能于一体,根据不同的配方,其延时发光可分为绿色、天蓝色、黄绿色、蓝绿色等颜色。该材料在太阳光或人造光源灯光中200~380 nm不可见光的激发下产生原子核外电子从低层级向高层级跃迁,产生增光增亮现象(也称蓄能过程);当光激发停止后,其核外电子再从高层级回归原层级从而产生延时发光现象,延时发光持续的时间可长达12 h以上。这种增光和延时发光功能实际上是一种物理现象,其性能稳定,具有无毒、无害、无放射性等优点。

## 2 实验仪器及隧道模型

测试所用仪器主要有:瞄点式亮度计(LM-2)、智能照度计(Z-10)、手持式智能烟尘检测仪(LB-FC)、微电脑烟雾发生器(ZB-2998B)。

室内实验的隧道模型(见图1)参照公路二车道隧道的实际设计尺寸,按1:5比例、长度15 m制作,使用武汉广益交通科技股份有限公司研发的“引路牌”蓄能发光多功能涂料。增光增亮和延时发光的相关室内试验、检测在此隧道模型内进行。

## 3 隧道辅助照明性能

### 3.1 隧道增光增亮性能

为了研究蓄能发光多功能材料的增光效果,分别以自然光、节能灯、LED灯、高压钠灯为光源,以室内隧道模型为试验场所,在涂装蓄能发光材料前后,进行模型试验。蓄能发光多功能材料的增光效果非常明显:自然光增光率从模型洞口往洞内呈



(a) 侧面

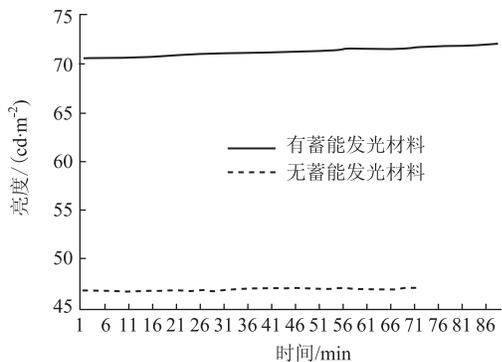


(b) 正面

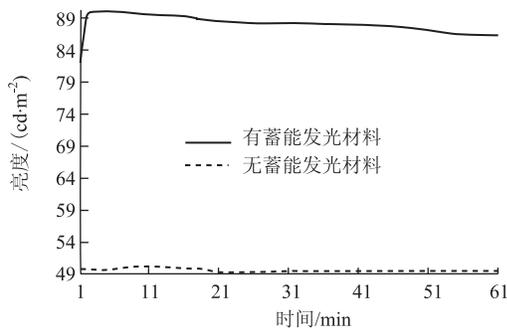
图1 室内试验模型

Fig. 1 Laboratory test model

现衰减趋势；将模型放置在没有阳光直射的室内进行试验，距洞口3 m处增光率为56.5%，距洞口7.5 m处增光率为25%；节能灯照射下增光率为80%；LED灯照射下增光率为25.6%；高压钠灯照射下增光率为35.1%，见图2。



(a) LED增亮曲线



(b) 高压钠灯增亮曲线

图2 LED与高压钠灯在模型试验中的增光增亮曲线

Fig. 2 Brightness increase curve of LED and high pressure sodium lamp in model test

不同光源不同光照时间下蓄能发光材料的平均增光增亮率见表1。研究表明，蓄能发光多功能材料在LED灯、高压钠灯、无极灯、日光灯、白炽灯、节能灯和太阳光等不同光源的照射下，其增长稳定后的增光增亮率为25%~160%。增光增亮率与光源体照射时间的规律是：LED灯、节能灯、白炽灯、太阳自然光照射10 min后，增光增亮率开始稳定不再上升；无极灯、日光灯照射15 min后，增光增亮率开始稳定不再上升；高压钠灯照射50 min后，增光增亮率开始稳定不再上升。蓄能发光多功能材料与照明光源高压钠灯、金属卤化物灯、无极荧光灯、节能灯、LED灯组合照明均可增加亮度；该材料对太阳光的增亮效果更为明显，因为在太阳光内有大量的短波长紫外线，即含有效激发光谱能量强，这种增亮效果符合公路隧道进出口的照明特点，更适用于隧道进出口段辅助照明，可有效消除“黑洞”、“盲光”现象，如图3所示。

表1 不同光源照射下蓄能发光材料平均增光增亮率

Tab. 1 Average increase rates of brightness of energy-storage and luminous materials under different light sources

光源名称	照射不同时间的增光增量率/%					
	5 min	10 min	15 min	30 min	50 min	60 min
LED灯	20	25	25	25	25	25
高压钠灯	10	15	20	25	35	35
无极灯	30	50	60	60	60	60
日光灯	50	60	65	65	65	65
白炽灯	65	70	70	70	70	70
节能灯	70	90	90	90	90	90
太阳光	130	160	160	160	160	160

### 3.2 隧道延时发光性能

蓄能发光多功能材料的延时发光可持续十几h以上<sup>[11]</sup>，为了研究蓄能发光多功能材料的延时发光性能，分别以自然光源、LED光源、高压钠灯光源、日光灯、节能灯、无极灯为光源，开展了室内模型试验。首先，用各种光源体分别照射涂装了蓄能发光多功能材料的隧道模型洞室30 min，然后关闭隧道内的照明光源体后，以关灯后为时间起点，分别在不同时间内实测得到隧道内蓄能发光多功能材料的延时发光亮度数值（见表2）。由表2可知，不同光源照射下，蓄能发光多功能材料的起始发光亮度不同，自然光下最强，这与光源所含有有效激发光谱能量强弱有关。蓄能发光多功能材料发光亮度在前60 min内衰减较快，150 min后衰减变得缓慢，其延时发光可达到12 h以上。图4是蓄能发光多功能材

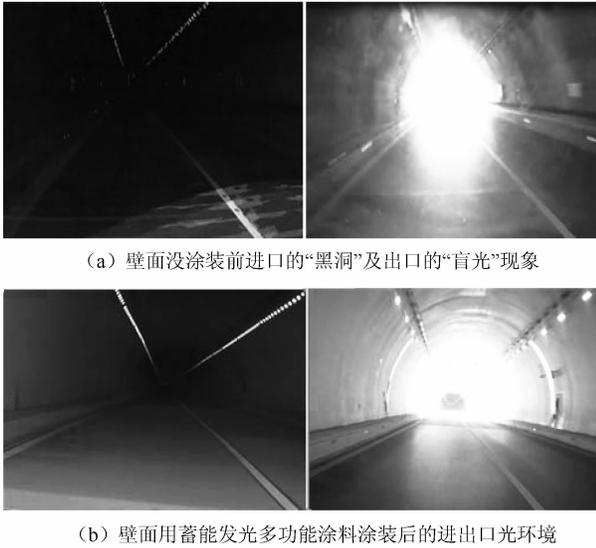


图3 贵州三黎高速公路陈家湾隧道的实际工程应用

Fig. 3 Practical engineering application in Chenjiawan Tunnel of Sanli Expressway, Guizhou Province

料在隧道中的延时发光效果图。

表2 不同光源照射下蓄能发光材料延时发光亮度值 (单位:  $\text{cd}/\text{m}^2$ )

Tab. 2 Delayed luminescence values of energy-storage and luminous materials under different light sources (unit:  $\text{cd}/\text{m}^2$ )

时间/ min	自然光	LED 灯	高压钠灯	日光灯	节能灯	无极灯	金属卤化物灯
0	4.860	0.998	0.660	0.230	0.101	0.1215	0.870
10	0.510	0.101	0.180	0.052	0.015	0.106	0.140
30	0.062	0.035	0.010	0.024	0.007	0.038	0.036
60	0.026	0.016	0.008	0.014	0.004	0.004	0.014
90	0.019	0.009	0.006	0.013	0.004	0.001	0.008
120	0.013	0.007	0.005	0.010	0.003	0.0009	0.005
150	0.009	0.0033	0.002	0.009	0.001	0.0008	0.0021
180	0.008	0.0027	0.0009	0.007	0.0009	0.0007	0.0015
240	0.0042	0.0023	0.0008	0.004	0.0008	0.0006	0.0008
300	0.0031	0.0011	0.0007	0.0033	0.0007	0.0006	0.0007
360	0.0025	0.0008	0.0007	0.0027	0.0006	0.0005	0.0006
450	0.002	0.0007	0.0006	0.0023	0.0006	0.0004	0.0004
720	0.001	0.0006	0.0006	0.0011	0.0005	0.0004	0.0004

### 3.3 对隧道照明均匀度的影响

以安徽黄塔桃高速公路中村南隧道为实例, 在左洞涂装了蓄能发光多功能材料, 右洞未涂。在涂装前后, 分别对隧道左洞入口段路面亮度进行测量采集 (见表3), 通过计算得到未涂装蓄能发光多功能材料时总均匀度  $U_0$ 、纵向均匀度  $U_1$  分别为 0.762 和 0.491; 涂装蓄能发光多功能材料后总均匀度  $U_0$ 、纵向均匀度  $U_1$  分别为 0.840 和 0.857。蓄能

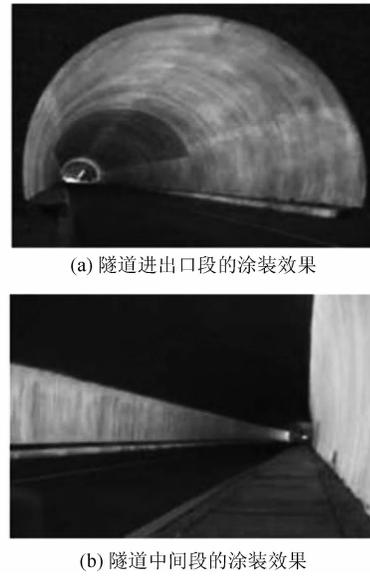


图4 蓄能发光材料在隧道中的延时发光效果图

Fig. 4 Delayed luminescence effect of energy-storage and luminous materials in tunnel

发光多功能材料实际应用效果如图5所示, 可以明显地看出左洞亮度较为均匀, 而右洞却出现明显光斑, 其提高照明均匀度的效果可见一斑。

表3 蓄能发光多功能材料辅助照明提高照明均匀度的实测数据

Tab. 3 Measured values of improvement of illumination uniformity with auxiliary lighting based on energy-storage and luminous material

涂装普通材料隧道入口段横向亮度/ $(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$									
64.1	56.8	47.2	42.8	45.1	40.1	38.3	38.0	38.7	40.2
66.6	54.4	48.2	47.1	47.2	45.8	39.6	37.1	39.9	39.8
69.7	57.7	41.7	42.1	40.9	39.6	35.1	34.2	35.9	34.9
最小亮度 $L_{\min} = 34.2$			最大亮度 $L_{\max} = 69.7$			平均亮度 $L_{\text{av}} = 45.0$			
总均匀度 $U_0 = 0.762$					纵向均匀度 $U_1 = 0.491$				
涂装蓄能发光多功能材料隧道入口段横向亮度/ $(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$									
41.3	39.3	37.1	38.5	41.5	41.6	36.5	36.0	39.7	40.5
39.6	38.6	36.2	39.2	43.4	42.4	36.2	38.8	40.6	40.8
37.1	35.6	31.8	33.9	36.8	36.4	33.9	32.4	34.1	34.4
最小亮度 $L_{\min} = 31.8$			最大亮度 $L_{\max} = 43.4$			平均亮度 $L_{\text{av}} = 37.8$			
总均匀度 $U_0 = 0.840$					纵向均匀度 $U_1 = 0.857$				

蓄能发光多功能材料具有增加路面照明均匀性的效果, 一方面是因为蓄能发光材料具有较高反射率 (0.75), 反射作用能够改变不同光源发出光线的光谱能量分布<sup>[12-13]</sup>, 使其光线变得均匀; 另一方面, 蓄能发光多功能材料受到激发后本身会发出一定波长范围的可见光, 能有效补充灯具间暗区的亮度, 达到消除光斑的效果。



(a) 墙面效果



(b) 路面效果

图5 安徽黄塔桃公路中村南隧道涂装蓄能发光多功能材料(左洞)提高照明均匀度效果

Fig.5 Improvement of illumination uniformity in Zhongcun South Tunnel of Huangtatao Highway decorated with energy-storage and luminous material

表4 蓄能发光多功能材料可提高小物体的可视距离试验

Tab.4 Test of improvement of visual range for small-sized objects with energy-storage and luminous material

对比组	项目名称	隧道名称	测试时间 (年月日)	平均照度/lx		最大识别 距离/m	涂蓄能发光 多功能涂料
				观察点	小物体放置点		
观察点距离洞口外 100 m	麻武高速公路	野人冲右线	2016-01-20	8 400	100	265	是
		野人冲右线		8 379	100	156	否
基本照明段	张承高速公路	下窝铺右线	2016-01-24	6	6	165	是
		东山右线	2016-01-24	9	9	136	否

可见,更有利于人眼分辨路面目标;而且蓄能发光多功能材料有较高的反射率,能改善不同光源发出的光线经反射作用后的光谱能量分布,从而增强人眼对随机出现的障碍物的识别能力,即提高了视觉功效<sup>[9,13]</sup>。

#### 4.2 穿透烟雾性能

建筑物及地下工程在发生火灾时,真正被火烧死的人员不足火灾死亡总人数的1/4,而因无法逃生被烟雾熏死的人员大于死亡总人数的3/4。各种试验及文献资料显示,在发生火灾时,当建筑物内的烟雾浓度使人的视觉视程低于3 m后,人在建筑物中的逃生几率几乎为零,因此在火灾中延长人在烟雾中的视觉视程能力尤为重要。

通过室内模拟试验得出:当烟雾浓度为100 mg/m<sup>3</sup>,实验室墙面涂装蓄能发光多功能涂料时,室内可视

## 4 隧道引导照明性能

### 4.1 对小物体可视距离的影响

测试用的小目标物为边长15 cm的立方体,表面平整,覆盖黑色无反光材料。分别以野人冲右线、下窝铺右线和东山右线为测试场所,测试结果见表4。由测试结果可知,涂装蓄能发光材料可明显增加小物体的可视距离,这对行车安全有重要意义。

研究表明<sup>[14-18]</sup>,隧道基本段的照明以及隧道灯具开灯不足的情况下,人眼视觉处于中间视觉状态下,此时锥状细胞和杆状细胞同时起作用,人眼的最敏感的光波波长从明视觉状态下的555 nm,变化为暗视觉状态下的507 nm,即产生普尔金耶效应,此时人眼视网膜上的神经节细胞对短波长的光辐射更为敏感,并且富含短波长的光有利于瞳孔收缩,更利于提高可见度,具有更高的光谱光视效率。由于蓄能发光多功能材料的发光光谱(480~580 nm)正处于人眼明暗视觉敏感波长范围,因此在隧道壁涂装蓄能发光多功能材料后会使得视觉环境更加清晰

距离可达9 m,而墙面涂装普通涂料时,其室内可视距离不足3 m,见图6。当烟雾浓度达到200 mg/m<sup>3</sup>以上时,墙面涂装普通涂料的实验室内已伸手不见五指,而墙面涂装蓄能发光涂料的实验室内可视距离仍达3 m。继续增加烟雾浓度,无论开灯或是关灯状态,即使再大的烟雾或是黑暗中总是可以清晰地看到蓄能发光材料指示条带,如图7。蓄能发光多功能材料与应急标志灯相比,具有更好的应急逃生指示照明效果。

## 5 结论

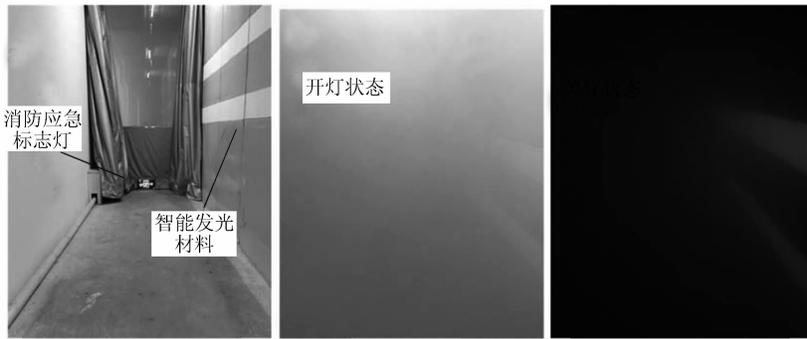
(1) 在隧道壁面涂装蓄能发光多功能涂料,可增光增亮,在LED灯、高压钠灯、无极灯、日光灯、白炽灯、节能灯和太阳光等不同光源的照射下,增光增亮率依次为25%~160%。



(a) 蓄能发光多功能材料(开灯) (b) 墙体涂装普通材料(开灯) (c) 墙体涂装蓄能发光多功能材料(关灯) (d) 墙体涂装普通材料(关灯)

图 6 相同烟雾浓度状态开关灯条件下的视程距离

Fig. 6 Visual range with light on or off in same smoke concentration



(a) 正常照明中的引导识别 (b) 有照明浓烟中的引导识别 (c) 熄灯浓烟中的引导识别

图 7 烟雾中蓄能发光材料与应急指示灯的指示效果对比图

Fig. 7 Comparison of guidance effects of energy-storage and luminous material and emergency light in smoke

(2) 隧道壁面涂装蓄能发光多功能涂料可以有效消除隧道进出口的“黑洞”、“盲光”现象,提高隧道内照明均匀度。根据实际工程的应用效果,隧道壁面涂装蓄能发光多功能涂料后,隧道内路面照明的总均匀度提高 10.23%、纵向均匀度提高 74.54%。

(3) 隧道壁面的蓄能发光多功能涂料可有效改善照明光环境,有助于提高人眼视觉功效,增加小物体的可视距离。试验表明,在紧急情况下可提高司驾人员大于 1.3 s 以上的安全处置储备时间。

(4) 蓄能发光多功能涂料具有较强的烟雾穿透能力,并能延时发光指示照明,将蓄能发光多功能材料用于公路隧道应急逃生照明,是一种新的尝试,达到了既可以作为应急逃生照明又节能的作用,又克服了传统的逃生指示装置在火灾时的引导效果缺陷。

参考文献:

References:

[1] 宋国森, 胡斌. 特长公路隧道平导通风方案研究及优化 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (4): 84-90.  
SONG Guo-sen, HU Bin. Research and Optimization of Parallel Heading Ventilation Scheme for Super-long

Highway Tunnel [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (4): 84-90.  
[2] 易赛莉. 公路隧道火灾烟气特性数值模拟分析 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (1): 89-94.  
YI Sai-li. Analysis on Characteristics of Fire Smoke in Highway Tunnel by CFD Simulation [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (1): 89-94.  
[3] 洪开荣. 我国隧道及地下工程近两年发展与展望 [J]. 隧道建设, 2017, 37 (2): 123-134.  
HONG Kai-rong. Development and Prospects of Tunnels and Underground Works in China in Recent Two Years [J]. Tunnel Construction, 2017, 37 (2): 123-134.  
[4] 梁冰, 李寿伟. 隧道蓄能自发光应急逃生系统 [J]. 交通标准化, 2014, 42 (15): 189-193.  
LIANG Bing, LI Shou-wei. Self-storage and Auto-luminous Emergency Escape System in Tunnel [J]. Transportation Standardization, 2014, 42 (15): 189-193.  
[5] 姚裔虎, 朱顺应, 杜志刚. 城市隧道驾驶员视视角特征及应用 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (1): 106-109.  
YAO Yi-hu, ZHU Shun-ying, DU Zhi-gang. Driver's Visual Lobe Feature and Application in Urban Tunnel

- [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (1): 106 - 109.
- [6] 张玉春, 何川, 吴德兴, 等. 高速公路隧道交通事故特性及其防范措施 [J]. 西南交通大学学报, 2009, 44 (5): 776 - 781.  
ZHANG Yu-chun, HE Chuan, WU De-xing, et al. Characteristics and Countermeasures of Traffic Accidents in Expressway Tunnel [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2009, 44 (5): 776 - 781.
- [7] 吴德兴, 李伟平, 郑国平. 浙江省高速公路隧道事故的调查分析及对策研究 [J]. 公路, 2011 (8): 312 - 317.  
WU De-xing, LI Wei-ping, ZHENG Guo-ping. Survey Analysis and Countermeasure Research on Traffic and Fire Accidents in Expressway Tunnels of Zhejiang Province [J]. Highway, 2011(8): 312 - 317.
- [8] 王军, 冯守中. 隧道节能照明发光涂料施工工艺研究 [C] // 面向低碳经济的隧道及地下工程技术. 北京: 人民交通出版社, 2010: 154 - 157.  
WANG Jun, FENG Shou-zhong. Research on Construction Technology of Luminous Paint for Energy Efficient Lighting in Tunnel [C] // Tunnel and Underground Space Technology for Low Carbon Economy. Beijing: China Communications Press, 2010: 154 - 157.
- [9] 冯守中. 绩黄高速玉台隧道光纤照明应用技术研究 [J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8 (增1): 1426 - 1430.  
FENG Shou-zhong. Study of the Optical Fiber Lighting Technology in the Yutai Tunnel of Jihuang Highway [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2012, 8 (S1): 1426 - 1430.
- [10] 冯守中, 宋乐山, 胡可, 等. 多功能涂料及其制备方法: 中国, ZL200810146949.7 [P]. 2010-07-07.  
FENG Shou-zhong, SONG Le-shan, HU Ke, et al. Multifunctional Coating and its Preparation Method: China, ZL200810146949.7 [P]. 2010-07-07.
- [11] 冯守中. 发光涂料在公路隧道节能照明中的应用技术研究 [C] // 面向低碳经济的隧道及地下工程技术. 北京: 人民交通出版社, 2010: 3 - 8.  
FENG Shou-zhong. Application Technology of Energy Efficient Lighting of Luminous Paint in Highway Tunnel [C] // Tunnel and Underground Space Technology for Low Carbon Economy. Beijing: China Communications Press, 2010: 3 - 8.
- [12] 傅翼, 杨波, 陈云庆. 公路隧道照明眩光影响仿真与分析 [J]. 现代隧道技术, 2014, 51 (5): 150 - 154.  
FU Yi, YANG Bo, CHUN Yun-qing. Simulation and Analysis of the Glare Effects of Highway Tunnel Lighting [J]. Modern Tunnelling Technology, 2014, 51 (5): 150 - 154.
- [13] 冯守中, 高巍, 王军. 蓄能发光多功能涂料辅助隧道照明试验研究 [J]. 现代隧道技术, 2016, 53 (4): 189 - 194.  
FENG Shou-zhong, GAO Wei, WANG Jun. Experimental Study on Energy-storing Self-illuminated Multi-functional Coating for Auxiliary Lighting in Tunnels [J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53 (4): 189 - 194.
- [14] 周豫菡, 朱合华, 冯守中. 公路隧道基本段照明亮度对隧道能见度的影响研究 [J]. 照明工程学报, 2013, 24 (5): 28 - 33.  
ZHOU Yu-han, ZHU He-hua, FENG Shou-zhong. Effect of Highway Tunnel Lighting on the Tunnel Visibility [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2013, 24 (5): 28 - 33.
- [15] 周豫菡, 朱合华, 冯守中. 公路隧道能见度与烟雾浓度的概念辨析及计算分析 [J]. 公路交通科技, 2013, 30 (10): 152 - 158.  
ZHOU Yu-han, ZHU He-hua, FENG Shou-zhong. Analysis of Concept and Calculation of Highway Tunnel Visibility and Smoke Concentration [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30 (10): 152 - 158.
- [16] JTG/T D70/2 - 01—2014, 公路隧道照明设计细则 [S].  
JTG/T D70/2 - 01—2014, Guidelines for Design of Lighting of Highway Tunnels [S].
- [17] CIE 88—2004. Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses [R]. 2nd ed.
- [18] 刘翠萍. 基于LED的公路隧道照明设计与中间视觉下LED隧道照明研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.  
LIU Cui-ping. Design of Highway Tunnel Lighting with LEDs and Research on LED Tunnel Lighting under Mesopic Vision [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.