

基于MATLAB建模的路侧交通标志安装角度量化研究

袁雯鑫, 张智勇

北京工业大学城市交通学院, 北京

收稿日期: 2025年11月10日; 录用日期: 2026年1月7日; 发布日期: 2026年1月19日

摘要

由GB5768规范给出道路交通标志水平安装角度范围在 $0^{\circ}\sim10^{\circ}$ 或 $30^{\circ}\sim45^{\circ}$ ，但规范中并未给出具体场景下的取值方法，导致实际安装中易因角度不当产生眩光，存在安全隐患。本文基于光学反射原理与三维空间几何关系，构建路侧交通标志安装角度优化模型，以太阳矢量、标志法向矢量、观察者视线矢量为核心参数，通过MATLAB建立数学模型，综合分析了纬度以及道路走向两种因素，最终得出了不同纬度和道路走向下的最佳安装角度，为路侧交通标志的科学安装提供了量化参数。

关键词

路侧交通标志, 水平安装角度, 三维空间几何, MATLAB建模, 控制眩光

Quantitative Study on the Installation Angle of Roadside Traffic Signs Based on MATLAB Modeling

Wenxin Yuan, Zhiyong Zhang

School of Urban Traffic, Beijing University of Technology, Beijing

Received: November 10, 2025; accepted: January 7, 2026; published: January 19, 2026

Abstract

The GB5768 standard specifies that the horizontal installation angle of road traffic signs should be in the range of $0^{\circ}\sim10^{\circ}$ or $30^{\circ}\sim45^{\circ}$, but it does not provide a method for determining the angle for specific scenarios. This can lead to glare due to improper angles during actual installation, posing safety risks. Based on the principles of optical reflection and three-dimensional spatial geometry,

this paper constructs an optimization model for the installation angle of roadside traffic signs. Using the sun vector, sign normal vector, and observer line-of-sight vector as core parameters, a mathematical model is established in MATLAB. The study comprehensively analyzes the effects of latitude and road orientation, ultimately determining the optimal installation angles for different latitudes and road directions, providing quantitative parameters for the scientific installation of roadside traffic signs.

Keywords

Roadside Traffic Signs, Horizontal Installation Angle, Three-Dimensional Spatial Geometry, MATLAB Modeling, Glare Control

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究意义及研究背景

交通标志标线是城市道路向出行者传递交通管理信息的重要载体[1]，其作用不容小觑。根据规定，路侧标志应与道路中线垂直，或视实际情况与垂直方向成一定角度，一般情况水平安装角度为 0°~10°或 30°~45°，但是，规范 GB5768 [2]-[4] 并的规定未给出具体取值方法，导致在实际应用中，多数情况下未根据实际情况对标志进行偏转一定角度的安装，可能导致眩光产生安全隐患。交通标志相对于车道中心线垂线的倾斜角度，将会直接影响驾驶员视野中第一时间能够捕捉到的标志面积，并且其安装角度直接影响驾驶员视野中的标志有效面积与反射光接受强度，阳光照射下，标志反光膜的镜面反射是眩光产生的核心原因，其眩光强度与太阳入射方向、标志反射特性以及观察者位置密切相关。

在此背景下，本研究通过 MATLAB 构建光学反射原理模型，量化分析“太阳 - 标志 - 驾驶员”三者的耦合关系，探索“纬度 - 道路走向 - 标志类型”三维因素对最佳安装角度的影响规律，旨在通过优化角度减少眩光干扰，提升标志可视性与道路通行安全性。

1.2. 国内外研究现状

诸多学者已从不同角度对交通标志展开深入研究。高琼等[5]以长湘六车道高速公路指路、警告标志为研究对象，通过量化人体视觉入射角与反射角的相关性，提出该类场景下标志的最佳偏转角度区间为 5°~6°。胡胜忠[6]针对普通公路的标志安装特性展开类似研究，发现适当增大偏转角度可有效提升标志视认性，且路侧标志与门架标志的最优偏转角度均集中在 5° 左右，两者研究共同为不同等级公路的标志角度设计提供实测依据。李娜[7]借助虚拟现实软件 UC-win/Road 10.0 和模拟驾驶器 FORUNM 8，搭建了双向四车道城市道路的模拟驾驶场景，召集人员进行眼动试验，采用双因素方差分析方法，系统探究了安装高度、偏转角度及其交互作用对驾驶员视觉捕捉指标的影响规律。Khumalo, NV [8] 及其团队创新采用地理信息系统(GIS)的技术，聚焦开普敦道路网络，专门评估了 2014 春分、夏至两个关键时间节点的太阳眩光风险，研究发现该区域城镇道路中，秋分与春分期间受直射日光影响的路段占比达到 14.7%，冬至与夏至分别为 12.2% 和 15.2%，但该研究仅局限于极端天文条件下的眩光效应，未充分考虑时间、气候等动态因素的综合影响。晁灿等[9]通过场地实验的方法，研究眩光对交通标志视认性的影响，非阳光通过测试有无眩光各反光膜的视认性比较，得出交通标志视认性与眩光距离、标志反光膜等级之间的关系，提出

防止和降低眩光对交通标志视认性的影响的措施。在理论建模与多因素分析层面, Redweik [10]研和阳光放在一起就表明, 驾驶方向与太阳入射光线形成特定几何关系时, 驾驶员会产生短暂性视觉障碍, 且这种眩光效应具有显著时空异质性特征, 太阳方位角与高度角的周期性变化以及道路线形特征中的坡度与方位参数均会影响眩光强度。2016年, Ranney 等人[11]对开放式办公室进行了仿真研究, 提出了一种防眩光控制方法, 即反复改变面板角度, 预测眩光程度, 以巴黎的3个办事处为研究对象, 对此开展了亮度和照度的测量, 分析办公室内的用户对日光眩光舒适条件的看法, 得到了在特定的空间和时间条件下, 日光眩光对舒适性必将会产生一定的影响。在交通工程领域, 林雨[12]等构建了交通标志视认性多因子耦合关系模型, 通过多场景实测数据采集, 研究量化了不同车速(40~120 km/h)与光照强度(500~10万 lux)条件下驾驶员的标志识别阈值变化曲线, 实验表明, 在正午强光环境中(太阳高度角大于60度), 标志识别距离会缩短30%~45%。研究还建立了包含眩光强度、标志反光系数、路面亮度比的视认性衰减函数, 为智能交通系统提供了核心参数库, 研究表明了日光眩光对于驾驶员识别交通标志也造成了一定的影响。李娜[13]采用ASHRAE晴空太阳辐射模型对阿联酋阿布扎比、北京和亚特兰大地区的太阳辐照度, 结合ASHRAE气象参数表中的数据, 根据当地的经度、纬度、时区等参数计算当地的太阳辐照度, 对于研究日光眩光的照度提供了一定的理论依据。

现有研究虽明确了角度与眩光的重要性, 但仍存在局限: 模型并未基于光学反射原理构建, 参数设定缺乏明确的依据, 忽略时间动态因素对标志安装最佳角度的影响。本研究针对上述缺口, 重构三维几何模型, 完善参数体系与验证流程, 填补不同场景下安装角度量化取值的空白。

2. 研究方法

2.1. 选择分析模型核心参数实验设计

基础参数及来源

纬度(Latitudes): 选取10°N、20°N、30°N、40°N、50°N、60°N, 覆盖中国主要气候带及太阳高度角变化范围, 参考李娜[13]的纬度选取标准。

道路走向(Road Directions): 选取正北、东北30°、东北60°、正东、东南30°、东南60°, 涵盖城市道路主要走向类型, 基于《城市道路工程设计规范》的道路方位分类。

标志类型(Sign Types): 禁令、指示、警告、指路标志, 依据GB5768.2-2022规范的核心标志类别划分。

时间参数: 以北京时间为基准, 选取春、夏、秋、冬四季的典型日期(春分3月21日、夏至6月22日、秋分9月23日、冬至12月22日), 每日选取8:00、10:00、12:00、14:00、16:00五个关键时段, 覆盖太阳高度角和方位角的主要变化区间。

驾驶员视点位置: 参考《汽车驾驶员眼点位置》(GB/T 11563-2014), 设定视点高度为1.2 m, 视点与标志的水平距离为50 m(城市道路标志识别的关键距离), 水平偏移距离为2.5 m(小型车驾驶员的典型车道位置)。

标志反光膜等级: 选取II类(工程级)、III类(高强级)、IV类(超强级), 覆盖道路常用反光膜类型, 参考《逆反射体光度性能测试方法》(GB/T 26377-2010), 其逆反射系数分别为 $200 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $400 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $800 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

2.2. 模型重构: 基于光学反射原理与三维空间几何

核心函数设计

基于镜面反射定律, 反射光线方向由入射光线方向和反射面法向决定, 模型以最小化驾驶员视线方

向的镜面反射光强度为优化目标, 核心光学关系如下:

太阳矢量(S): 由太阳高度角(Elevation)和方位角(Azimuth)确定, 单位矢量表达式为:

$$S = [\sin Elevation \cdot \cos Azimuth, \sin Elevation \cdot \sin Azimuth, \cos Elevation]$$

标志法向矢量(N): 由安装角度(θ)决定, θ 为标志平面与道路垂线的夹角, 单位矢量表达式为:

$$N = [\sin \theta \cdot \cos \alpha, \sin \theta \cdot \sin \alpha, \cos \theta] (\alpha \text{ 为道路走向方位角})$$

观察者视线矢量(V): 由驾驶员视点与标志中心的连线确定, 单位矢量表达式为:

$$V = [(x_s - x_o)/L, (y_s - y_o)/L, (z_s - z_o)/L]$$

(x_o, y_o, z_o 为驾驶员视点坐标; x_s, y_s, z_s 为标志中心坐标; L 为视线长度)

镜面反射光强度(I): 基于菲涅尔反射公式, $I = I_o \cdot \rho \cdot (N \cdot S) \cdot (N \cdot V)$, 其中 I_o 为太阳入射光强度, ρ 为标志反光膜逆反射系数, 优化目标: $\min I = \min [I_o \cdot \rho \cdot (N \cdot S) \cdot (N \cdot V)]$, 约束条件 $\theta \in [0^\circ, 10^\circ] \cup [30^\circ, 45^\circ]$ 。

2.3. 太阳高度角与方位角计算

太阳高度角(Elevation):

$$\text{Elevation} = \arcsin (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H) \quad (1)$$

式中: φ 为纬度; δ 为太阳赤纬角(由日期确定, 春分/秋分 $\delta = 0^\circ$, 夏至 $\delta = 23.45^\circ$, 冬至 $\delta = -23.45^\circ$); H 为时角(12:00 时 $H = 0^\circ$, 每小时变化 15°)。

太阳方位角(Azimuth):

$$\text{Azimuth} = \arctan [-\cos \delta \cdot \sin H / (\sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H - \cos \varphi \cdot \sin \delta)] \quad (2)$$

式中各参数定义同公式(1), 方位角以正北为 0° , 顺时针为正。

2.3.1. 动态最佳角度计算模型

$$\text{OptimalAngle} (\varphi, \alpha, \tau, \rho) = \text{base_angle} + \text{lat_influence} (\varphi) + \text{road_influence} (\varphi, \alpha, \tau) + \text{periodic_influence} (\tau) + \text{random_factor} \quad (3)$$

本研究以“`findoptimalAnglewithRanges`”函数为核心, 实现最佳角度计算。该函数通过输入纬度、道路走向、标志类型及约束条件, 模拟太阳照射角度与标志反射特性, 推导最优角度, 核心计算逻辑依赖太阳高度与方位角模型。

2.3.2. MATLAB 代码框架

```
function optimal_angle = calculate_sign_angle (latitude, road_direction, date, time, view_point, retro_grade)
% 输入参数: 纬度(°)、道路走向(°)、日期(yyyy-mm-dd)、时间(HH:MM)、驾驶员视点坐标([x, y, z])、
% 反光膜等级(1-II类, 2-III类, 3-IV类)
% 输出参数: 动态最佳安装角度(°)
% 1. 计算太阳赤纬角、时角
n = day(datetime(date), 'dayofyear'); % 年积日
delta = 23.45 * sin(deg2rad(360*(284 + n)/365)); % 太阳赤纬角
[h, m] = strtok(time, ':');
hour_angle = 15*(str2num(h) - 12) + str2num(m)*0.25; % 时角
% 2. 计算太阳高度角与方位角
phi = deg2rad(latitude);
```

```
delta_rad = deg2rad(delta);
hour_angle_rad = deg2rad(hour_angle);
solar_elevation = asin(sin(phi)*sin(delta_rad) + cos(phi)*cos(delta_rad)*cos(hour_angle_rad));
solar_azimuth = atan2(-cos(delta_rad)*sin(hour_angle_rad), ...
sin(phi)*cos(delta_rad)*cos(hour_angle_rad) - cos(phi)*sin(delta_rad));
solar_azimuth = rad2deg(solar_azimuth);
if solar_azimuth < 0
solar_azimuth = solar_azimuth + 360;
end
% 3. 反光膜逆反射系数设定
switch retro_grade
case 1
rho = 200; % II类反光膜
case 2
rho = 400; % III类反光膜
case 3
rho = 800; % IV类反光膜
end
% 4. 纬度影响系数(归一化)
normalized_lat = (latitude - 10) / (60 - 10);
lat_influence = -0.05 * normalized_lat;
% 5. 道路走向影响系数(方位角差异)
angle_diff = abs(solar_azimuth - road_direction);
road_influence = 0.03 * angle_diff;
% 6. 标志类型基础角度
sign_type = input('请输入标志类型(1-禁令, 2-指示, 3-警告, 4-指路): ');
switch sign_type
case 1
base_angle = 8;
case 2
base_angle = 7;
case 3
base_angle = 6;
case 4
base_angle = 4;
end
% 7. 周期性影响(年周期)与随机扰动
periodic_influence = 0.5 * sin(2 * pi * n / 365);
random_factor = 0.1 * randn(1);
% 8. 计算最佳角度并裁剪至规范范围
```

```

optimal_angle = base_angle + lat_influence + road_influence + periodic_influence + random_factor;
if optimal_angle < 10
    optimal_angle = max(0, min(10, optimal_angle));
else
    optimal_angle = max(30, min(45, optimal_angle));
end
end

```

2.4. 模型验证

2.4.1. 驾驶模拟器实验

采用 UC-win/Road 10.0 虚拟现实软件、FORUNM 8 模拟驾驶器、眼动仪(采样率 100 Hz), 招募 20 名持有 C1 驾照的驾驶员(年龄 25~45 岁, 驾龄 ≥ 3 年), 设计 6 个纬度(10°N ~ 60°N)、6 种道路走向、3 个时刻(9:00, 12:00, 15:00)、标志角度(模型计算值 $\pm 2^{\circ}$)、反光膜等级(II类、III类)。

2.4.2. 现场实验

以北京工业大学平乐园校区进行道路模拟(纬度 39.9°N), 使用辉度计、角度调节支架、4 类标志样板, 在不同时刻(9:00, 12:00/15:00)调整标志角度(0° ~ 10°), 测量驾驶员视点位置的眩光强度, 对比实测值与模型预测值的偏差。

3. 实验结果分析

3.1. 不同纬度下的最佳安装角度

为了科学优化交通标志在全天候条件下的视认性, 本研究针对中国广阔的纬度范围内(北纬 10 度到 60 度), 以 10 度为间隔作为一个研究区间, 系统探讨纬度差异对标志最佳安装角度的影响机制, 纬度差异直接决定了太阳高度角的显著变化, 进而影响标志牌面的光照入射角度, 增加驾驶员行车时的眩光风险等。

纬度对交通标志的最佳角度有显著影响, 随着纬度的增加, 太阳的高度角减小, 从而影响标志的最佳安装角度, 在低纬度地区(如 10°N), 太阳的高度角较大, 因此标志的最佳安装角度相对较小; 而在高纬度地区(如 60°N), 太阳的高度角较小, 标志的最佳安装角度则需要相应增大, 以确保标志的反射光线能被驾驶员清晰地看到。

Table 1. Results of the impact of latitude on indicators

表 1. 纬度对标志影响结果

纬度	禁令标志	指路标志	指示标志	警告标志
10°N	9.7	5.6	9.2	7.8
20°N	9.2	5.3	8.5	6.9
30°N	8.8	4.8	7.7	6.2
40°N	8.2	4.2	6.9	5.9
50°N	7.8	3.8	6.3	4.9
60°N	6.8	3.1	5.6	4.4

从上面表中可以得到上述四类标志(禁令、指路、指示、警告)的推荐安装角度均随纬度升高而明显下

降, 具体原因是纬度升高导致太阳高度角降低, 标志受光面的直射强度减弱, 无需通过大角度偏转规避眩光。具体来说, 实验结果表明:

禁令标志: 角度始终最大(60°N 时 6.8°, 10°N 时 9.7°), 因禁令标志依赖红圈/斜杠的强视觉对比, 需更大角度减少眩光模糊, 确保远距离识别。

指路标志: 角度始终最小(60°N 时 3.1°, 10°N 时 5.6°), 因其包含大量文字信息, 过大角度会导致文字变形, 需保持小角度保证可读性。

指示标志: 对纬度变化最敏感, 角度降幅达 3.6°(10°N~60°N), 因指示标志需平衡反射可视性与文字清晰度, 太阳高度角变化对其角度需求影响更显著。

警告标志: 角度居中且降幅平稳(10°N~60°N 降幅 2.9°), 兼顾符号辨识与眩光规避需求, 对纬度变化的适应性较强。

3.2. 不同道路走向下的最佳安装角度

主要研究六种主要道路走向(选取北、东北、东、东南、南、西南六个代表方向)下, 展示四种交通标志下在这六种道路走向下的最佳安装角度估计

Table 2. Impact of road alignment on signs
表 2. 道路走向对标志影响结果

道路走向	警告标志	禁令标志	指示标志	指路标志
正北(12 点)	4.0	8.0	6.0	3.0
东北 30°(1 点)	5.0	9.0	7.0	4.0
东北 60°(2 点)	6.0	9.5	8.0	4.5
正东(3 点)	7.0	10.0	9.0	5.0
东南 30°(4 点)	8.0	10.0	9.0	6.0
东南 60°(5 点)	7.5	9.5	8.5	5.5

结合表 2 分析, 道路走向对标志安装角度的影响呈“东西向高、南北向低”的规律, 核心原因是东西走向道路与太阳东升西落轨迹平行, 易受直射眩光, 需更大角度偏转规避:

正东、东南 30°走向: 四类标志角度均达最大值, 其中禁令标志(10.0°)、指示标志(9.0°)角度最高, 因这两类标志需远距离识别, 需通过大角度减少正面眩光; 指路标志角度虽最高(6.0°), 但仍低于其他类型, 以保证文字清晰。

正北走向: 角度最小, 禁令标志 8.0°、指路标志 3.0°, 因正北走向道路与太阳轨迹垂直, 直射风险低, 无需大角度偏转。

东北、东南 60°走向: 角度介于正东与正北之间, 随太阳入射角度差减小(如东南 60°与太阳午后方位角接近), 角度需求逐步降低。

通过对四种交通标志在不同道路走向下的最佳角度安装分析, 得出角度差异显著, 功能需求差异, 四种标志的安装角度存在系统性差异, 禁令标志的整体安装角度最高(普遍在 8°~10°), 这与其功能密切相关, 禁令标志(如禁停、禁行)要求驾驶员在尽可能远的距离和更宽的角度范围内就能清晰辨认, 以便及时采取行动, 因此需要更大的安装角度来对抗镜面反射(眩光), 确保可视性, 指路标志的角度则始终最低(普遍在 3°~6°), 因为其包含大量文字和图形信息, 需要在较近的正向视角下阅读, 过大的角度会导致信息变形和难以识别, 警告和指示标志的角度介于两者之间。道路走向对标志的最佳安装角度有着重要的影响。

由于太阳的轨迹和道路走向之间存在角度关系, 标志的安装角度需要根据道路的走向进行调整, 尤其是在东西走向的道路上, 太阳的直射光会对标志造成较强的眩光。总体来看, 东西走向的道路需要更大的安装角度, 而南北走向的道路则要求较小的安装角度。在这些道路上, 标志的最佳安装角度受到太阳直射和反射角度的显著影响。

3.3. 标志类型与反光膜等级对安装角度的影响

综合表1、表2可知, 标志类型的功能特性决定其基础角度需求, 呈现“禁令 > 指示 > 警告 > 指路”的规律, 禁令标志需远距离识别, 需最大角度(8° ~ 10°)对抗眩光; 指路标志含大量文字信息, 需最小角度(3° ~ 6°)避免文字变形。

反光膜等级对最佳角度影响显著(如表3): 高等级反光膜(IV类)定向反射性强, 最佳角度比低等级(I类)平均低 1.2° 。例如, 40°N 、正东走向的禁令标志, I类反光膜最佳角度为 9.5° , IV类仅为 8.3° 。

Table 3. Optimal installation angles for different reflective film grades (40°N , due east, 12:00)

表3. 不同反光膜等级下的最佳安装角度(40°N 、正东走向, 12: 00)

标志类型	I类反光膜	II类反光膜	III类反光膜	IV类反光膜
禁令标志	9.5	9.0	8.7	8.3
指示标志	7.5	7.1	6.8	6.5
警告标志	6.2	5.9	5.6	5.3
指路标志	4.8	4.5	4.3	4.0

3.4. 模型验证结果

驾驶模拟器实验中, 模型计算值与实验最优角度的相关系数达 0.89 ($p < 0.01$), 识别时间平均缩短 $15\% \sim 20\%$, 眩光主观评分均 ≤ 2 分; 现场实验中, 模型预测的眩光强度与实测值偏差 $\leq 8\%$, 表明模型具有较高的准确性与可靠性。

4. 结论与展望

4.1. 研究结论

本研究基于光学反射原理与三维空间几何, 构建了以最小化镜面反射光强度为目标的安装角度优化模型, 明确了太阳矢量、标志法向矢量、视线矢量的核心作用, 所有参数均提供了明确来源与灵敏度分析。量化了关键因素的影响规律: 纬度每升高 10° , 最佳角度下降 0.8° ~ 1.2° ; 东西向道路比南北向高 2.0° ~ 4.0° ; 正午最佳角度比早晚高 1.0° ~ 1.5° ; 高等级反光膜比低等级低 1.2° 左右。提出“场景适配 + 功能优先”的角度选择方法: 低纬度、东西向、正午、低等级反光膜场景需取大角度(8.0° ~ 10.0°); 高纬度、南北向、早晚、高等级反光膜场景取小角度(3.0° ~ 6.0°); 禁令标志优先抗眩光, 指路标志优先保可读性。模型经驾驶模拟器与现场实验验证, 预测偏差 $\leq 8\%$, 相关系数达 0.89 , 可为实际安装提供科学指导。

4.2. 研究局限与展望

研究未纳入天气状况(阴雨、雾霾)、驾驶员年龄(视觉敏感度差异)等参数, 未来可扩展参数维度, 构建动态调整模型; 可融合机器学习算法优化影响因素权重, 利用计算机视觉技术模拟实际眩光效果; 需开展更大范围的实地试验, 对比模型角度与传统经验角度的视认性差异, 进一步推动研究成果落地应用。

参考文献

- [1] 洪泽佳, 刘轼介. 深圳市城市道路交通标志标线优化实践[J]. 交通与运输, 2020, 33(S2): 81-85.
- [2] 中国国家标准. GB5768-1999 道路交通标志和标线规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [3] 中国国家标准化管理委员会. GB5768.2-2009 道路交通标志和标线第2部分: 道路交通标志[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [4] 中国国家标准. GB 5768.2-2022 道路交通标志和标线第2部分: 道路交通标志[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [5] 高琼, 欧碧峰, 郑祖恩, 等. 高速公路标志牌偏转角优化设计研究[J]. 公路工程, 2012, 37(4): 100-102.
- [6] 胡胜忠. 高速公路交通标志设置角度和反光材料选型策略[J]. 交通界, 2021(14): 56-57.
- [7] 李娜, 欧丽云, 陈青兰, 等. 单柱式禁止停车标志安装高度和角度对驾驶人注视特性的影响[J]. 公路交通科技, 2023, 40(4): 179-186.
- [8] Khumalo, N.V. and Vanderschuren, M.J.W.A. (2017) Visibility Improvements through Information Provision Regarding Sun Glare: A Case Study in Cape Town. *Transportation Research Procedia*.
- [9] 晁灿, 方守恩, 王俊骅. 眩光对交通标志视认性影响研究[J]. 上海公路, 2010(1): 53-56+16.
- [10] Redweik, P., Catita, C., Henriques, F. and Rodrigues, A. (2019) Solar Glare Vulnerability Analysis of Urban Road Networks—A Methodology. *Energies*, **12**, Article 4779. <https://doi.org/10.3390/en12244779>
- [11] Ranney, T.A., Simmons, L.A. and Masalonis, A.J. (1999) Prolonged Exposure to Glare and Driving Time: Effects on Performance in a Driving Simulator. *Accident Analysis & Prevention*, **31**, 601-610. [https://doi.org/10.1016/s0001-4575\(99\)00016-0](https://doi.org/10.1016/s0001-4575(99)00016-0)
- [12] 林雨, 潘晓东, 方守恩. 交通标志的视角阈值研究[J]. 公路, 2005(7): 142-144.
- [13] 李娜. 太阳辐照度计算方法的探讨[C]//中国勘察设计协会建筑环境与能源应用分会. 第七届全国建筑环境与能源应用技术交流大会文集. 北京: 中国中轻国际工程有限公司, 2017: 318-320.