

高速公路隧道光色环境视觉特征分析及安全性研究

陈嵘鑫, 兰国洲, 张晓吕, 陈望

贵州工程应用技术学院矿业工程学院, 贵州毕节, 中国

【摘要】随着我国高速的发展, 高速公路里程也随之不断增长, 高速公路隧道的数量也在急速攀升, 其特殊的光色环境容易导致驾驶员视觉上的疲劳, 威胁行车安全, 所以研究高速公路隧道光色环境视觉特征及安全性意义重大。虽然国内研究大有进步, 但对隧道光色环境与视觉特征关系的深入研究依旧有所欠缺, 本研究综合我国多种因素, 通过研究高速公路隧道光色环境视觉特征, 从生理视觉和心理认知层面分析探究, 提出优化设计方法, 为安全建设与运营提供理论支持。同时, 详细分析了高速公路隧道光色环境视觉特征, 涵盖隧道光环境概述, 易产生的“黑洞效应”“白洞效应”, 中间段亮度变化、烟尘与光散射影响行车安全, 以及照明光环境中照明灯具、光色与亮度、智能照明系统等特征。

【关键词】高速公路隧道; 光色环境; 照明设计; 视觉特征; 行车安全

【基金项目】贵州工程应用技术学院 2023 年大学生创新创业训练计划项目 (编号: S202310668085)

1. 引言

隧道在我国的交通运输领域中至关重要。在“十三五”规划期间, 我国高速公路隧道迎来了高速发展的时期, 隧道数量和总里程均表现出快速的增长趋势[1]。公路隧道的高速发展带来了利与弊, 它不仅缩短了运输距离、优化了道路路线、提升了运输效率, 也引发了一系列对交通安全运行产生重大影响的问题[2]。例如, 隧道内外的亮度差异让驾驶人在行驶过程中视觉受到影响; 难以消散的尾气使得隧道内能见度降低; 噪声污染使驾驶人身体感到不适; 有限的空间使得驾驶人心理上感到紧张[3]。这些问题导致各种交通事故高频发生, 给高速公路隧道行车带来了很大的安全隐患, 使其成为高速公路运输的黑色路段, 严重地影响了整个高速公路的安全性[4], 所以开展关于隧道行车安全的研究十分必要。高速公路隧道内特殊的光环境与外界差异显著。驾驶员进出隧道时, 视觉需经历急剧变化, 这对行车安全构成潜在威胁。光色环境不仅影响驾驶员视觉舒适度, 更与交通事故发生率紧密相关, 因此, 深入探究高速公路隧道光色环境视觉特征及安全性具有重要现实意义。

在国外, 对隧道光环境的研究起步

较早, 已取得诸多成果。欧美国家率先开展了隧道照明基础理论研究, 在亮度、照度等关键指标的设定上建立了成熟标准, 并且利用先进的眼动追踪技术、视觉模拟软件深入分析驾驶员在不同光环境下的视觉行为。然而, 这些研究多基于本国的交通状况、驾驶习惯和隧道特点, 在应用于我国高速公路隧道时存在一定局限性。

近年来, 国内在隧道光色环境领域的研究也取得了长足的进步[5]。众多学者围绕隧道照明节能、照明均匀度等方面展开研究, 提出了一系列符合我国国情的照明优化策略。但目前对于隧道光色环境与视觉特征之间复杂关系的研究仍处于深入研究阶段, 缺乏系统性的量化分析, 尤其是在我国驾驶员视觉特性和高速公路交通流特点的研究上, 还存在较大的提升空间。

本研究的创新点在于, 综合考虑了我国高速公路隧道的交通流量、驾驶员视觉特性以及地域气候差异等因素, 建立全面的高速公路隧道光色环境视觉特征评价体系。光的变化会导致瞳孔的扩张和收缩[6], 不仅从生理视觉角度分析光色对瞳孔变化、注视点分布的影响, 还从心理认知层面探究了驾驶员对不同光色环境的主观感受和接受程度, 进而

提出基于视觉特征和安全性的隧道光色环境优化设计,为我国高速公路隧道的安全建设提供更具针对性和科学性的理论支持。

2.高速公路隧道光色环境视觉特征分析

高速公路隧道,是高速公路交通的重要组成部分,隧道内的光色环境对行车安全有着深重的影响。

高速公路隧道内的光色环境视觉特点又有很多因素,具体内容如下:

高速公路隧道的光环境,是一个动态、复杂的系统环境,受到许多不同因素的影响,包括隧道内外光源类型、明暗差异、隧道长度、交通量等。这些因素同时影响了驾驶员的视觉系统,使驾驶员对前方道路和障碍物的认知、判断和决策出现不同程度的降低。

隧道洞口光环境特征,分为黑洞效应和白洞效应两点,黑洞效应的定义是,驾驶员从亮处进入隧道时,由于隧道内外光线强度存在较大差异,隧道口就像一个黑洞,吞噬了外部光线,导致驾驶员视线受阻[7,8]。黑洞效应会使驾驶员在进入隧道时产生短暂失明或视觉模糊的现象,使驾驶员无法迅速适应隧道内的光线环境,影响行车安全。白洞效应是指,当驾驶员从隧道内驶出时,隧道外的光线强度远远大于隧道内的光线强度,形成一个白亮的洞口。白洞效应会使驾驶员在离开隧道时受到强光刺激,产生眩光现象,使驾驶员驾车的稳定性和安全性受到影响。在白天驾驶员进入没有灯光的较长隧道时,进入隧道行驶的开始阶段,会很难看清隧道内的任何事物,行驶一段时间后,视觉才会慢慢变得清晰,这称为“适应滞后”现象[9]。黑洞效应和白洞效应,是高速公路隧道光色环境对行车安全的主要影响之一。因为隧道内外光环境差异大,驾驶员在进出隧道时容易产生视觉适应问题,导致出现短暂失明或视觉模糊的现象,影响行车的安全性和舒适性。

隧道中间段光环境特征,具体内容包括亮度变化、烟尘、光的散射等,亮度变化是指隧道中间段的光线环境相对稳定,但是亮度水平通常较低,容易使驾驶员产生视觉疲劳,导致驾驶员对前方道路和障碍物的辨识能力下降。烟尘

与光的散射,是车辆排放的尾气和灰尘在隧道内部空间积聚形成的烟雾,这些烟雾会吸收然后散射光线,从而使隧道内的能见度降低,影响驾驶员的视觉感知和行车安全。隧道中间段光环境对行车安全的影响主要体现在能见度降低和驾驶员心理反应两个方面,由于隧道中间段环境相对封闭,车辆排放的尾气和灰尘容易积聚形成烟雾,降低隧道内的能见度,这不仅影响驾驶员正常的驾驶视认和驾驶操作能力,还会是驾驶员出现恐慌的心理[10]。长时间处于封闭、昏暗的环境中行驶,会导致驾驶员产生烦躁、压抑以及视觉疲劳等不良生理和心理反应,对驾驶的安全性和舒适性造成进一步的影响。

隧道内的照明光环境特征,如照明灯具、光色与亮度、智能照明系统等。隧道照明灯具具体可分为入口段照明、过渡段照明、中间段照明和出口段照明等,不同类型的照明灯具可以帮助驾驶员适应隧道内外不同的光环境。光色与亮度,隧道照明一般采用橙黄色等暖色调灯光,这些灯光更容易被驾驶员接受,不会产生视觉疲劳,隧道照明的亮度一般根据隧道长度、交通量、车速等进行设置,满足驾驶员看清前方道路和障碍物的需要。智能照明系统根据隧道内外光环境的变化自动调节照明亮度,按需照明,减少照明能耗的同时也提高了照明系统的灵活性和智能化程度,有利于提高行车安全性和舒适性。隧道照明光环境对行车安全有很大的影响,照明不足或不合理会导致驾驶员视觉疲劳、判断失误等问题;照明过强会产生眩光现象,影响驾驶稳定性和安全性;照明灯具投射角、灯具设置位置、角度等均会对驾驶员的视觉感受和安全视认距离产生影响,因此,合理设置隧道照明系统对于提高行车安全性和舒适性具有重要意义。

3.高速公路隧道光色环境安全性提升策略

优化隧道行车安全可以从灯光和空气两方面入手:灯光方面:隧道内灯具要调好亮度和光线颜色,出入口位置安装渐变的遮光顶棚,这样进出隧道时眼睛不会突然受强光刺激;使用能自动调

节的智能灯光，让隧道内外光线自然过渡，白天晚上都能保持合适亮度；空气方面：在隧道内多设置通风口，科学安排排烟设备的位置，形成良好的空气流动；及时排出汽车尾气和灰尘，既能看清前方路况，又能保持呼吸顺畅，让司机保持良好状态这些改进既能让司机眼睛看得更清楚，又能保证隧道里空气新鲜，双管齐下提升行车安全系数。

提升高速公路隧道光色环境安全性的重要措施有：提高驾驶员的安全意识；操作技能。开展交通安全教育和培训活动，增强驾驶员对高速公路隧道光色环境特点的认识，引导驾驶员在进出隧道时注意减速慢行、开启大灯，可以在一定程度上减少交通事故的发生。

完善隧道交通安全设施可以提高高速公路隧道行车安全性。在隧道内设置反光标志、车道指示器等交通设施，可以让驾驶员对道路情况的识别和判断能力得到提高。在隧道出入口处加入减速带、限速标志等交通安全设施，也能有效提醒驾驶员注意减速和保持安全车距，这样交通事故的风险就可以得到一定降低。

4. 总结

(1) 本研究聚焦于高速公路隧道光色环境，从视觉特征和安全性角度出发，多方面分析并提出针对性方案，为该领域发展带来明显提升。

(2) 全面梳理了隧道光环境的复杂构成，明确多种因素对驾驶员视觉和行车决策的影响。深入分析洞口黑洞、白洞效应，中间段亮度、烟尘散射，以及照明光环境各要素特点，将光色环境与行车安全的内在联系清晰呈现，填补了国内在此前研究中对复杂关系分析不深入的空白。

(3) 改善照明系统，合理设置参数、采用智能调光和构造物，减少视觉影响；强化通风与排烟设施，改善隧道内空气质量和提高能见度；开展安全教育，提

高驾驶员安全意识；完善交通设施，增强驾驶员对路况的判断。

参考文献

- [1] 洪开荣, 冯欢欢. 近 2 年我国隧道及地下工程发展与思考 (2019—2020 年) [J]. 隧道建设 (中英文), 2021, 41 (08): 1259-1280.
- [2] 慕慧, 杨少伟, 赵一飞, 等. 基于视觉适应性的公路隧道限速研究 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2010, 29 (02): 183-184+232.
- [3] 王春雨. 隧道路段驾驶员视觉安全技术研究 [D]. 重庆交通大学, 2013.
- [4] 赵炜华, 刘浩学, 刘玮, 等. 高速公路隧道群出、入口段驾驶人视觉特征 [J]. 交通科学与工程, 2011, 27 (03): 75-81. DOI: 10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2011.03.014.
- [5] 焦墨雪. 高速公路隧道光色环境视觉特征分析与优化设计研究 [D]. 河北工业大学, 2022. DOI: 10.27105/d.cnki.ghbgu.2022.000274.
- [6] 梅家林, 杜志刚, 郑号染, 等. 不同时段特长隧道入口区域视觉负荷研究 [J]. 中国安全科学学报, 2021, 31 (06): 176-181. DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2021.06.023.
- [7] 黄发明. 基于“黑洞效应”的公路驾驶员视错觉改善方法实验研究 [D]. 武汉理工大学, 2014.
- [8] 杨锦凤, 王钟誉, 蒋国梁. 特长高速公路隧道交通事故特征及预防措施研究 [J]. 西部交通科技, 2015, (09): 79-82+99. DOI: 10.13282/j.cnki.wccst.2015.09.021.
- [9] 李宁. 高速公路隧道照明节能技术及控制方法研究 [D]. 昆明理工大学, 2013.
- [10] 侯晓青. 基于时空内容保持的隧道出入口视觉亮度补偿方法 [D]. 长安大学, 2017.