

公铁近距离并行布置眩光效应分析及防眩策略

陈艾荣¹, 曹哲¹, 马如进¹, 崔传杰¹, 涂辉招²

(1. 同济大学土木工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要: 根据失能型眩光的环境光强对比度原理, 提出了基于三维空间关系模型的失能眩光分析流程。以国内某斜拉桁架桥下层公路铁路同层布置为工程背景进行了案例分析。当公铁近距离布置不采取防眩措施时, 铁路列车前照灯产生的眩光效应严重, 远超相关规范的阈值要求。最后, 提出了可装配、立体化的防眩策略, 并根据案例给出具体的防眩方案。结果表明, 防眩策略能有效减少铁路前照灯对公路侧司机的眩光影响。

关键词: 交通安全; 失能型眩光; 公铁近距离并行布置; 三维空间模型; 防眩策略

中图分类号: U491.5+3; U447; U24

文献标志码: A

Glare Effect Analysis and Glare-resistance Strategy of Parallely Arranged Highway and Railway in Close Range

CHEN Airon¹, CAO Zhe¹, MA Rujin¹, CUI Chuanjie¹, TU Huizhao²

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: According to the contrast principle of ambient light intensity for disability glare, a process of disability glare analysis based on three-dimensional spatial relationship model is proposed. Taking same-layer arranged highway and railway on the lower deck of a cable-stayed truss bridge as the engineering background, a case study is carried out. When no glare-resistance measures are taken for parallely arranged highway and railway in close range, the glare effect produced by headlamps of railway train is serious, which is far beyond the threshold requirements of the relevant codes. Finally, an assemblable and three-dimensional glare-resistance

strategy is proposed, and a detailed glare-resistance scheme is given in the case study. The results show that the glare-resistance strategy proposed can effectively reduce the glare effect of railway train headlamps to the drivers on highway.

Key words: traffic safety; disability glare; parallely arranged highway and railway in close range; three-dimensional spatial model; glare-resistance strategy

公路铁路(下文简称公铁)近距离并行布置、铁路列车运行时, 铁路列车前照灯会对附近公路上的驾乘人员造成严重的眩光效应, 从而诱发交通安全事故。Casado-Sanz等^[1]的研究发现, 行车过程中周围环境强光所导致的眩光效应是交通致死事故的重要风险因素。一般而言, 眩光可分为失能型眩光和不适型眩光²类。失能型眩光^[2]是指眩光源对视场中其他地方存在视觉掩蔽效应; 不适型眩光^[3-4]具体分为一般不适型和高亮型眩光, 前者与失能型眩光作用模式类似但程度较轻, 后者是一种背景过渡曝光导致的不适。本研究的重点是铁路列车运行过程中所产生的失能型眩光。

目前对于失能型眩光的研究主要集中在3个方面: 眩光源变化对于交通安全的影响、基于交通安全的防眩措施研究以及失能眩光下的视觉模拟和建模分析。在眩光源方面, 随着高强度放电前照灯和发光二极管前照灯投入市场, Zalcmanis等^[5]发现司机在驾乘中失能眩光效应愈加显著; Kanna等^[6]对车前照灯在弯道、山丘弯道和交叉路口上自动改变亮度设计进行了研究, 并通过可操控的动态前灯来满足司机夜间防眩的需要。防眩措施方面, Hu等^[7]研究了一种凹形竖曲线防眩板高度计算方法, 对一般的

收稿日期: 2020-04-24

基金项目: 交通运输部公路工程行业标准制订项目(JTG-202015)

第一作者: 陈艾荣(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为桥梁结构设计理论。

E-mail: a.chen@tongji.edu.cn

通信作者: 马如进(1978—), 男, 副研究员, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为桥梁结构设计理论。

E-mail: rjma@tongji.edu.cn



论文
拓展
介绍

高度计算公式进行了优化,并用UC-Win/Road仿真软件进行了模拟,防眩效果显著;Friedland等^[8]发现,在驾驶过程中老人比年轻人更易受失能眩光的影响,对老人而言偏振防眩眼镜可显著降低年龄带来的眩光增强效应;徐弯弯等^[9]研究了夜间路灯对司机的眩光效应,并提出了相应的防眩策略。失能眩光下的视觉模拟和建模分析方面,Chenani等^[10]分析了道路照明与前照灯眩光源对于失能眩光的相互作用关系,结果表明道路照明强度变化对于眩光效应没有显著差异;Haycock等^[11]对驾驶舱的安全系统进行了眩光模拟的开发,其中包含行驶过程中眩光效果的模拟和安全系统对眩光效应的评估。

公铁近距离运行过程中,公路车辆行车安全主要受失能眩光的影响。李媛等^[12]对国际光学学会一系列报告中的交通失能眩光进行了归纳整理。失能眩光是眩光源对视觉的掩蔽效应,失能眩光的表达形式主要为人眼主观感受的光强和眩光源的光通量之间的关系,即等效光强与眩光源光通量成正比,与视线和眩光源的夹角平方成反比,两者可通过建立量纲一系数相关联。量纲一系数的研究涉及到人眼球和视觉神经的工作机理,包括光在眼球中的扩散作用、人年龄的变化对光强的感应、人眼球的颜色以及背景光强强弱对单一眩光源遮蔽效应的影响。

以上研究主要涉及失能眩光原理以及在一般场景的应用,而对于失能眩光在交通安全领域、特别是公铁近距离并行建设所造成的影响,相关研究尚处在起步阶段。近年来,随着我国公路与铁路建设的蓬勃发展,加之土地资源制约,公铁近距离布置逐渐成为交通建设的一种新趋势。当一般地面交通采用公铁近距离布置时,铁路列车行驶产生的眩光效应对公路交通安全产生严重影响。基于上述问题,根据失能眩光的基本理论建立了铁路列车眩光效应精细化模拟方法,并以国内某公铁同层布置大跨斜拉桁架桥为工程背景进行了案例分析及防眩策略研究。

1 失能眩光基本原理

眩光对视觉的影响主要来自于某一观察目标所发出的强光,其亮度远超背景亮度,形成视觉遮蔽。定义无眩光效应时障碍物和背景的亮度比为 C ,有眩光源时因等效光幕亮度 L_v 的影响而变为 C' ,当 $C' \geq C$ 时,障碍物的对比度显著降低,遮蔽效应增强。一般而言,失能眩光的强弱可采用眩光阈值增

量 T_i 来表示^[12],该值定义为

$$T_i = \frac{C_{th} - C_{eff}}{C_{eff}} \quad (1)$$

式中: C_{eff} 为临界对比度; C_{th} 为实际对比度。可见,为降低眩光对人眼视觉的影响,需对阈值增量的范围进行严格控制。当背景亮度 L_{av} 范围为 $0.05 \sim 5.00 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 时, T_i 可采用下式近似计算:

$$T_i = 65 \times \frac{L_v}{L_{av}^{0.8}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: L_{av} 为路面平均亮度, $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$; L_v 为等效光幕亮度, $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 。当由多个眩光源构成时, L_v 可采用下式计算:

$$L_v = \sum_{i=1}^n L_{vi} \quad (3)$$

式中: L_{vi} 为不同光源导致的等效光幕亮度。当公路照明中视线与眩光源光线入射方向的夹角为 $1.5^\circ \sim 60.0^\circ$ 时, L_{vi} 可采用下式计算:

$$L_{vi} = \frac{KE_{ci}}{\theta^2} \quad (4)$$

式中: E_{ci} 为眩光源在视线的平面上产生的照度, lx ; θ 为视线与眩光源光线入射方向的夹角, $(^\circ)$; K 为系数项,可取 $10^{[12]}$ 。

根据国际发光照明委员会(CIE)对夜间眩光限制的建议指标及《城市道路照明设计标准》(CJJ45—2015)^[13]中的规定,主干道路失能眩光阈值增量 T_i 应控制在10%以下。将计算得到的阈值增量与该指标进行比较,即可对眩光效应进行评价。

2 研究方法及思路

针对公铁近距离布置过程中铁路列车前照灯对公路侧司机的眩光效应,结合失能眩光的基本原理,提出了一种包含三维空间建模、灯光场建模、司机视域构建、数据后处理、防眩设计、设计验证在内的失能眩光精细化研究理论。具体流程如图1所示。

2.1 三维空间模型构建

为保证模拟精度,需考虑地理位置、地形条件、构筑物内部构造、材料光学参数以及灯光位置参数。利用光学模拟软件Dialux,依照勘测设计资料确定地理位置,建立几何模型并设置路灯空间位置和灯光参数信息,从而实现公铁近距离行驶过程中复杂三维空间模型的构建。铁路列车前照灯具体灯光参数的确定是模拟的关键因素,可参考《铁路照明设计规范》(TB10089—2015)^[14]和《机车、动车组前照灯、辅助照明灯和标志灯·第一部分,前照灯》(TB/T

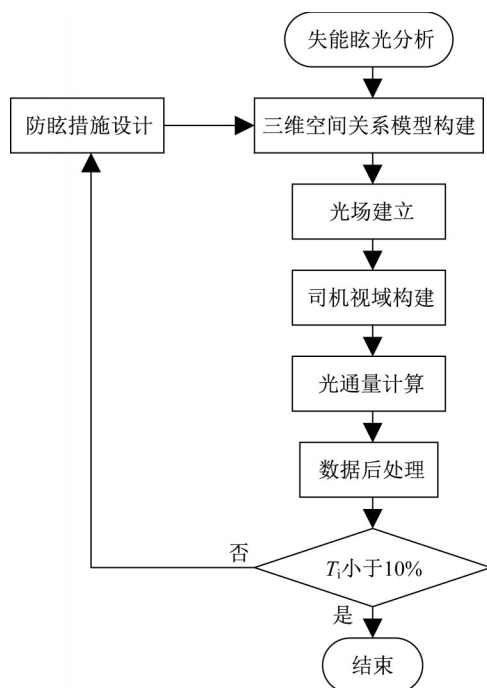


图1 失能眩光分析流程

Fig.1 Flow chart of disability glare analysis

2325.1—2013)^[15],主要使用的灯具类型包括卤钨灯泡、金卤灯泡和氙气金卤灯泡。关于单只灯泡,对灯具效率、功率、光通量、寿命、显色指数和光通量维持率等方面有要求;关于灯组整体,对一定距离下的标准光通量有要求。本研究中主要考虑单只灯泡的功率、光通量和灯组整体在一定距离下的标准光通量等对失能眩光分析影响较大的指标。

2.2 公铁运行中的空间照度模拟

公铁运行过程中阈值增量 T_i 的空间照度模拟主要是司机视域的构建以及不同眩光源下的工况构建。根据司机视域建立感光元件,高度一般距地面 1.0 m 到 2.1 m,对于宽度参考驾乘人员可能行驶的区域进行合理设置。眩光源主要考虑路灯和铁路列车前照灯。路灯眩光并非本研究重点,所以不考虑移动效应,选取一个典型工况作为路灯眩光效应的代表工况。路灯眩光分析工况中灯组较多,但灯组排列有序,型号单一,可通过设置一个路灯光源和多组感光元件来模拟多个路灯和一个司机的相对空间关系,进行一次多组分析。铁路列车前照灯眩光为本研究的重点,需要在距铁路列车前照灯多个位置布置感光元件,以模拟公铁相对运行中的眩光效应。

2.3 等效光幕的数据后处理

由式(3)和式(4)中 L_v 和 L_{vi} 定义可知,获取光通量后需根据相对位置进行空间数据处理才能得到最终的 T_i 。在路灯眩光测量工况中,布置多对纵向间

距为路灯间距的感光元件,每一个感光元件都与开启路灯有不同的空间位置,空间后处理后将其中占比光强 99% 的部分进行叠加,从而模拟多对路灯对司机失能眩光的总效应。铁路列车前照灯的眩光测试工况相对简单,对每一个感光元件获取的光通量进行一次空间后处理就可得到相应距离的铁路列车前照灯阈值增量。路灯阈值增量标准值与不同铁路列车前照灯阈值增量相叠加就可得到公铁不同纵向距离下总的 T_i 值。

2.4 公铁近距离防眩措施的设计

一般公路防眩,当阈值增量 T_i 不满足要求时,应该首先参考一般公路防眩措施。在公铁近距离布置的情况下,特别是在桥梁结构上时,防眩措施的布置则还需考虑未安装防眩措施时阈值增量的分析结果、桥梁结构整体气动性能、铁路列车前照灯多种布置形式导致的司机视域相对高差变化以及相关规范的强制性要求。因此,提出了可装配、立体化的防眩策略。公铁近距离防眩设计需注意防眩措施的布置位置、宽度、相对高度、密度以及遮光角等重要参数的调整。设计完成后,进行模拟测试,对阈值增量 T_i 进行相应评价,然后根据结果调整设计参数,最终达到公铁近距离防眩要求。

3 案例分析

3.1 工程背景

以国内某大跨斜拉桁架桥为背景进行研究。大桥标准桁架梁段长 14.0 m,桁高 15.0 m,桁宽 35.0 m,上层为六车道高速公路,下层为公铁同层布置。公路部分为双向四车道,宽 20.2 m,铁路部分宽 14.8 m。同层布置如图 2 所示。

3.2 三维建模

根据主梁布置形式和灯场信息建立三维空间关系模型,将地面的光学材料属性设为沥青混凝土,钢涂料颜色设为交通灰 B 型,材料种类设为喷漆效果,两者的光线反射系数分别为 14% 与 11%。

模型中考虑路灯光源的空间位置,包括铁路侧的路灯、公路侧的路灯和铁路列车前照灯,如图 3 所示。在此模型基础上,可根据需要设置相应不同工况的感光元件。

由图 2 对已知路灯灯光参数进行赋值,再根据规范^[14-15]确定铁路列车前照灯参数。模型中采取双灯式设置,两灯具横向间距为 1 m,每个灯具内含有 3 个灯泡,灯光类型为氙气金属卤素灯光。单只灯泡

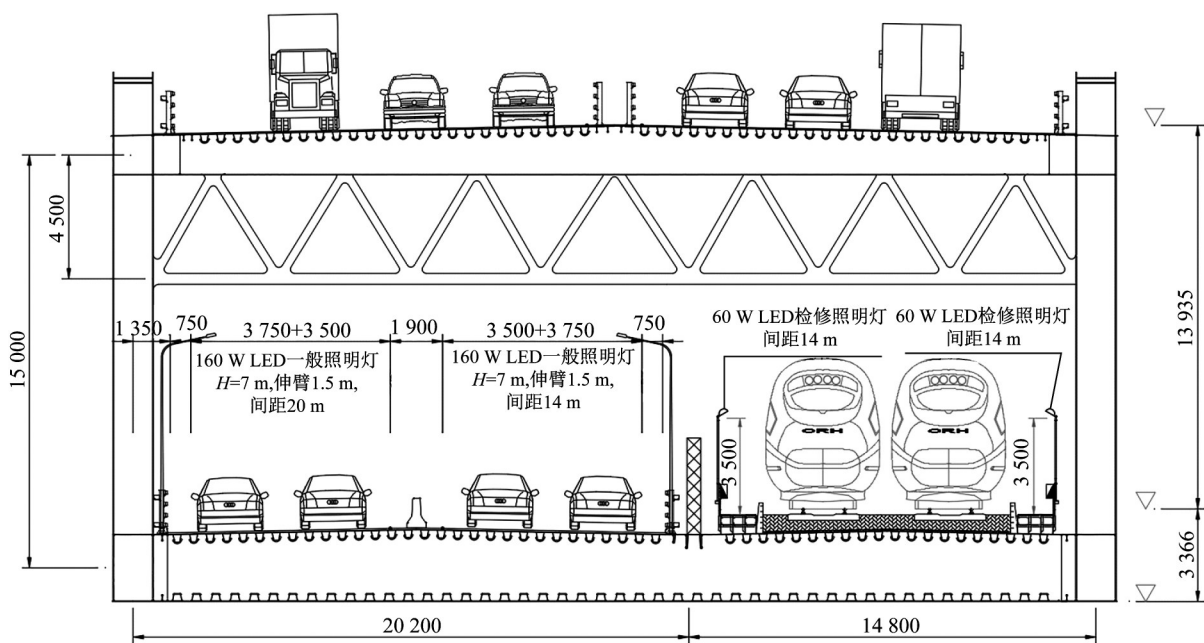


图2 某公铁同层桁架桥横断面布置(单位:mm)

Fig.2 Cross section layout of truss bridge with same-layer arranged highway and railway (unit: mm)

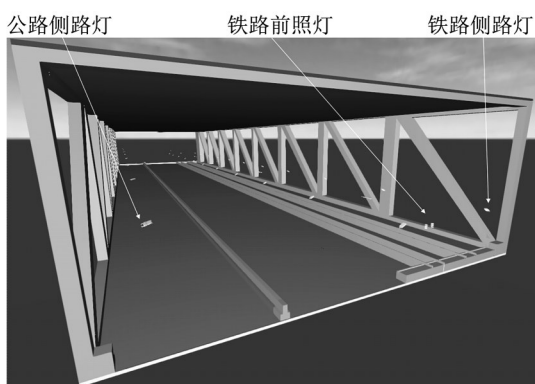


图3 基础光场模型

Fig.3 Basic light field model

为透光罩设计,灯光效率为100%,额定功率为70 W,光通量12 000 lm,光通量维持率为100%。经过软件模拟,纵向相距200 m和300 m时,铁路列车前照灯轨道中心处设置的感光元件测得的轴心照度为10.1 lx和6.4 lx,满足规范的要求^[15]。因此,后续研究中取此灯组作为模拟铁路列车前照灯光源。

3.3 眩光分析

模拟的工况主要针对3个对象,即路面平均亮度、路灯引起的等效光幕、铁路列车前照灯引起的等效光幕。路面平均亮度 L_{av} 是光场的总体环境效应,以地面的光照强度进行计算。在梁体表面设置感光元件,打开所有路灯和一侧铁路列车前照灯,经测算得到公路侧的环境平均亮度 L_{av} 为 $2.5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

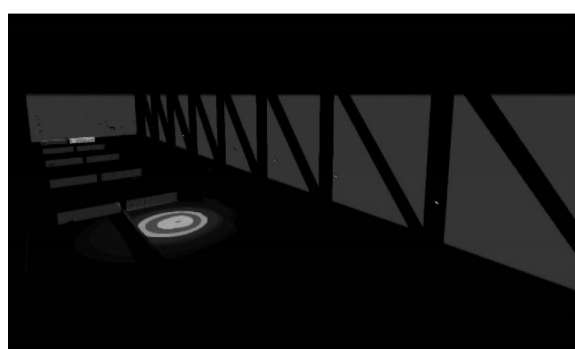
根据司机的视线范围建立感光元件,按光源类

型(铁路列车前照灯和环境路灯),分别提取点照度,并根据光源与视域夹角 θ 建立空间后处理程序。等效光幕亮度 L_v 的求解需考虑不同光源,本研究中主要考虑路灯眩光效应以及铁路车头灯的眩光效应。如图4 a所示,计算后得到的路灯眩光阈值增量最大为2.5%,小于规范要求的10%。考虑路灯影响时,眩光效应弱。

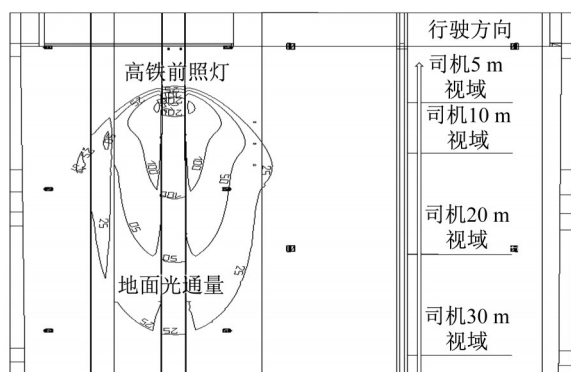
在考虑路灯影响的基础上,确立铁路列车前照灯对公路侧司机影响的2个工况。工况一,未安装防眩措施时靠近隔离层的铁路列车前照灯对相对行驶的汽车司机眩光影响测试工况,如图5a所示;工况二,未安装防眩措施时远离隔离层的铁路对相对行驶的汽车司机眩光影响测试工况,如图5b所示。

上述2个工况下,考虑规范的强制要求^[16]和一般司机视域范围^[17],在距离铁路列车前照灯5、10、20、30、50、70、90、110、130 m处设置感光元件,如图5所示。后处理后可得出铁路列车前照灯的阈值增量。将路灯的阈值增量与铁路列车前照灯的阈值增量叠加,总的阈值增量变化趋势如图6所示。

国内汽车靠右行驶为顺向,而铁路靠左行驶为顺向,所以2个工况下铁路列车前照灯与汽车的横向距离是一致的,如图6所示。从图6可以看出,在5~130 m的视距范围内,随着纵向距离的增大,视角变小,阈值增量随之增大;随着横向距离变小,视角变小,光通量变大,阈值增量也随之变大。列车行驶于靠近公铁隔离层轨道时 T_v 最大为43%,列车行驶



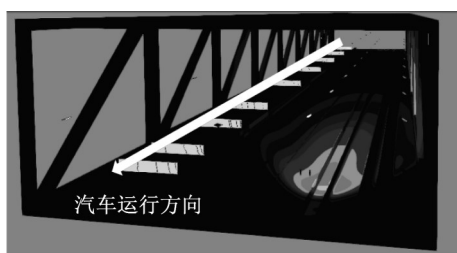
a 路灯的眩光模拟



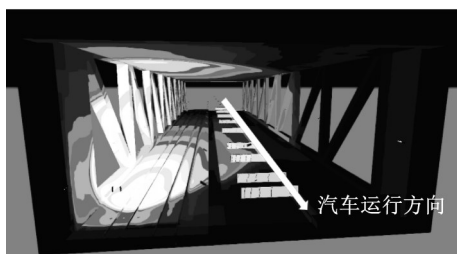
b 铁路列车前照灯的眩光模拟

图4 动态运行中失能眩光模拟

Fig.4 Disability glare simulation in dynamic operation



a 工况一

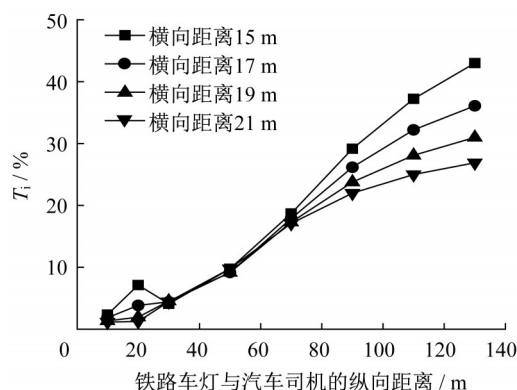


b 工况二

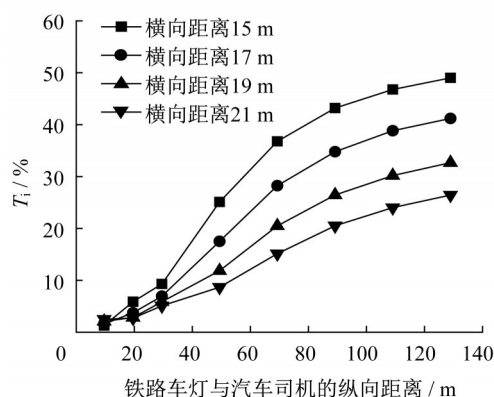
图5 模拟工况示意图

Fig.5 Schematic diagram of simulation conditions

于远离公铁隔离层轨道时 T_i 最大为49%,2个工况阈值增量均超过10%的限值。经过插值计算,列车行驶于靠近公铁隔离层轨道,在相距超过50.27 m时 T_i 首先大于10%,列车行驶于远离公铁隔离层轨道,在相距超过31.18 m时 T_i 首先大于10%;铁路的



a 列车行驶于靠近公铁隔离层轨道时



b 列车行驶于远离公铁隔离层轨道时

图6 无防眩措施时 T_i 与铁路和汽车相对距离的关系Fig.6 Relationship between T_i and relative distance of railway and vehicles without glare-resistance measures

设计时速为 $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,预留时速为 $250 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,公路的设计时速为 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,在30.18 m到130.00 m的相对距离内,汽车司机将受到1.08~1.27 s严重失能眩光的影响,需采取有效的防眩措施。

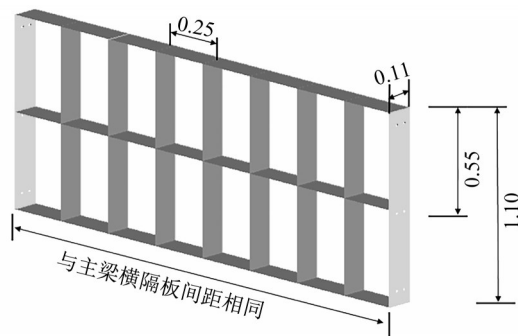
3.4 防眩措施设计

根据《公路交通安全设施设计规范》(JTGD81—2017)^[16]规定,防眩设施直线路段遮光角不小于 8° ,平竖曲线路段遮光角为 $8^\circ \sim 15^\circ$ 。根据上述规定计算,考虑前照灯 4° 的发散角,当防眩板纵向间距为0.25 m时,根据光线直线传播计算得到的最小板宽仅为0.02 m。

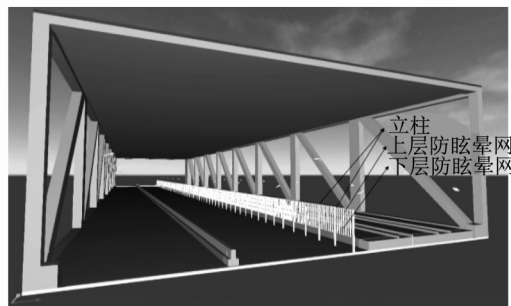
轨顶平面高出公路平面0.7 m,在前照灯距轨道顶部1.5、2.5 m时分别模拟铁路列车前照灯置于铁路车头中部和铁路车头顶部2种情况,考虑司机视域和铁路列车前照灯的布置高度范围,将防眩网布置在距公路地面1.10 m到3.30 m之间。防眩措施距铁轨最外缘横向距离为2.0 m,满足规范横向距离

大于1.5 m的要求^[18]。公铁近距离防眩考虑光漫射以及材料反射效应,防眩板宽度设为0.11 m,满足最小板宽要求。防眩措施整体透风率大于90%,对桁架桥的气动性能影响较小。

防眩措施由立柱和多片防眩网通过螺栓连接,



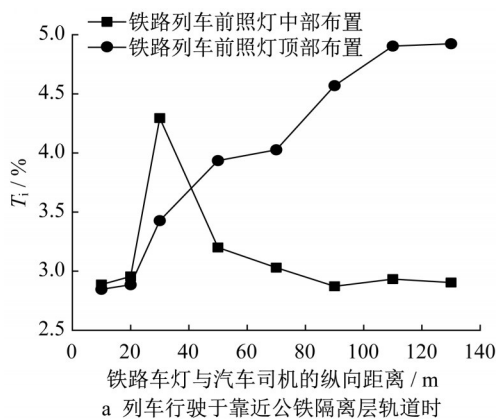
a 单片防眩网细部构造(单位:m)



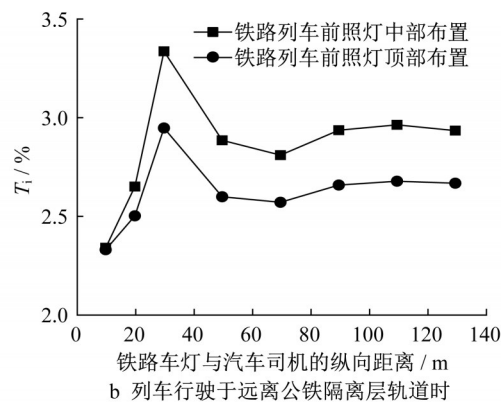
b 防眩措施立体化布置

图7 防眩措施

Fig.7 Glare-resistance measures



a 列车行驶于靠近公铁隔离层轨道时



b 列车行驶于远离公铁隔离层轨道时

图8 最不利工况下有防眩措施时 T_i 与铁路列车前照灯布置位置的关系

Fig.8 Relationship between T_i and the position of railway lamps under the most unfavorable condition with glare-resistance measures

4 结论与建议

(1) 所提出的失能眩光分析流程及研究方法可广泛应用于公铁近距离并行布置时铁路列车产生的眩光效应研究,对复杂交通环境下的公路驾乘人员眩光交通安全性评价具有重要参考价值。

(2) 案例分析表明,在不设置防眩措施的情况下,铁路列车前照灯会对公路一侧造成严重的眩光影响,最大阈值增量可达49%。在公铁相距130 m范围内,公路一侧会受到1.08~1.27 s的失能眩光影响。因此,在公铁近距离并行设计时,必须考虑铁路列车产生的眩光效应对公路交通安全的影响。

(3) 所提出的可装配、立体化的防眩策略,可根据公路和铁路相对高差进行安装高度调整,使得铁

如图7所示。对最不利工况进行分析,计算结果如图8所示。在防眩措施布置后,铁路靠近公路侧 T_i 有明显波动,铁路远离公路侧 T_i 则趋于稳定,最终结果均小于10%。在2种不同铁路列车前照灯布置情况下,防眩措施均满足防眩要求。

路列车前照灯多种布置形式下,阈值增量均显著减小,满足相关规范中小于10%的阈值增量设计要求。

作者贡献声明:

陈艾荣:整体思路构思、方法设计、论文审阅。
曹哲:方法实现、数据分析与整理、论文撰写。
马如进:论文审阅与提交、评审意见回复。
崔传杰:论文审阅与修改。
涂辉招:参考数据的提供。

参考文献:

[1] CASADO-SANZ N, GUIRAO B, GALERA A L, et al.

- Investigating the risk factors associated with the severity of the pedestrians injured on Spanish crosstown roads [J]. *Sustainability*, 2019, 11(19):1.
- [2] JIANG J, SU B, ZHOU L, *et al.* Shape discrimination ability and disability glare in orthokeratology children [J]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2019, 50(1):86.
- [3] GLIMNE S, OSTERMAN C. Eye symptoms and reading abilities of computer users subjected to visually impaired direct glare [J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2019, 72:173.
- [4] PITYN P, CLOUSE-JENSEN S. Windshield glare from bus interiors: potential impact on city transit drivers at night [J]. *SAE International Journal of Transportation Safety*, 2019, 7(2):153.
- [5] ZALCMANIS G, PUNCULISA R, VONDA E. Impact of the use of inappropriate HID lamps on illumination and dazzling [M]//GINTERS E, PAULASKAS V, ESTRADA M. *Procedia Computer Science*. Amsterdam: Elsevier Science BV, 2019:130-137.
- [6] KANNA S, LINGARAJ N, SIVASANKAR P, *et al.* Optimizing headlamp focusing through intelligent system as safety assistance in automobiles [M]//HIEMATH S S, SHANMUGAM N S, BAPU B. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 2019:533-545.
- [7] HU X, ZHANG F, LU J, *et al.* Research on influence of sun glare in urban tunnels based on cellular automaton model in the framework of Kerner's three-phase traffic theory [J]. *Physica A*, 2019, 527:121176.
- [8] FRIEDLAND H, SNYCERSKI S, PALMER E M, *et al.* The effectiveness of glare-reducing glasses on simulated nighttime driving performance in younger and older adults [J]. *Cognition Technology & Work*, 2017, 19(4):571.
- [9] 徐弯弯, 杜志刚. 针对城市道路眩光的防眩设施改善设计 [J]. *公路*, 2017, 62(9):249.
- XU Wanwan, DU Zhigang. Improvement design of antidazzle facilities for urban road glare [J]. *Highway*, 2017, 62(9):249.
- [10] CHENANI S B, VAAJA M T, KURKELA M, *et al.* Target detection distances under different road lighting intensities [J]. *European Transport Research Review*, 2017, 9(2):17.
- [11] HAYCOCK B C, CAMPOS J L, KOENRAAD N, *et al.* Creating headlight glare in a driving simulator [J]. *Transportation Research, Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2019, 61:93.
- [12] 李媛, 牛盛楠. 道路照明阈值增量计算方法的演化 [J]. *照明工程学报*, 2019, 30(4):53.
- LI Yuan, NIU Shengnan. The variation of calculation system of threshold increment [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2019, 30(4):53.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市道路照明设计标准: CJJ45—2015[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for lighting design for urban road: CJJ45—2015[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.
- [14] 国家铁路局. 铁路照明设计规范: TB10089—2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- National Railway Administration of the People's Republic of China. Code for design of railway lighting: TB10089—2015[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2015.
- [15] 中华人民共和国铁道部. 机车、动车组前照灯、辅助照明灯和标志灯. 第一部分, 前照灯: TB/T 2325.1—2013[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- Ministry of Railways of the People's Republic of China. Front illuminators, auxiliary illuminators and lighting marks used for locomotive and electrical multiple units. Part 1, front illuminators: TB/T 2325.1—2013[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2013.
- [16] 中华人民共和国交通运输部. 公路交通安全设施设计规范: JTGD81—2017[S]. 北京: 人民交通出版社, 2017.
- Ministry of Transport of the People's Republic of China. Design specifications for highway safety facilities: JTGD81—2017[S]. Beijing: China Communications Press, 2017.
- [17] 陈雨人, 付云天, 汪凡. 基于支持向量回归的视距计算模型建立和应用 [J]. *中国公路学报*, 2018, 31(4):105.
- CHEN Yuren, FU Yuntian, WANG Fan. Establishment and application of sight distance computing model based on support vector regression [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2018, 31(4):105.
- [18] 国家铁路局. 高速铁路设计规范: TB10621—2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- National Railway Administration of the People's Republic of China. Code for design of high speed railway: TB10621—2014[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2014.