

文章编号:1671-1637(2015)02-0001-09

## 基于动视觉特性的高速公路景观敏感区划分

许金良<sup>1</sup>, 王荣华<sup>1</sup>, 冯志慧<sup>2</sup>, 王子赓<sup>3</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 河南农业大学 信息与管理科学学院, 河南 郑州 450002;  
3. 密歇根理工大学 土木与环境工程学院, 密歇根 霍顿 49931)

**摘要:**分析了驾驶人动视觉特性,研究了驾驶人的水平视野角度、前景视图、注意力集中点与最深视野随着车速的变化规律,构建了基于驾驶人动视觉特性的高速公路景观敏感区模型,并推导了景观敏感区函数。运用景观敏感区模型计算了双向四车道高速公路在不同限速条件下的景观敏感区尺度,运用景观敏感区函数获得分级结果,并阐述了不同景观敏感区的属性与景观要素设计要点。通过对比试验,研究了边坡宽度与一级景观敏感区尺度之间的关系。研究表明:双向四车道高速公路景观敏感区尺度为545 m,一~三级敏感区尺度分别为55、260、230 m,其中一级景观敏感区属于最敏感区域;进行边坡景观设计时可通过修正坡度的方法改变边坡宽度占高速公路景观敏感区的比重,坡度越缓,景观敏感性越高。

**关键词:**道路工程;高速公路景观;敏感区划分;动视觉特性

**中图分类号:**U418.9

**文献标志码:**A

## Classification of expressway landscape sensitive zone based on dynamic visual characteristics

XU Jin-liang<sup>1</sup>, WANG Rong-hua<sup>1</sup>, FENG Zhi-hui<sup>2</sup>, WANG Zi-geng<sup>3</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Information and Management Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China; 3. Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan Technological University, Houghton 49931, Michigan, USA)

**Abstract:** The dynamic visual characteristics of drivers were analyzed, the change laws of driver's horizontal visual degree, foreground vision, fixation point and the deepest vision with the change of speed were studied, the model of expressway landscape sensitive zone was proposed based on drivers' dynamic visual characteristics, and the functions of landscape sensitive zones were derived. The landscape sensitive zone scopes of bidirectional four-lane expressways at different speed limit levels were calculated by using landscape sensitive zone model, and the classification result was gotten by using landscape sensitive functions. The attributes of different landscape sensitive zones and the design key points of landscape elements were described. The relationship between slope width and the first class landscape sensitive zone scope was studied through contrast tests. Analysis result indicates that the landscape sensitive zone scope of bidirectional four-lane expressway is 545 m, the scopes of the first, second and third classes are 55, 260, 230 m, respectively, and the first class zone is the most sensitive one. The gradient can be revised to change the proportion of side slope width in expressway landscape sensitive zone when

收稿日期:2014-10-18

基金项目:交通运输部科技项目(2011 318 362 810);中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2011ZD021,2013G1211003);陕西省交通科技项目(08-08R)

作者简介:许金良(1966-),男,山东曹县人,长安大学教授,工学博士,从事道路工程与交通安全研究。

designing the side slope landscape, and the smaller the gradient is, the higher the landscape sensitivity is. 4 tabs, 9 figs, 23 refs.

**Key words:** road engineering; expressway landscape; sensitive zone classification; dynamic visual characteristics

**Author resume:** XU Jin-liang(1966-), male, professor, PhD, +86-29-82334441, gl15@chd.edu.cn.

## 0 引 言

高速公路景观是公路环境领域研究的热点之一。道路不仅是连接 2 个地点的建筑物,还可通过走廊带沿线的风景、文化、历史及娱乐等资源展现其美学功能<sup>[1-3]</sup>。良好的公路景观规划与设计可有效地缓解驾驶人的视觉疲劳,改善行车安全,美化行车环境,还可从自然、人文等方面增强公路空间的连续性,完善公路功能<sup>[4-7]</sup>。

Garré 等研究了城郊环境下二、三级公路的双重景观特征(通往景点的途径和自身景观),综合运用形态景观分析、景观图片感知研究和累积逻辑模型技术,评价影响景观效果的因素,研究结果表明公路及其结构对所处景观环境具有负面影响<sup>[8]</sup>;Chamberlain 等提出了视觉重要度,通过量化边坡效果、观察角度和距离,计算可视化程度,研究结果表明使用该方法不仅可识别沿公路走廊带的可视区域,还可获悉观察者可对可视区域的判断和反应<sup>[9]</sup>;Santner 等依托实体工程案例,研究了内华达州不同公路走廊沿线的地形、植物种群及城市发展规划,确定了景观特征,并基于 GIS 分析走廊带内重要的自然环境特征的视域,按照软质景观和硬质景观对公路景观要素进行分类,根据景观特征设计景观要素,美化走廊带行车视距空间<sup>[10-12]</sup>;美国俄勒冈州立大学和佐治亚理工学院共同研究了城市道路路侧处治的安全和美学设计问题,通过识别城市道路常见交通事故类型,分析事故形态及严重程度,提出相应治理措施,旨在形成城市道路路侧处治的安全和美学设计指南<sup>[13]</sup>;张祖才早在 1989 年就提出公路美学的核心是“线形美”,公路线形需与走廊带沿线地形、地貌等环境相协调,并阐述了公路景观主题与沿线社会、人文环境相融合的方法<sup>[14]</sup>;王淑芬等通过建立数学模型研究了公路景观设计中路侧结构物的空间尺度对人的影响范围,路侧 50 m 范围内,人对结构物的空间尺度高度敏感,50~100 m 时较为敏感,100 m 之外敏感性较差<sup>[15]</sup>;陈雨人等提出了景观图像布局角度的概念,分析了高速公路图像布局角度与景观评价价值之间的内在关系,尝试客观评价

高速公路景观<sup>[16]</sup>。

以上研究缺乏从驾驶人动视觉特性角度出发对景观视觉敏感尺度的量化分析。高速公路景观规划与设计需以驾驶人的视觉特性为根本。早在 1937 年,Hamilton 指出随着车速的提高,驾驶人的注意力主要集中在视线正前方,对路侧事物的感知能力降低<sup>[17]</sup>;郭应时等指出当视野环境变得复杂时,驾驶人眼睛运动会变得频繁,对事物的平均注视时间变短<sup>[18]</sup>;马艳丽等指出在高速公路上连续驾驶一段时间后,驾驶人注意分配会发生变化<sup>[19]</sup>。这些研究表明,在静止状态,人们可轻易地感知周围环境景观的特色,具备对公路走廊带沿线细节景观的感知能力,如路侧的花草,而当处于高速运动状态时,驾驶人对走廊带沿线景观环境感知的敏感程度降低,路侧感知范围降低。

本文通过分析驾驶人的动视觉特性,研究驾驶人的景观视觉敏感度,建立高速公路景观敏感区计算模型,划分视觉敏感区,量化不同敏感程度的尺度范围,并确定各区的属性,指导公路景观设计。

## 1 高速公路景观敏感区模型建立

高速公路景观敏感区是根据驾驶人对公路走廊带内景观要素的不同敏感程度,确定的不同等级的景观研究范围。图 1 中,Hamilton 等在研究汽车驾驶人的局限性时,提出当行车速度为  $73 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时,驾驶人的视野角度只有  $65^\circ$ ,当行车速度超过  $95 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时,驾驶人视野角度低于  $40^\circ$ <sup>[20]</sup>。随着行车速度的提高,驾驶人空间感知能力下降,能够感知到的景观范围也逐渐变化<sup>[21]</sup>,因此,驾驶人的视觉特性是影响敏感区范围变化的主要因素。

### 1.1 驾驶人的动视觉特性

驾驶人驾车时观察沿线周围环境,获取交通环境信息,80%以上都是视觉信息<sup>[22]</sup>,且这些信息基本都以动态方式呈现。驾驶人驾车行驶时对物体的视觉辨认能力要比处于静态时降低 10%~20%,在特殊情况下,例如进入隧道或路况信息复杂时,动视力要比静视力降低 30%~40%。有研究表明,当车速为  $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时,驾驶人可看清距车 240 m 的交

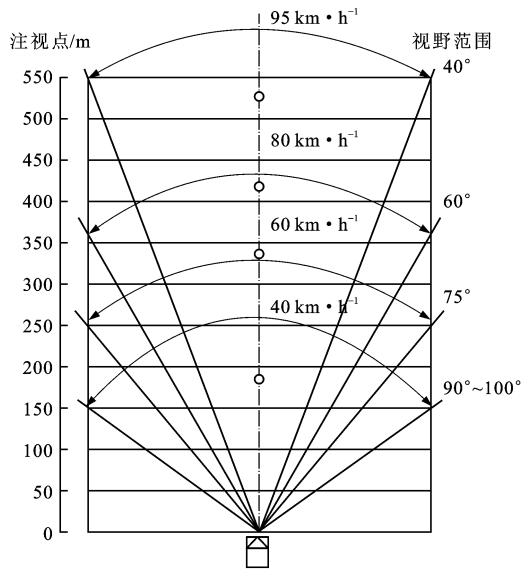


图1 景观尺度

Fig. 1 Landscape scope

通标志,而当车速提高到  $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时,驾驶人难以看清距车  $160 \text{ m}$  的交通标志。当车速提高时,车外景观环境与车辆的相对运动速度增加,驾驶人的视觉辨认能力降低,视认距离缩短,从而影响驾驶人对高速公路沿线环境的感知能力和细节景观的观察能力。

随着行车速度的提升,驾驶人的水平视野角度逐渐缩小,从眼周感知到的事物及细节信息越来越少,注意力基本全部集中于道路中线,如图2所示,视野形成平行于道路中线的狭长区域,其中水平视野角度为负表示左侧视野。同时,驾驶人所能感知到的前景视点与车辆之间的距离随着速度的提升快速增大,前景视图逐渐变模糊。为了保证安全行驶,驾驶人的注意力集中点会随着车速的提升快速向前跳动,运行速度越快,感知距离越远,有研究显示该感知距离的增长速度比车速的增长速度要大  $10\%$ 。驾驶人对注意力集中点周围的事物及细节能够做出迅速的反应,此时路面在驾驶人的视野中占据大部

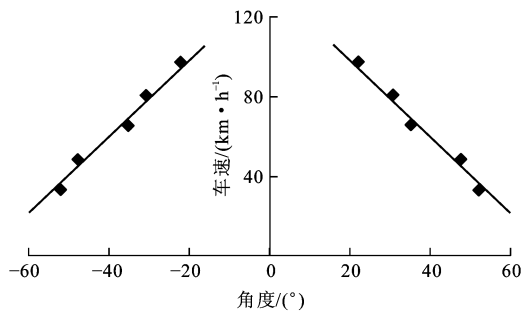


图2 水平视野角度变化

Fig. 2 Variation of horizontal visual angle

分比例。沿着行车方向超过注意力集中点以外的范围进入了视野模糊区,驾驶人的空间感知能力迅速下降,路侧信息基本处于驾驶人的视野盲区。

这些动态的视觉特性都将影响驾驶人对公路走廊带景观的感知能力,且不难发现,随着车速的变化,驾驶人所能感知的景观重点及路侧范围都在发生变化,因此,确定不同车速下驾驶人所能感知的景观敏感尺度范围对公路景观的规划与设计具有重要的意义。

## 1.2 景观敏感区尺度模型

通过分析驾驶人的动视觉特性,景观敏感区尺度范围与车速、水平视野角度、前景距离、注意力集中点和最深视野有着密切的关系,同时,驾驶人的观察视点与路基边缘的距离也会影响尺度范围的变化。驾驶人视觉的前景区域、注意力集中区域和最深视野区域控制着景观视觉敏感区的尺度范围。本文采用调查试验与模型对比试验的方法,以驾驶人的动视觉特性为景观敏感区的分级依据,以上述6个变化要素为分级参数,根据图3驾驶人的视觉空间构建表1中的高速公路景观敏感区计算模型,将高速公路景观敏感区划分为3个区域,一级最敏感,二级次之,三级最不敏感。

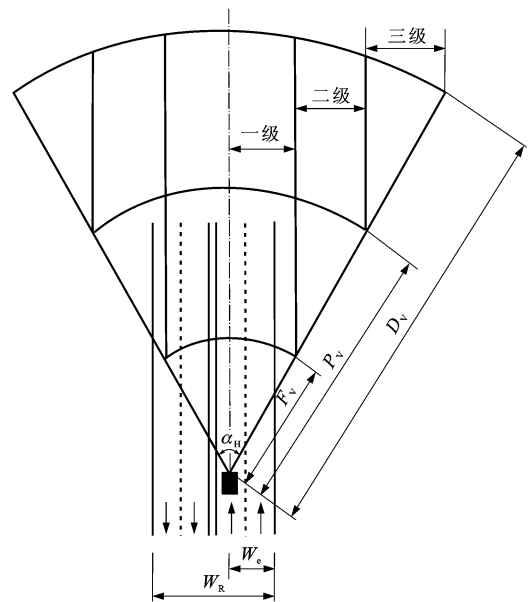


图3 驾驶人视觉空间

Fig. 3 Driver's visual space

表1中,  $F_v$  为前景视图视野距离;  $P_v$  为注意力集中点视野距离;  $D_v$  为最深视野距离;  $\alpha_H$  为水平视野角度;  $W_e$  为视点与路基边缘的宽度;  $W_R$  为路基宽度;  $S_F$  为根据前景视图视野距离计算的敏感区范围;  $S_P$  为根据注意力集中点视野距离计算的敏感区范围;  $S_D$  为根据最深视野距离计算的敏感区范围;

表 1 高速公路景观敏感区计算模型

Tab. 1 Calculation models of expressway landscape sensitive zones

sensitive zones		
视野范围	前景视图	$S_F = 2[F_V \sin(\alpha_H/2) - W_e] + W_R$
	注意力集中点	$S_P = 2[P_V \sin(\alpha_H/2) - W_e] + W_R$
	最深视野	$S_D = 2[D_V \sin(\alpha_H/2) - W_e] + W_R$
敏感区尺度	一级敏感区	$S_1 = S_F$
	二级敏感区	$S_2 = S_P - S_F$
	三级敏感区	$S_3 = S_D - S_P$
路基边缘以外单侧宽度	一级敏感区	$S_{11} = S_F/2$
	二级敏感区	$S_{21} = (S_P - S_F)/2$
	三级敏感区	$S_{31} = (S_D - S_P)/2$

$S_1$  为一级敏感区范围;  $S_{11}$  为路基边缘以外单侧一级敏感区范围;  $S_2$  为二级敏感区范围;  $S_{21}$  为路基边缘以外单侧二级敏感区范围;  $S_3$  为三级敏感区范围;  $S_{31}$  为路基边缘以外单侧三级敏感区范围。

不同设计标准的高速公路, 车道限速不同, 则  $F_V$ 、 $P_V$ 、 $D_V$  各不相同。计算不同限速下的  $S_F$ 、 $S_P$ 、 $S_D$ , 一级敏感区函数、二级敏感区函数与三级敏感区函数分别为

$$S_1 = \max\{S_{Fv_1}, S_{Fv_2}, \dots, S_{Fv_n}\} \quad (1)$$

$$S_2 = \max\{(S_P - S_F)_{v_1}, (S_P - S_F)_{v_2}, \dots, (S_P - S_F)_{v_n}\} \quad (2)$$

$$S_3 = \max\{(S_D - S_P)_{v_1}, (S_D - S_P)_{v_2}, \dots, (S_D - S_P)_{v_n}\} \quad (3)$$

式中:  $S_{Fv_n}$  为第  $n$  个速度  $v_n$  下的一级敏感区尺度范围;  $(S_P - S_F)_{v_n}$  为速度  $v_n$  下的二级敏感区尺度范围;  $(S_D - S_P)_{v_n}$  为速度  $v_n$  下的三级敏感区尺度范围。

### 1.3 高速公路景观敏感区分级

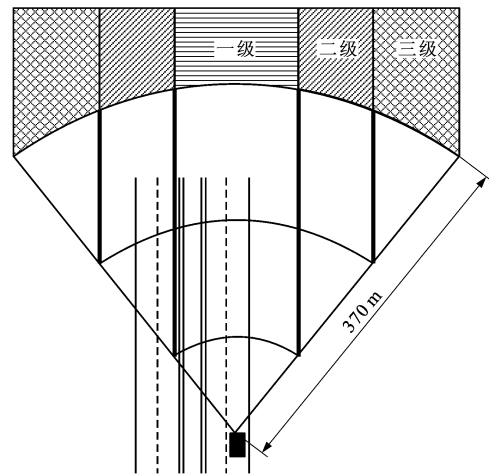
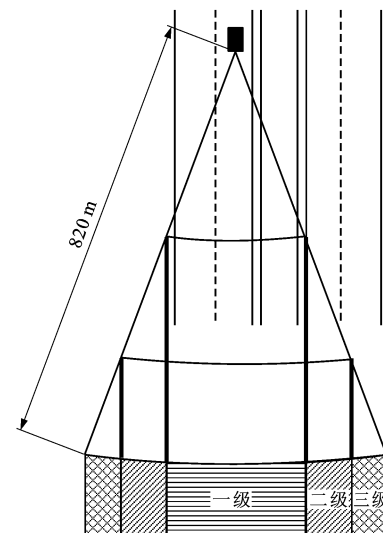
《中华人民共和国道路交通安全法实施条例》规定, 高速公路车速介于  $60 \sim 120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  之间, 本文以双向四车道高速公路为研究对象, 速度选择分别为  $60$ 、 $80$ 、 $100$ 、 $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , 设计车道宽度为  $3.75 \text{ m}$ , 设计路基宽度为  $28 \text{ m}$ , 计算高速公路景观视觉敏感区的尺度范围。根据已有研究结果确定表 2 中不同运行速度下景观敏感区分级参数值<sup>[23]</sup>。

图 4、5 分别为  $60$ 、 $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时的敏感区尺度计算模型, 按照表 1 的计算模型得出表 3 中不同运行速度下的敏感区分级结果, 考虑公路工程实际, 对计算结果取整。双向四车道高速公路景观敏感区

表 2 不同运行速度下的景观敏感区分级参数值

Tab. 2 Parameter values of landscape sensitive zone at different speeds

运行速度/( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	60	80	100	120
水平视野角度/( $^\circ$ )	75	60	40	24
前景视图/m	25	33	42	50
注意力集中点/m	180	300	420	540
视野深度/m	370	500	660	820

图 4  $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时敏感区尺度计算模型Fig. 4 Calculation model of sensitive zone scope at  $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 图 5  $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时敏感区尺度计算模型Fig. 5 Calculation model of sensitive zone scope at  $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 

研究总范围为  $545 \text{ m}$ , 分级结果见图 6。

根据式(1)、(2)、(3)计算得

$$S_1 = S_{F80} = 55 \text{ m}$$

$$S_2 = (S_P - S_F)_{80} = 265 \text{ m}$$

$$S_3 = (S_D - S_P)_{60} = 230 \text{ m}$$

表3 高速公路景观敏感区分级计算结果

**Tab. 3** Classification calculation results of expressway landscape sensitive zones

运行速度/ (km · h <sup>-1</sup> )	视点距路基边缘 宽度/m	一级敏感区尺度/m		二级敏感区尺度/m		三级敏感区尺度/m	
		总宽度	路基边缘外单侧宽度	总宽度	路基边缘外单侧宽度	总宽度	路基边缘外单侧宽度
60	2.5	50	10	190	95	230	115
80	2.5	55	15	265	130	200	100
100	5.0	45	10	255	125	170	85
120	5.0	40	5	200	100	120	6

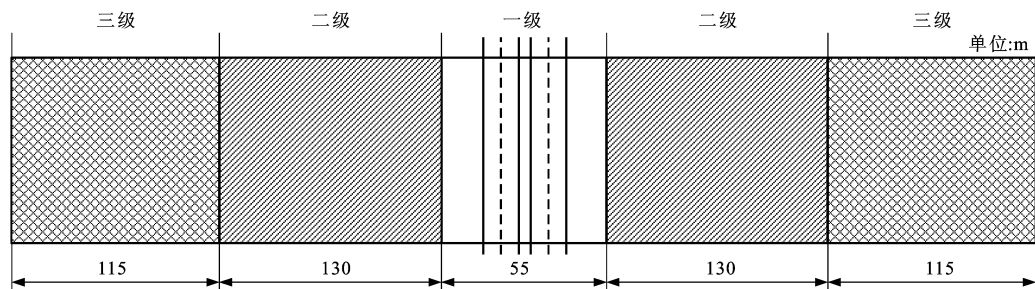


图 6 高速公路景观敏感区分级

Fig. 6 Classification of expressway landscape sensitive zones

## 2 高速公路景观敏感区属性分析

高速公路景观要素众多,有些景观要素可通过人工改造提高视觉空间的美感,有些景观要素不具工程可造性,且会间接影响公路其他景观要素的布局、结构和设计方法。

(1)高速公路一级景观敏感区敏感程度最高,驾驶人无论以最低限速  $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  行驶,还是以最高限速  $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  行驶,可感知到前景视野、注意力集中视野及最深视野的重叠区域,该区域是公路景观规划与设计重点。公路走廊带路线、桥梁、互通式立交、护栏、中央分隔带、跨线桥、隧道、边坡等公路构造物都位于该敏感区内。在公路初步设计阶段,需对公路沿线的自然景观资源、人文历史景观资源进行考察,在满足公路内部景观要素自身功能基础上,结合建筑物的材料、颜色、质地、模式与形态等美学手法,美化该区域内景观要素的视觉效果。

受地形条件或公路规划等因素的影响,公路边坡及服务区景观要素可能同时位于一、二级景观敏感区内。公路边坡的坡度不同,景观视觉效果相差很大。服务区既要注重功能建筑的尺度、体量与造型设计,还需兼顾服务区内景观细节的设计,供行人停车休息时欣赏。

当公路用地范围以外的景观要素(例如农田、独树、鱼塘、房建与广告牌等)位于一级景观敏感区时,需综合公路设计者、景观设计专家及道路使用者等

多方面的调查结果,判断、识别要素的景观质量。识别为“美的景观要素”,可展示于道路使用者的视觉空间内,提升行车视觉质量;反之,种植宜生植物遮蔽不良景观,可将景观质量较差的景观要素移除(例如广告牌),净化视觉空间。

(2) 高速公路二级景观敏感区敏感程度低于一级敏感区, 驾驶人行车速度介于  $60 \sim 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时, 可感知到注意力集中视野及最深视野的重叠区域。高速公路大型互通式立交、边坡及服务区等公路构造物位于该区域内; 同时走廊带沿线的公路外部景观要素, 如山体、沙漠、湖泊、峡谷等自然景观, 古迹遗址、住宅房建等历史人文景观, 也可能位于该视觉敏感区内。内部景观要素美学手法和一级景观敏感区手法相似。地形地貌、人文历史等外部景观要素位于公路用地范围以外, 驾驶人高速行驶时难以感知该区域尺度较小景观, 可感知到山体轮廓、湖泊、农田等大尺度景观, 因此, 该区域宜采用简洁、大尺度、轮廓明晰的景观设计手法美化视觉空间。

(3)高速公路三级景观敏感区属于最不敏感区域,驾驶人以  $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  行驶时可感知到最深视野区域,该区域位于公路用地范围以外,主要由山川、台地等各种地貌、水文构成大尺度的公路景观背景。在初步设计阶段之前,对公路走廊带沿线的水文地质、动物栖息地、植物生长环境等环境资源进行考察,在不扰动生态环境前提下,指导前期路线方案,获取优美的自然景观背景。

通过对一级敏感区内景观要素的分析,高速公路边坡有时只位于一级景观敏感区,有时跨越一级且部分位于二级敏感区。总结工程实例,高速公路的高陡边坡即使位于视觉最敏感区域,其美化司乘人员视觉空间的效果也很小,在这种情况下仍去美化边坡,不仅提高了公路建设成本,而且达不到应有的景观视觉效果,因此,需要研究高速公路边坡的高度、坡度与公路景观敏感尺度之间的关系,指导边坡的景观设计。

### 3 考虑景观敏感比重的公路边坡景观设计

高速公路边坡景观具有环境价值和美学价值,通过设计合适的边坡坡度,搭配种植适生、体现季相的防护植物,可降低公路圬工对视觉空间的“污染”,保护生态环境,获取美学价值。边坡景观的视觉效果与其在视觉敏感区内所占的比重直接相关。

#### 3.1 路堤边坡坡度、坡高与坡宽之间的关系

根据《公路路基设计规范》(JTG D30—2004),以路堤边坡为例,设计坡高为 0.8~15.0 m、坡度为 1:0.5~1:6 的边坡,计算相对应的边坡宽度,图 7 中垂直实线为一级景观敏感区位置。

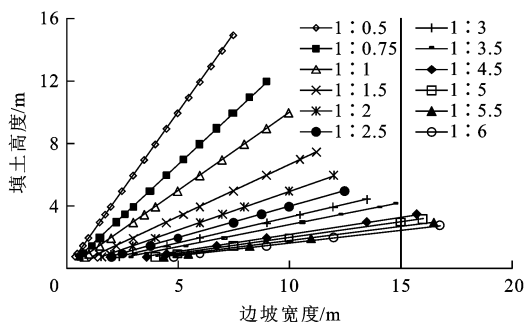


图 7 边坡宽度与填土高度的关系

Fig. 7 Relationships of side slope widths and filling heights

由图 7 可知:在同一填土高度下,随着边坡坡度的减小(1:0.5~1:6),边坡宽度逐渐递增;在同一边坡坡度下,边坡宽度与填土高度呈线性递增规律。

#### 3.2 边坡景观视觉敏感比重研究

结合景观视觉敏感区的量化结果与属性分析,计算图 7 中的边坡宽度发现,不同坡度的路堤边坡基本位于一级景观敏感区范围内。一级景观敏感区的确需要加强公路景观的营造,但当边坡坡度设计不合理时,其景观营造效果并不能有效地美化驾驶人的视觉空间,且徒增公路建设成本,因此,需要研究边坡宽度占景观敏感区的比重,以此作为依据,合

理设计公路边坡景观。

#### 3.2.1 对比试验

以路堤边坡为例,根据《公路路基设计规范》(JTG D30—2004),进行坡高为 0.8~15.0 m、坡度为 1:0.5~1:6 的对比试验,计算相应边坡宽度,结果见图 8,计算时单侧路基边缘以外一级景观敏感区尺度为 15 m(图中实线),虚线表示边坡宽度占单侧路基边缘以外一级景观敏感区比重为 50%时所对应的边坡高度,表 4 为图 8 中路堤编号对应的路堤高度。

表 4 路堤高度

Tab. 4 Embankment heights

路堤编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
路堤高度/m	0.8	1.5	2.0	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0
路堤编号	10	11	12	13	14	15	16	17	18
路堤高度/m	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0

#### 3.2.2 对比分析结果

(1)当设计坡度为 1:0.5,在单侧路基边缘以外的一级景观视觉敏感区范围内,坡高为 1.5 m 时,坡宽敏感比重小于 5%,坡高为 4.5 m 时,坡宽敏感比重小于 15%,坡高需大于 6.0 m,坡宽敏感比重才超过 20%;当坡度为 1:1,坡高需大于 7.5 m 时,坡宽敏感比重大于 50%,因此,边坡坡度过陡,坡宽占据道路使用者视觉空间的比例低,视觉敏感度低。

(2)当设计坡高为 5.0 m 时,坡度为 1:0.5,坡宽敏感比重为 16.7%,坡度为 1:1.5,坡宽敏感比重为 50%,坡度为 1:3,坡宽占据单侧路基边缘以外整个一级敏感区;当坡高分别大于 3.00、2.50 m,对应坡度分别小于 1:5、1:6 时,坡宽跨越单侧路基边缘以外一级敏感区且部分位于二级敏感区,因此,坡度是控制边坡在视觉空间所占比例的重要因素,坡度越缓,坡宽占据视觉空间比例越大,道路使用者对其感知能力越强。

(3)结合图 8 及工程实践,可以发现高陡边坡在一级景观敏感区的敏感度低,例如坡高大于 10.0 m,坡度大于 1:0.75,景观敏感比重低于 50%,而当坡高为 3.0 m 时,坡度小于 1:3.5,景观敏感比重大于 70%。

#### 3.3 高速公路边坡景观设计

根据上述对比分析结果,结合工程实际,可采用以下几种方法对高速公路边坡进行景观设计。

(1)当高速公路边坡坡度大于 1:0.75 时,边坡宽度占据道路使用者视觉空间比例低,敏感性低。

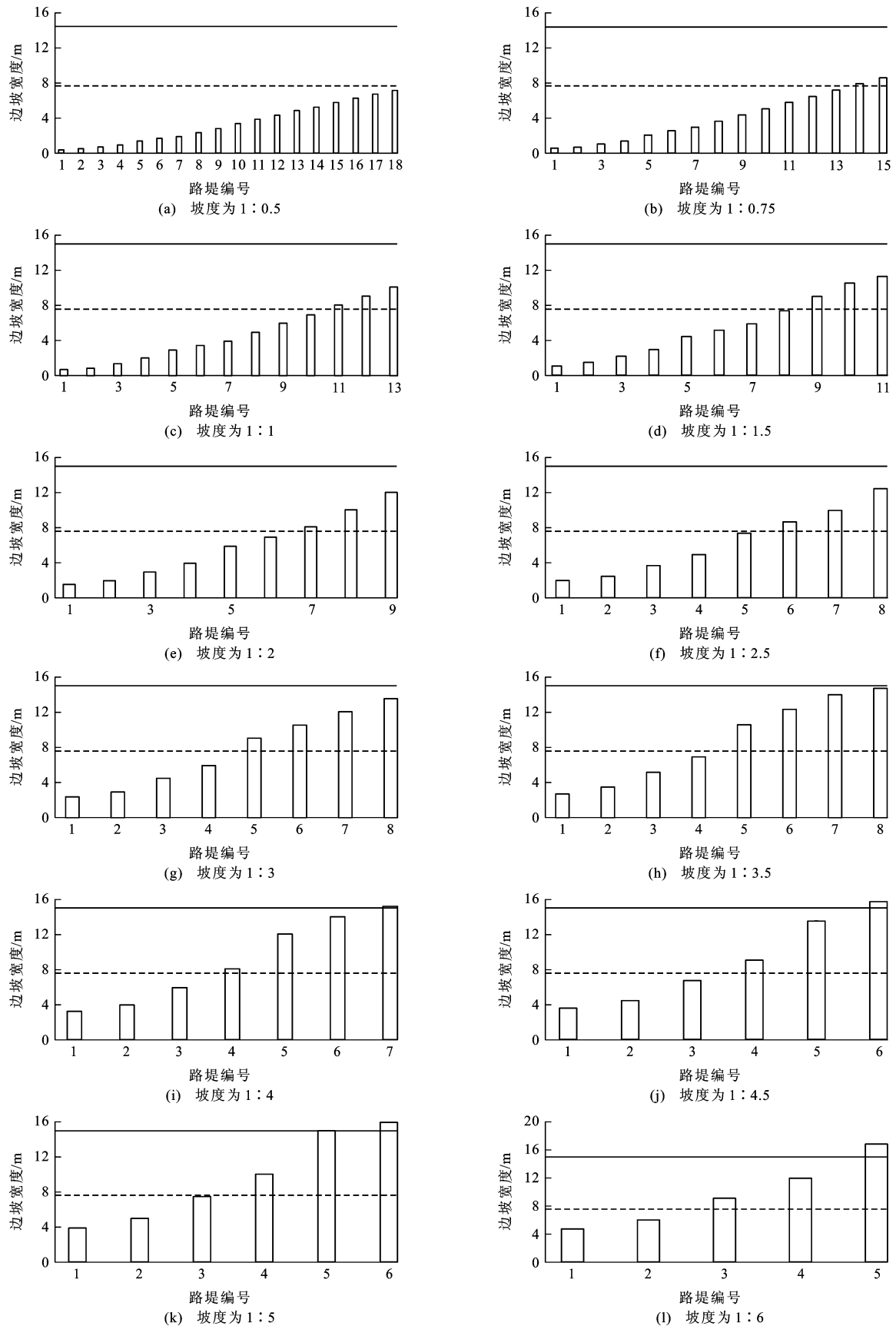


图8 边坡宽度计算结果

Fig.8 Computation result of side slope widths

当项目立地条件允许时,坡高小于 3.0 m 的公路边坡,可降低边坡坡度,坡顶与土路肩、坡底与自然地面进行顺滑处理,提升边坡景观的自然性。当公路占地、水文地质、立地条件等因素不允许降低公路边坡坡度,且坡高大于 3.0 m 时,应主要保障边坡的稳定性,防止水土流失、滑坡等灾害,根据土壤、水文条件选择适生植物,美化边坡坡面,提升边坡景观视觉效果。

(2)若公路用地范围允许且工程条件具备时,根据不同的边坡高度,调整边坡坡度,提升景观敏感度,在保证景观效果的同时,相对降低工程建设成本。当坡高  $h \leq 1.0$  m 时,可直接放缓边坡,使坡脚与自然地面顺滑衔接,营造自然边坡景观;当  $1.0 \text{ m} < h \leq 2.0$  m,坡度需小于 1:5;当  $2.0 \text{ m} < h \leq 4.0$  m,坡度需小于 1:4;当  $h > 4.0$  m,坡度需小于 1:2。上述只是提供不同坡高对应的景观坡度临界值,坡度越缓,造景空间越大,边坡占据公路景观敏感区程度越大。

(3)在公路用地范围允许的条件下,放缓高速公路边坡,则坡宽有可能跨越两级景观敏感区,例如,当  $h > 3.5$  m,坡度小于 1:4.5 时。高边坡降低坡度后,提高了坡宽在一级敏感区的比重,此时应着重美化高路堤边坡坡顶、高路堑边坡坡脚与硬路肩衔接处,进行圆弧化处理以提升边坡自然性,保证边坡稳定性的同时种植适生植物,美化一级景观敏感区内的边坡景观,并注重后期养护工作。对位于二级景观敏感区内的部分边坡,主要保障边坡的稳定性,防止边坡灾害。

(4)路堑景观与路堤景观有所区别。低景观敏感比重的路堑边坡占据驾驶人和道路使用者的视野比例比路堤边坡大,但长时间行驶在高陡路堑边坡构成的道路空间内,其封闭、狭长的特性易使驾驶人产生压抑感,不利于行车安全,因此,在公路设计初期,应尽量避免这种不良设计,否则优美的路堑边坡景观也不易弥补深路堑形成的紧张行车环境。

### 3.4 其他考虑

隧道行车环境和路堑边坡所构成的行车空间类似,可通过景观处理手法缓解封闭空间产生的压抑感。根据人的认知规律,在隧道壁上设计大尺度的蓝天、绿山等自然景观背景,驾驶人和道路使用者可感知到隧道空间有所扩大,降低压抑感,提高行车安全。本文运用 UC-win/Road 三维仿真软件,模拟隧道景观效果,图 9(a)是未经景观手法处理的隧道内部构景,图 9(b)是美化后的隧道行车空间。



(a) 隧道原始表面



(b) 隧道景观

图 9 隧道景观效果对比

Fig. 9 Comparison of tunnel landscape effects

## 4 结 语

本文分析了驾驶人的动视觉特性,以汽车行驶速度、水平视野角度、前景距离、注意力集中点、最深视野、视点与路基边缘距离作为高速公路景观敏感分级参数,构建了高速公路景观敏感区计算模型及不同敏感程度下的景观尺度函数,计算了各级限速下双向四车道高速公路景观敏感分级结果,景观敏感区研究范围为 545 m,一级敏感区为 55 m,二级和三级敏感区分别为 260、230 m,其中一级最敏感。在此基础上,研究了高速公路边坡宽度与路基边缘以外一级敏感区之间的比重关系,提出了有效的边坡设计方法,给出了坡度建议值,从而既优化了边坡景观,又降低了景观营造成本。本文实例中采用的驾驶人水平视野角度、前景距离等分级参数值是基于现有研究成果,建议后期根据高速公路的发展状况,实时更新参数,提高景观敏感分级的准确性。

### 参考文献:

### References:

- [1] KURDOGLU O, KURDOGLU B C. Determining recreational, scenic, and historical-cultural potentials of landscape features along a segment of the ancient silk road using factor analyzing[J]. Environ Monit Assess, 2010, 170(1-4): 99-116.
- [2] WANG Rong-hua, WANG Zi-geng. Assessment model for highway landscape maintenance based on analytic hierarchy



- process[C]//PENG Qi-yuan, WANG K C P. Proceedings of the Fourth International Conference on Transportation Engineering. Reston: ASCE, 2013: 569-574.
- [3] 靳俊中. 高速公路绿化模式及技术研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 28(10): 185-186.
- JIN Jun-zhong. Research on highway greening modes and technologies[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2011, 28(10): 185-186. (in Chinese)
- [4] ALBRITTON R, STEIN T V. Integrating social and natural resource information to improve planning for motorized recreation[J]. Applied Geography, 2011, 31(1): 85-97.
- [5] VRIES S D, GROOT M D, BOERS J. Eyesores in sight: quantifying the impact of man-made elements on the scenic beauty of Dutch landscapes[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 105(1/2): 118-127.
- [6] CHAPMAN J R, NOYCE D A. Influence of roadway geometric elements on driver behavior when overtaking bicycles on rural roads[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(1): 28-38.
- [7] PENA S B, ABREU M M, TELES R, et al. A methodology for creating greenways through multidisciplinary sustainable landscape planning[J]. Journal of Environmental Management, 2010, 91(4): 970-983.
- [8] GARRÉ S, MEEUS S, GULINCK H. The dual role of roads in the visual landscape: a case-study in the area around Mechelen (Belgium) [J]. Landscape and Urban Planning, 2009, 92(2): 125-135.
- [9] CHAMBERLAIN B C, MEITNER M J. A route-based visibility analysis for landscape management[J]. Landscape and Urban Planning, 2013, 111(3): 13-24.
- [10] Nevada Department of Transportation. I-15 landscape and aesthetics corridor plan[R]. Carson City: Nevada Department of Transportation, 2005.
- [11] Nevada Department of Transportation. I-80 landscape and aesthetics corridor plan[R]. Carson City: Nevada Department of Transportation, 2005.
- [12] Nevada Department of Transportation. US 395, West US 50, SR 28, SR 207 and SR 431 landscape and aesthetics corridor plan[R]. Carson City: Nevada Department of Transportation, 2006.
- [13] DIXON K K, LIEBLER M, ZHU H, et al. Safe and aesthetic design of urban roadside treatments[R]. Washington DC: TRB, 2008.
- [14] 张祖才. 公路美学设计的讨论[J]. 中国公路学报, 1989, 2(4): 9-17.
- ZHANG Zu-cai. On the highway aesthetics design[J]. China Journal of Highway and Transport, 1989, 2(4): 9-17. (in Chinese)
- [15] 王淑芬, 魏中华, 任福田. 公路路侧结构物空间尺度对人的影响机理[J]. 北京工业大学学报, 2008, 34(4): 408-411.
- WANG Shu-fen, WEI Zhong-hua, REN Fu-tian. Effect mechanism of the spatial dimension of roadside structure to people[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2008, 34(4): 408-411. (in Chinese)
- [16] 陈雨人, 郭力伟. 高速公路景观图像评价与布局角度的关系[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2008, 36(3): 339-343.
- CHEN Yu-ren, GUO Li-wei. Relationship between layout-angle of expressway landscape picture and its assessment[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2008, 36(3): 339-343. (in Chinese)
- [17] HAMILTON J R. Concentration and speed[R]. New York: Doubleday, Doran & Company, Inc., 1937.
- [18] 郭应时, 付锐, 张建峰, 等. 不同通道宽度条件下汽车驾驶员注视点分布规律[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(2): 51-54.
- GUO Ying-shi, FU Rui, ZHANG Jian-feng, et al. Fixation distribution of driver while driving through passageways with different widths[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(2): 51-54. (in Chinese)
- [19] 马艳丽, 王要武. 驾驶员注意分配特性及其对行车安全的影响[J]. 交通运输工程学报, 2009, 9(4): 114-117.
- MA Yan-li, WANG Yao-wu. Attention assignment characteristic of driver and its influences on driving safety[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2009, 9(4): 114-117. (in Chinese)
- [20] HAMILTON J R, THURSTONE L L. Peripheral vision[R]. New York: Doubleday, Doran & Company, Inc., 1937.
- [21] HAMILTON J R. Space perception[R]. New York: Doubleday, Doran & Company, Inc., 1937.
- [22] 袁伟, 付锐, 郭应时, 等. 驾驶员视觉搜索模式模糊聚类评价方法[J]. 中国公路学报, 2011, 24(1): 103-108.
- YUAN Wei, FU Rui, GUO Ying-shi, et al. Fuzzy clustering evaluation method for driver's visual search mode[J]. China Journal of Highway and Transport, 2011, 24(1): 103-108. (in Chinese)
- [23] 潘兵宏, 赵一飞, 梁孝忠. 动视觉原理在公路线形设计中的应用[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(6): 20-24.
- PAN Bing-hong, ZHAO Yi-fei, LIANG Xiao-zhong. Application of dynamic vision theory in highway alignment design[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(6): 20-24. (in Chinese)