[道路照明]

多维度低位道路照明技术应用探讨

文/上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司　余剑青

多维度低位路灯基于LED自身发光规律，在理论上以驾驶员视觉需求为导向，以复合配光方法解决眩光控制关键技术问题，以多维度照明解决极端天气条件下的安全照明问题，以前瞻化的自适应系统解决智能化照明共性问题，为低位道路照明提供理论指导和全面解决。

行业机构2014年全球LED路灯安装数量统计数据显示，目前全球路灯安装量约为2亿盏，其中，欧洲约6 500万盏，占比30%以上；美国约4 400万盏，占比约超过20%；日本约400多万盏，占比近2%；中国约3 300万盏，占比超过16%。气候组织首席执行官Mark Kenber称：“到2025年，全球路灯数量可能达到3.5亿盏。”

国内已经出现了另一种道路照明方式——低灯位路灯照明。

低灯位路灯照明中，灯具直接安装在道路护栏、隔离带上，向路面投光，以满足路面必要的照明需求。

较早的有常州高架桥道路照明工程采用HPS灯作为光源的低灯位照明，并为该照明方式申请了专利（专利号ZL200720095548.4）。但至今未见发表有关现场测试的照明参数，亦未见系统化研究成果。

低灯位路灯照明在实践中已经走在了理论研究的前面，其一系列技术问题急需在理论上、实践上进行更深入的总结与系统化研究，为LED 低灯位照明方式的工程应用提供指导。

在道路照明的照度设计标准上，英国运输研究试验室（TRL）从2007年4月开始，进行一项有关车辆在夜间发生事故与道路照明关系的研究，为了弄清楚道路照明对交通事故的影响，将对所采用的照明系统相关联的数据进行分析。运输研究试验室的研究还将分析各种不同等级道路上照明水平和发生事故的频率与严重性的关系。该项目研究的目的是要分析并确定是否有必要提高道路目前的照明等级，考虑采用更有效的现代照明设备取代目前的照明设备，以及在车辆设计与交通管理方面提出新的要求。

炫光问题

1. 传统路灯的眩光问题

眩光是指视野中由于不适宜亮度分布，或在空间或时间上存在极端的亮度对比，以致引起视觉不舒适和降低物体可见度的视觉条件。视野内产生人眼无法适应之光亮感觉，可能引起厌恶、不舒服甚或丧失明视度。在视野中某一局部地方出现过高的亮度或前后发生过大的亮度变化。眩光（见图1）是引起视觉疲劳的重要原因之一。

基金项目：上海市政总院科研基金重点资助项目（K2020K091A）。

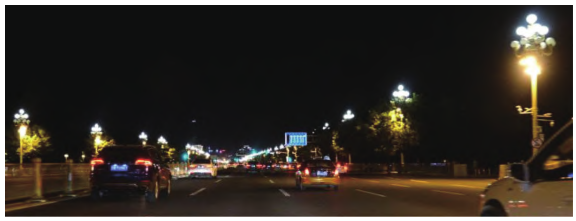


图1　北京长安街的眩光

现行照明方式用截光型路灯来减少眩光。但无论采用哪种配光，在灯具下方都会有一个高亮度的发光面，并且与驾驶员视点之间存在高度差H，这就必然产生一个视角α，使该发光面直接暴露于驾驶员前方视域内，导致驾驶员感觉到来自右前上方路灯的眩光。显然，该眩光非路灯内光源发出的直射眩光，其强度必然低于直射眩光——这就是截光型路灯减小眩光的机理（见图2）。但该眩光的性质仍为路灯发出的直接眩光（对光源来说是间接眩光），对驾驶员视线的干扰不容忽视。

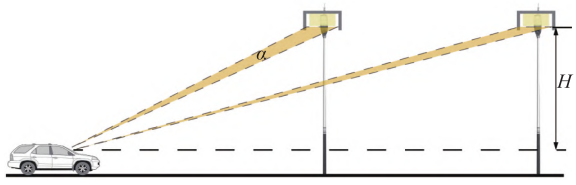


图2　导致眩光的高亮度发光面

2. 常规低位路灯的眩光问题

常规低位路灯眩光强烈，主要表现为来自侧面的眩光，实质是几赫兹至十几赫兹的低频频闪（见图3）。

图3　深圳罗湖的路灯频闪照片

研究表明，强烈的周期性闪烁最直接的效应是导致驾驶员视觉疲劳。有数据统计，每年有13%左右的交通事故都是由眼疲劳造成的。实验表明，眩光长期作用则会造成心理不适感和视觉疲劳，进而引发烦躁、注意力不集中、偏头痛和眼部疾病等生理不适现象。

在驾驶员的视野中会形成亮度和光交替变化的视觉环境，这些视觉环境定期变化。当在这种环境中具有相对运动时，会发生闪烁效应。这种闪烁效应表现在空间域中，与传统电光源的时域中的频闪不同。它可引起视觉疲劳和身体不适，如头痛、光敏性癫痫及视力下降，甚至引发交通事故。问题最严重的路灯间距在1.67～3.33 m之间。

现有技术全部采用单一性光学配光方法，无法消除水平的侧视眩光与后视眩光；眩光问题仍然是低位照明的关键技术问题，需要理论与技术的源头性创新。

3. 疲劳驾驶问题

疲劳驾驶导致交通事故增加，后果严重。据统计，美国每年由于驾驶员疲劳所导致的道路交通事故约10万起，导致死亡的约1 500起。德国由疲劳驾驶引发的交通事故约占该国交通事故总量的25%。法国由于疲劳而导致的交通事故占人身伤害事故的14.9%、死亡事故的20.6%。我国因疲劳驾驶而引发的道路交通事故也屡屡发生。2008年因疲劳驾驶所导致的交通事故达2 500多起，死亡1 353人，直接经济损失约5 738万元。由于目前对疲劳驾驶并没有具体认定准则，实际因驾驶人员疲劳所导致的交通事故所占比例要比统计数据高出许多。 疲劳驾驶作为重大交通事故的主要元凶之一，在状态判断、所受各种因素影响的机制及有效的对策手段等方面，近年来受到世界各国研究人员的关注。由于驾驶员疲劳昏睡导致的恶性交通事故更多发生在夜晚，道路照明的光色及其周期变化会影响驾驶员的疲劳程度及对道路环境的观察。

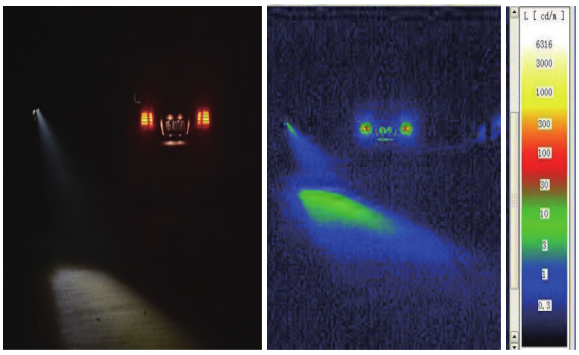
道路照明作为道路交通设施的一个重要组成部分，在暗环境下，灯光成为影响疲劳的外在因素，但传统的道路照明系统在抑制驾驶员疲劳方面并无有效作为。因此，如何通过道路照明的改进，降低因驾驶人员视觉疲劳所导致交通事故的发生概率，是保障道路交通安全的重要内容之一。

眩光实测数据解析——眩光降低90%

多维度低位路灯防眩光效果明显，可望实现的前景是：将路灯与路面亮度控制在相同数量级之内，即所谓“见光不见灯”。

多维度低位路灯与小轿车尾灯的亮度比较，伪色图如图4所示。由图4可以看出，多维度低位路灯

对人眼的刺激已经低于小轿车。



a）小轿车尾灯亮度≥300cd/m^2　　b）多维度低位路灯亮度≤50 cd/m^2

图4　多维度低位路灯与小轿车尾灯的照片与亮度伪色图比较

在2017年国家半导体光源产品质量监督检验中心（广东）检测报告（见表1）中，低位路灯的T_I=0.5%，远低于CJJ45—2015标准10%的T_I值。

表1　不同道路检测结果

比较	Lav/（cd/m^2）	U_0	U_l	T_I（%）	LPD/（W/m^2）	路宽/m
CJJ45—2015标准	1.5	0.4	0.7	10	1.0	-
重庆路灯	1.55	0.55	0.35	-	0.48	15
多维度路灯	3.2	0.4	0.7	0.5	0.33	17

两者比较：

1）达标率（CJJ45—2015标准5项指标）。重庆路灯2项达标，1项无测试数据；多维度低位路灯5项全部达标。

2）功率密度LPD。重庆路灯高于低位路灯33%。需要指出，重庆路灯照射下的路面平均亮度只有1.55 cd/m^2，而低位路灯达到了3.2 cd/m^2。如果折算到同等亮度，那么低位路灯应比高位路灯节能50%以上。

武汉青山长江大桥桥面现场测试实景如图5所示。

图5　武汉青山长江大桥桥面测试实景

（道路两侧的白点就是低位路灯）

2019年8月14日在武汉青山长江大桥桥面实测的数据中，T_I= 0.7%。眩光限制小于1%，比国际标准要求的10%消减了90%。

炫光问题解决方案

1. 光学配光+结构配光

LED低位路灯在配光方面的主要矛盾在于增加投光距离与控制眩光。解决眩光问题要采用截光技术，这意味着整灯光效要损失。路灯要满足路面亮度，特别是道路中央亮度的需求，势必要加大灯的功率，但这又会导致路灯更亮，眩光增强。

低位路灯的距/高比低的原因在于现有路灯，无论高位或低位路灯，均采用单一（光学）配光方法，包括一次、二次甚至三次光学配光，受透镜的折射角度所限，其距/高比最高也只能做到6。大量事实证明，采用单一配光无法满足投光与防眩光的共同要求。

本团队拟研发出复合配光技术，既“光学配光+结构配光”的技术，在此基础上，制作出在驾驶员视线方向的亮度低于汽车（示宽）尾灯的LED低位路灯，全面解决低位路灯前视眩光与后视眩光问题。

其中光学配光的主要目标以更小的损失将能量尽可能投射得更远，使大部分光到达道路中央，解决低位路灯对道路中央照明不足的问题。

结构配光的目标是以更小的光效损失做到最大限度地限制眩光，基本实现见光不见灯。

光学配光方法比较成熟，通过光学设计的自由曲面的折射、反射作用，达到汇聚光线的效果。本团队采用的具体光学配光方法是自由曲面（准抛物体）透镜+中心菲涅尔镜技术，在保持高光效的条件下，光束角4.5°，3 W的LED光源投光距离超过20 m后仍有20 1x以上照度，这从源头上保证了低位路灯对于单向4车道+救援车道共17 m宽的快速道路中央的照明。但上述光学配光并非新技术，如同其他低位路灯一样，解决不了精确投光、优化功能和控制眩光问题。

结构配光在路灯配光中极少见，因为高位路灯采用光学配光已足够，不需要新的配光形式。但低位路灯不然，必须通过灯体结构的光学设计，才能完成折射、反射和截光功能，达到精确投光、优化

功能和控制眩光的效果。

结构配光内容包括：灯体结构的小型化总体布局；光源位置优化；投光角度优化；前视、后视眩光截光版设计；折射、反射光利用；以及与光学配光功能协调等。

2. 正向、逆向照明子系统

多维照明系统根据路面反射率差异，设置正向/逆向照明子系统担负路面照明。

（1）正向照明子系统：针对粗糙路面

为满足高能效路面照明需求，设置低位路灯正向照明子系统。该子系统中，光源安装高度低于机动车驾驶员视平线，照射方向与所在车道车行方向相同，照射空间为路面及灯高位置下方空间，无仰角散射，对路面全面覆盖（见图6和图7）；正向照明子系统的光源色温不高于4 500 K，道路中央的色温低于两侧的色温。正向照明子系统的运行模式为通常模式（在正常开灯时间内常全开）和节能模式（在通常模式基础上调光）。

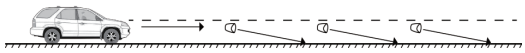


图6　低位路灯正向照明子系统立面示意图

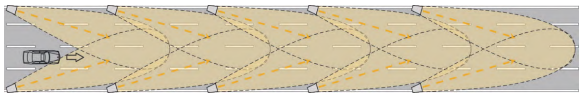


图7　低位路灯正向照明子系统平面示意图

（2）逆向照明子系统：针对光滑路面

为满足高能效路面照明需求设置低位路灯逆向照明子系统。该子系统中，光源安装高度低于机动车驾驶员视平线，照射方向与所在车道车行方向相反，照射空间为灯高位置下方空间及路面，无仰角散射，对路面全面覆盖（见图8和图9）。为提高可见度，该逆向照明子系统的光源色温不高于4 000 K，道路两侧的色温高于道路中央的色温。逆向照明子系统的运行模式为通常模式（在正常开灯时间内常全开）和节能模式（在通常模式基础上调光）。

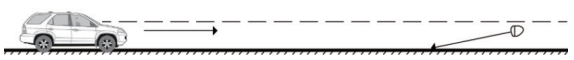


图8　低位路灯逆向照明子系统立面示意图

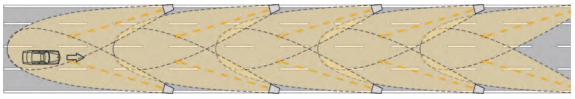


图9　低位路灯逆向照明子系统平面示意图

低位路灯正向照明路灯解决的关键问题是减小后视眩光，如图10所示。

图10　低位路灯正向、逆向照明子系统同时工作

结束语

多维度低位路灯针以驾驶员视觉需求为导向，以复合配光方法解决眩光控制关键技术问题，提高了道路驾驶的安全系数，为低位道路照明提供了充分的理论指导。EA

（收稿日期：2021-07-05）

声　明

《电气时代》杂志唯一投稿渠道

登录电气时代官网www.eage.com.cn，点击“我要投稿”

咨询电话：010－68993981