

Study on Color Scheme of Pavement based on Reducing Visual Fatigue

Qin JI

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: This paper expounds the promoting function of color road in the face of road traffic safety, and analyzes the applicability of color pavement in improving color environment, and in improving traffic safety and leading traffic. An innovative test on road color layout was proposed, using eye movement technique to analyze the physiological indexes of drivers' eye movement data and physiological test instrument, and in order to reveal the law of visual fatigue of the drivers. On the basis of color psychology and eye tracking techniques, the coupling relationship between the analysis to investigate the driver driving on the highway in the visual fatigue of mileage range, time, road design parameters, and explore the mark of the pavement configuration, marking color scheme, and improve the road traffic safety.

Keywords: Color psychology; Eye movement technology; Visual fatigue; Pavement color; Traffic safety

基于减少视觉疲劳的路面色彩方案研究

计亲

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400074

摘要: 阐述彩色路面对道路交通安全的促进作用, 分析彩色路面在改善色彩环境、提高交通安全及疏导交通方面的适用性。提出了一个关于道路色彩布置的创新性试验, 采用眼动技术分析驾驶员眼动数据、生理测试仪记录生理指标, 揭示驾驶员的视觉疲劳规律; 在色彩心理学理论和眼动技术的基础上, 调查分析驾驶员在高速公路上行驶时视觉疲劳产生的里程范围、时间、道路设计指标之间的耦合关系, 探讨配置路面标志、标线色彩方案, 以提高道路交通安全。

关键词: 色彩心理学; 眼动技术; 视觉疲劳; 路面色彩; 交通安全

1 引言

如何有效解决我国道路的交通安全问题, 是我国交通长久发展必须面对的一个重大课题。道路交通系统是一个由人、车、路和环境构成的复杂系统。在所有交通安全的影响因素中, 人是系统中最重要、最直接的因素^[1]。道路交通事故中约 90% 的事故是由人的因素造成的, 而 80% 交通信息是由眼部来获取, 色彩是视觉最易感知的信息内容, 并且色彩对人的心理和生理作用是因人而异的。基于此, 色彩作为一种视觉形象要素, 直接影响着驾驶员的生理和心理反应, 从而影响了道路交通安全。色彩同时也是公路景观中不可忽略的内容。现代道路一般是灰色或黑色, 这两种色彩对人的神经系统有一定的提神作用; 然而, 长时间注视单调的灰、黑色路面容易促使驾驶员精神涣散、烦躁, 从而诱发视觉疲劳^[2], 成为交通隐患。在探究高速公路上驾驶员视觉疲劳规律的基础上, 应用此规律,

在路面添加色彩, 改善驾驶员的视觉环境的同时, 刺激驾驶员的视觉神经, 使得驾驶员达到清醒、良好的驾驶状态。目前, 对于色彩在道路景观中的应用比较多, 对于道路交通安全有积极的作用, 但是在色彩对驾驶员视觉疲劳刺激方面的研究没有具体的切实可行指导路面配色方案^[3], 本文提出了一种实验方案, 拟应用眼动技术测试驾驶员在高速公路上的视觉疲劳规律, 基于此规律, 结合色彩心理学理论, 在高速公路视觉疲劳区段设置相应刺激驾驶员神经系统的标志物、标志线, 以提高驾驶状态, 来提高道路交通安全。

2 视觉疲劳理论及彩色路面理论

目前, 国内外对于驾驶员视觉特征、驾驶心理、道路景观营造、路面色彩、道路交通安全等方面都做了大量的研究, 但将各领域有机联系起来的相关研究较少, 将其成果应用到实践中则更为少见。

2.1 基于视觉疲劳的驾驶员动态视觉特征、眼动规律及驾驶心理

为了研究人类从视觉的角度以获取信息,与视觉一眼动系统相关的大量研究在现有科学探索中逐渐被大家重视^[4],经调查,较多国外的知名研究机构以及大学都设置了专门研究与视觉一眼动系统之间的相关性的部门。对于视觉一眼动系统的相关研究,可发现人在观测各种外景和屏幕信息时的扫视选择和注视过程,进而能够研究人的视觉感知以及综合的机理。在20世纪中叶,在便携式照相机技术的快速发展情况下,Rockwell和Mourant等科学家于1968年开发研制了世界上首个眼睛跟踪系统^[5],他们用此来监测并且记录驾驶员在道路上的视觉行为。之后,欧美等国家大量知名的大学和相关研究机构在驾驶员视觉特性与眼球运动的相关研究方面取得了一定的突破。当前,动态视觉特征主要有室内模拟驾驶以及室外实车测试这两种方法,因相关设备仪器的限制和室外实车测试存在部分危险性,现在的动态视觉特征的研究大多采用室内模拟驾驶的方法。虽室外实车测试存在一定的危险性,但驾驶员是处于真实的交通环境中,所以眼动数据更加可靠^[6]。此外,伴随着计算机技术不断地发展,因此眼动仪的体积也逐渐地减小,这一情况让大量学者逐渐关注到可以进行在真实的环境下车行者动态视觉特征方面的研究。

综上所述,驾驶员视觉特性及眼动行为的研究已受越来越多的学者的关注,且被逐渐地大量应用于交通领域,但该方向的研究普遍集中在道路线形的适宜性评价、驾驶员心理负荷评价以及交通安全设施的合理性设置等方面,然而将动态视觉特征及眼动行为理论应用于景观领域的相关研究则较少。

2.2 彩色路面在交通安全方向的应用

在欧美国家,早在1950年以来就开始采用彩色防滑标线以及彩色路面来降低交通事故的急剧增大率,并达到了可观的效果。据数据统计,美国加利福尼亚州康科德市通过设置相关的道路交通安全防护设施的方式来减少交通事故,减少事故率达到21%~67%^[7]。此外,法国也在巴黎东北外部修建了一条长约32km的有色公路^[8],在公路上采用色彩改变的方式,缓解了驾驶员因黑色或白色的单调变化所引发的疲劳状态^[9]。

国内在该方面的实践应用上,也曾有相关研究,

为了减少因速度过大引发的事故率,当研究人员于长距离的行驶路段上涂上几十条等距离相间的白色线条,车型者驶过这些等距相间的白色线条时,犹如看到水中波纹一样,造成驾驶人员有速度过快的错觉感,进而能使驾驶人员主动降低车速。河南省的郑州至洛阳段的高速路段出现了首条彩色公路^[10],在连霍高速公路等众多隧道的进口设计者采用了布置50米的彩色路面的方法,并且于上下坡的事故率高的地段铺筑了一条长达2公里的彩色路面(图1)。此外,在汉宜高速公路枝江段的弯道处,设计者在转弯处布置铺筑彩色路面^[11],以此来警示驾驶人员应减速慢行(图2)。



图1. 隧道口彩色沥青路面



图2. 转弯处彩色路面

大量的实践证明^[12],着色公路的确有单调的黑色或灰色沥青以及水泥公路所不具备的优点,其较好的效果是丰富的色彩变化可以刺激驾驶人员的视觉神经系统,以缓解驾车的疲劳感,使得驾驶人员保持良好适度紧张的情绪,以此来降低交通事故的发生率。

3 色彩方案布置

3.1 颜色视觉的心理特性

颜色在由视觉神经传导到大脑的过程之中，会产生色彩物理、色彩生理以及色彩心理的效应，人们就获得色感觉。我们的视觉感受到各种色彩时，会产生大小、冷暖、明暗等的不同的感觉，还能导致人们兴奋、烦躁等心理影响^[13]。色彩能左右驾驶员驾驶情绪也不是不可能的。

色彩在驾驶员的心理特性主要有以下几个方面：

① 色彩具有冷、暖感。

暖色如：红、橙、黄等，给人警示作用；冷色如蓝、绿等，带给人镇静。

在危险路段(点)前适当布设暖色路面，如此布置具有提前预告与警示的作用，更利于交通安全。

② 色彩产生的感觉。

能让人产生兴奋与沉静两种截然不同的感觉。红、黄等鲜艳的色彩让人兴奋，蓝、紫等色使人沉静。

③ 色彩亮度。

人们视觉感觉到的色彩亮度是不同的，红、黄的视觉效果较好，蓝、绿的效果较差。

3.2 道路交通环境色彩配置

色彩效果是彩色路面布置的重要的设计内容。彩色路面色彩设计主要是根据色彩是否对人的心理、生理因素产生影响。因此，应当主要关注以下几个注意事项：① 如何合理利用色彩预告，警示危险路段；② 如何更好地预防和减少交通事故的产生；③ 彩色路面要与道路环境融合；④ 彩色路面应具有更长的寿命和更加适宜的价格。

4 城市交通的色彩系统

4.1 交通标线色彩系统

交通标志作为一种交通信息，能够向驾驶人员以及行人以图案、色彩、文字等形式传递相关信息，现达到了更高的沟通效率^[14]。现在我国的交通标志以纯色的标线为主，而且很好的完成了交通警示的作用。交通标线的色彩色度坐标如下(表1)。

表 1. 交通标线的色彩色度坐标

色彩	X 坐标系	Y 坐标系
红色 (R)	0.56-0.69	0.30-0.35
黄色 (Y)	0.43-0.52	0.45-0.53

蓝色 (B)	0.08-0.22	0.04-0.15
黑色 (BK)	0.25-0.39	0.26-0.40
白色 (W)	0.30-0.36	0.30-0.37

因为行车人员在驾车过程中视线特性是纵向方向的，所以纵向标线不因透视规律的影响而产生视觉差，视线是相对清晰明了的。相比于纵向标线来说，横向标线就容易引起视觉误导，但是可以通过在其标志中适当引入色彩的元素，在线条和文字部分加一部分色块使得这个问题迎刃而解。

4.2 路面色彩系统

4.2.1 常见路面色彩系统

行车人员驾驶过程中视线大部分时间停留在道路路面上。在给道路路面标线增加色块以明化警示作用时，合理选用色彩来提高其与周围景致的融合度。结合铺装色的经济效益，现在采用的彩色路面铺装色有黑色和灰色两个系。道路路面的色彩参数(表2)。

表 2. 交道路路面色彩参数

分类	色相	明度	纯度
黑色系列	无色彩的色彩	2-5 明度级	0-1 纯度级
灰色系列	无色彩的色彩	6-9 明度级	0-3 纯度级

在具体选择色系时，一般会考虑到以下因素：在水系发达、植被茂盛等以冷色调为主导的道路经过区，路面明度较低的灰色为路面的来诱导视野；在荒漠等一般是暖色调为主导的道路途径地，路面一般选用蓝灰以及蓝色的色彩达到环境互补的效果，以减轻视觉疲劳；而对于 4-6 明度级的灰色色系，可选择于环境较为丰富的地方使用，可达到较好的协调作用。

4.2.2 彩色沥青混凝土路面色彩的应用

彩色沥青混凝土路面不仅能够使交通标志更醒目，还能够作为道路景致的重要组成部分与周围建筑以及景致协调互补，共同构建一个完整的特色景观区域，提升整个区域的环境魅力以及交通功用。沥青混凝土路面采用彩色铺装具有以下优点：

① 改变道路路面长久以来以黑色、灰色为主的色调，色彩绚丽。

② 可以多色彩搭配混合使用，既能满足道路标志的路用性能，又能充分发挥多色块的分区功用。

③ 美化城市，提高城市人文魅力，展示城市地

域特色。

④ 具有诱导车流的功能,提高交通通行能力,使交通管理更直观^[15],在区分不同功能的路段和车道这方面发挥重要作用,帮助驾驶员提高对道路警示标志的识别程度,提高道路的通行能力以及交通安全,优化改善对车流的引导作用。

⑤使路面的可视性提高,有效降低了道路危险区域的交通问题。

彩色路面道路铺装已在我国 20 多个城市得到了应用,其中包括厦门、广州、烟台、沈阳和成都等地,取得了巨大的成效^[16]。厦门有环岛景观道、沈阳有北京街以及烟台有滨海中路景观街,这些地方都是景观铺设路面,有效运用了彩色路面的优势^[17]。

5 彩色路面布置方案设计

基于视觉疲劳的高速公路路面色彩方案研究,分为视觉疲劳的测定与路面色彩方案的设计布置两部分。通过现场试验测试将驾驶员的开始出现疲劳状态以及进入稳定的疲劳状态进行量化,为色彩的合理布置提供依据。

5.1 试验测试指标

如何衡量驾驶员的疲劳状态呢?研究表明,当人处于疲劳状态时,会出现一系列的明显的生理反应,主要分为宏观和微观两类。宏观的生理反应有长时间的眨眼,频繁的点头,打呵欠面部表情变化缓慢,头部低垂的姿势等等。在医学上,测量这些生理反应的仪器也有很多。常用的仪器有眼动仪,这用于记录人在处理视觉信息时的眼动轨迹特征,以及记录驾驶员瞳孔的变化。微观的生理反应有心率、血压、呼吸等等,相应的测量仪器有测量心电图、脑电图等。

5.2 测试指标的选取

为了准确反应驾驶员的疲劳状态,将宏观与微观的生理反应有机结合起来,相互验证、相互补充。本实验采用心率增长率与眨眼频率作为主要的测量指标。理由如下:

① 眼频率

眨眼能够将眼泪水均匀分布在角膜和结膜上,使其保持湿润。当眨眼频率升高时,表明人的眼睛干涩,需要更多的泪液去润湿角膜和结膜,而眼干这一症状恰恰是视觉疲劳的前期症状^[18]。同时,眨眼频率的升高说明,视网膜和眼肌开始出现疲劳状态。而眨

眼频率的测量,可采用眼动仪。

② 心率的选取依据

在线形变化较少、路况单调的道路上行驶,心率趋于平稳,时间过长则会导致驾驶员注意力分散,一旦遇到突发状况,心率陡然加快,反应时间变长,增加事故几率。因此,可以用心率来衡量驾驶员生理、心理的变化。而心率的测定采用便携式生理仪。

5.3 衡量疲劳的指标

眼动仪与生理仪描述的是测试者的生理指标与时间的关系,因此,可以大致判定出测试者开始产生疲劳状态的时间段与进入稳定疲劳状态的时间段。但是,以时间作为变量不便于选择合理的位置进行色彩布置。因此,我们需要构造一个生理指标与试验里程之间的函数关系,以达到在合理的区段进行色彩的布置目的。

5.4 试验方案的提出与实施

根据现有的理论基础,我们提出了关于路面色彩布置的创新性研究试验。

使用同规格眼动仪在铺装前和铺装后,使用同种交通工具相同年龄段驾驶员进行测试比较,检验路面色彩方案对视觉疲劳的减缓情况。

5.4.1 试验路段的选取与现场调研

选取多段线形良好高速公路试验路段,并对试验路段现场调研。调研的主要的内容有:车流量、道路线型、设计车速、路面色彩、路面材料、路面反光率等。采用百分制对以上的考察各项内容进行评分。通过方案比选,选出比较理想的试验路段,减少次要因素对试验的影响。

5.4.2 测试人员与车型的选取

选取测试的驾驶人员主要考虑的因素有人数、性别、年龄段、驾驶水平。其中驾驶水平的衡量主要考察是驾驶员的驾龄,要求参与测试的驾驶员驾龄不应低于 2 年。然后对参与试验的驾驶员进行分批。为了减少其他变量的影响,本次试验采用的车型为轿车。

5.4.3 试验方法

① 试验过程

以两地的收费站为试验起终点。驾驶员佩戴相同型号的眼动仪和便携式生理仪驾驶相同型号的轿车进行测试。每次试验选取两批驾驶员,每一批次在 20

人，所有驾驶员的年龄段在 20-30 岁之间，不同批次的驾驶员在同一试验高速路试验路段进行对向行驶，行驶时间选于上午 8:00-11:00，能见度较好的天气。在测试过程中，尽量不干扰驾驶员的驾驶行为。

② 试验数据处理

将眼动仪和生理仪所测得的数据记录到心率记录表和眼动仪记录表中（表 3）。

表 3. 眼动仪记录表

工况	事件开始时刻	事件结束时刻	瞳孔平均直径	图像纳入位置	视觉摄入量
眨眼	T1	T2	D	N	M
扫视	t1	t2	d	n	m

提取以上数据，并导入 matlab 软件中，将一个方向的 20 组数据绘成光滑曲线，舍弃与大部分曲线偏移过大的曲线，将剩余曲线进行非线性最小二乘拟合，经过回归分析，得到最终的生理指标与时间的拟合曲线，由找出驾驶员开始产生疲劳状态的时间段，以及进入稳定疲劳状态的时间段。采用设计车速与时间的乘积换算为里程，成为换算里程。

③ 疲劳区段的划分

为了方便换算里程的验证，根据上述换算里程，对试验段进行区域划分，主要分为不疲劳区、开始疲劳区、稳定疲劳区三个区域。

④ 疲劳里程重复试验

同一批次的驾驶员在之前的试验路段，佩戴相同型号的眼动仪和便携式生理仪驾驶相同型号的轿车进行试验。验证并调整区段的位置，将开始疲劳区域进行彩色路面铺装，稳定疲劳区域进行间隔性彩色路面铺装。

5.4.4 图案设计与色彩选择

在交通标线、图案的设计中，我们参考迪拜城市道路路面色彩研究成果图（图 3），设计了如下几种备选方案（图 4）。

在该路面色彩的设计布置过程中，我们应考虑两个方面：

① 色彩的搭配

基于驾驶员的视觉疲劳特性和视觉生理指标，进行路面色彩的合理选择和试验。在注意一下两点的基础上（色彩不能引起驾驶员的恐慌且图标不能过于复杂，应简单明了，不与现有交通

标志标线冲突矛盾，能正确引导驾驶员保存安全速度）进行方案设计，并试验比对各方案的优劣。



图 3. 迪拜城市路面色彩布置方案

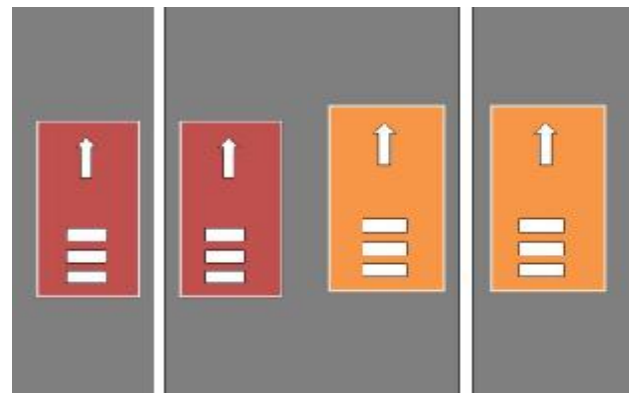


图 4. 路面色彩方案设计

② 着色的距离

在路面色彩的尺寸设计中，我们研究驾驶员在驾车过程中平均时速为 100km/h 时的有效视距下的色块间距离设计和色块尺寸大小设计。

基于以上考虑，我们在路面色彩布置中，尤其是在试验研究得出的视觉疲劳易发路段（即交通事故易发段）中，初步设计方案为：每 50 米布置一排色块（布置距离也可通过具体情况修正），每幅色块尺寸为在 2*4 米的矩形块（图 4 设计方案一、设计方案二），色块内部为尺寸按试验结果比对选择。

5.4.5 色彩布置的验证

在高速公路上进行彩色路面铺装以后，进行重复试验，将得到数据提取导入 matlab，重复试验步骤②，将得到的拟合曲线与原来两条曲线进行对比，进行路面彩色铺装后的效果对比，验证路面色彩方案对

视觉疲劳的减缓情况，并得出相应结论。

6 结论

目前，对于色彩在道路景观中的应用比较多，对于道路交通安全有积极的作用，但是在色彩对驾驶员视觉疲劳刺激方面的研究没有具体的切实可行指导路面配色方案。

本文提出了一个关于路面色彩方案的创新性试验方案，应用眼动技术测试驾驶员在高速公路上的视觉疲劳规律，基于此规律，结合色彩心理学理论，在高速公路视觉疲劳区段设置相应刺激驾驶员神经系统的路面色彩图标、色块、标线等，以提高道路交通安全，可为新建高速公路道路安全提供一种参考。

References (参考文献)

- [1] Yuping Yu, Zhongyang Xu. Analysis and Countermeasures of traffic safety factors at tunnel portal [J]. traffic standardization, 2006, 152(4):104-108.
- [2] Qingli Wang. Research on the evaluation of road critical parameters based on driver's visual characteristics [D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [3] J.Baujon, M.Basset, G.L.Gissingner. Visual behavior analysis and driver cognitive model[C], Advances in Automotive Control. 3rd IFAC Workshop. Karlsruhe(Germany): Elsevier Science Ltd, 2001, 28-30.
- [4] Hiroyuki Shinoda, Mary M.Hayhoe, Anurag Shrivastava. what controls attention in natural environments [J]. Vision Research, 2001, 41 (25-26): 3535-3545.
- [5] Geoffrey Underwood, Peter Chapman, Neil Brocklehurst, Jean Underwood, David Crundall Visual attention while driving: sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers[J]. Ergonomics, 2003, 46(6): 629-646.
- [6] Mark Brackston, Ben Watterson. Are We Looking Where we are Going. An Exploratory Examination of Eye Movement in High Speed Driving[C]. Proc. of the 83rd Transportation Research Board Annual Meeting. Washington(U.S.A): TRB 2004, 2602-2626.
- [7] Trent W. Victor, Joanne L. Harbluk, Johan A. Engstrom. Sensitivity of eye-movement measures to in-vehicle task difficulty[J]. Transportation Research Part F, 2005, 8(2): 167-190.
- [8] Torbjorn Falkmer, Nils Petter Gregeirsen. A comparison of eye movement behavior of inexperienced and experienced drivers in real traffic environments [J]. Optometry and Vision Science, 2005, 82(8): 732-739.
- [9] Qiang Gu. Study on the influence of freeway alignment on driver's visual characteristics [D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [10] Xiaodong Pan, Yongzhao Song, Gang Yang, Guisheng Zhang. The scope of improvement of highway tunnel entrance and exit environment based on visual load [J]. Journal of Tongji University (Natural Science Edition). 2009, 37 (6): 778-780.
- [11] Cao He. Study on the physiological and psychological impact of the highway section of the expressway on the driver [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [12] Ni Meng. Analysis of driver's gaze behavior in different road traffic [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [13] Jing Huang. Analysis of distribution characteristics of driver's fixation points on Freeway Tunnel [J]. traffic science and technology. 2010 (1): 91-93.
- [14] Fang Wang, Fei Chen, Liyuan Wang, Xin Cheng. Driver's visual interest region index analysis and influence factor analysis [J]. highway and traffic science and technology. 2010, 27 (6): 128-131.
- [15] Yubin Qian. Study on characteristics of ECG and operation behavior of long-distance bus drivers at night highway [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011.
- [16] Ludan Shi. Research on eye gaze characteristics of drivers in super long tunnel [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011.
- [17] Feiyan Qiao. Study on the influence of tunnel section on driver's vision and psychology [D]. Jilin: Jilin University, 2012.
- [18] Zhihui Feng. Research on highway landscape design method based on driver's cognitive characteristics and visual characteristics [D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.