

汽车前照灯配光实用性评价研究

梁辉泉

(厦门金龙联合汽车工业有限公司, 福建 厦门 361023)

摘要:针对传统评价方法依赖专业配光试验室与配光屏、脱离实际使用场景的问题,本文提出基于整车实际场景的前照灯测试评价方法。通过实测车辆前方典型点光照强度,从驾驶员实际照明需求角度实现对前照灯实用性的有效评价。

关键词:前照灯;实用性评价;驾驶员需求

中图分类号:463.65

文献标志码:A

DOI:10.15917/j.cnki.1006-3331.2026.02.005

Research on the Practical Evaluation of Automotive Headlamp Photometric Performance

LIANG Huiquan

(Xiamen King Long United Automotive Industry Co., Ltd., Xiamen 361023, China)

Abstract: To overcome the limitations of traditional evaluation methods, which rely on professional photometric laboratories and photometric screens while remaining disconnected from real-world usage scenarios, this paper proposes a headlamp testing and evaluation method based on real-vehicle scenarios. By measuring the illumination intensity at key points ahead of the vehicle, this method effectively evaluates the practical performance of headlamps from the perspective of drivers' actual lighting demands.

Key words: headlamps; practicality evaluation; driver requirements

安全是汽车行驶的首要考量,而前照灯作为夜间行车安全的关键部件,其照明性能至关重要。车辆在正常使用中面临多种路况,当环境光线不足时(如夜间、隧道、恶劣天气等),前照灯需为车辆前方不同区域提供有效照明,以确保驾驶员的行车安全性^[1]。

然而,传统前照灯配光评价方法依赖专业试验室与配光屏,以法规符合性为主要判定依据。这类方法虽能验证产品是否达标,却难以反映车辆在实际道路场景中的真实照明效果,导致实验室测试结果与驾驶员实际使用体验之间出现偏差。

为此,本文提出一种基于整车实际场景的前照灯实用性评价方法,从驾驶员实际照明需求出发,对车辆照明性能进行评估。

1 前照灯照射距离及照度要求

1.1 前照灯照射距离

汽车在夜间行驶时,前照灯应保证足够的照射距

离和光照强度,使驾驶员能够及时识别前方道路状况,以便完成必要的制动或转向操作,从而确保行车安全。车辆的停车视距 S_t 可作为衡量前照灯有效照明距离的重要参照指标^[2],其计算公式如式(1)所示。

$$S_t = S_1 + S_2 + S_0 = (V \cdot t / 3.6) + V^2 / 254 \cdot (\varphi + i) + S_0 \quad (1)$$

式中: S_1 为驾驶员反应时间内行驶的距离,m; S_2 为车辆开始制动到完全停止所行驶距离,m; S_0 为安全距离,m; V 为车速,km/h; t 为驾驶员反应时间,s; φ 为路面与轮胎之间的纵向摩擦系数; i 为道路纵坡(平坡时取0)。

在 $V=100$ km/h、 $t=1.2$ s、 $\varphi=0.65$ 、 $S_0=10$ m^[3]的条件下,由式(1)计算得出 $S_t=113.9$ m。目前主流乘用车前照灯的远光照射距离普遍不低于150 m^[4],其照明范围大于所需停车视距,满足高速行驶下的安全制动需求。

收稿日期:2025-08-02。

第一作者:梁辉泉(1989—),男,工程师,主要从事新能源商用车智能化、网联化、数字化等设计研发相关工作。E-mail: lianghq@mail.king-long.com.cn。

1.2 前照灯照射亮度

常规远光灯可照亮车辆前方 100 m 范围内的单车道区域,便于驾驶员识别该区域内高度为 2 m 的障碍物^[4],并保证其拥有充足的反应时间进行避让或制动。

GB 4599—2024《汽车道路照明装置及系统》中规定,在远光配光性能测试中,前照灯在 25 m 距离的测试屏幕上产生的最大发光强度值 $I_{\max}$ 应不低于 40 000 cd^[5]。进行远距离照射时,可将汽车前照灯的光源近似视为点光源,其照度与发光强度之间的关系遵循平方反比定律,具体如式(2)所示。

$$E=I/d^2 \tag{2}$$

式中: E 为被照面的照度, lx; I 为光源在该方向上的发光强度, cd; d 为光源到被照面的距离, m。

照度换算示意如图 1 所示。根据照度第一定律,将 $I_{\max}=40\,000\text{ cd}$ 、 $d=25\text{ m}$ 代入式(2),计算得出车辆前方 25 m 处的照度 $E_{\max}=64\text{ lx}$ 。再将 $I_{\max}=40\,000$

cd 和 $d=100\text{ m}$ 代入式(2),计算得出车辆前方 100 m 处的照度 $E_{100}=4\text{ lx}$,该值可作为驾驶员在车辆前方 100 m 处有效识别障碍物的最小照度要求。

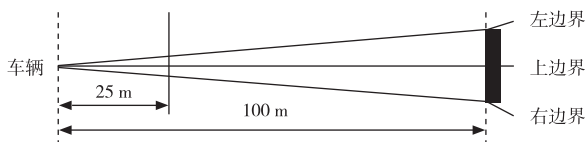


图1 照度换算示意图

2 前照灯配光实用性评价项目

为更贴近车辆实际行驶工况,对前照灯配光进行实用性评价。依据 GB 4599—2024 中的配光要求^[5],综合考虑实际运行所需的照明区域及对象,梳理出 8 个评价项目,共 19 个关键测量点位,涵盖车道、路边、行人、交通标志、弯道及车前区域等。19 个点位的分布示意如图 2 所示。

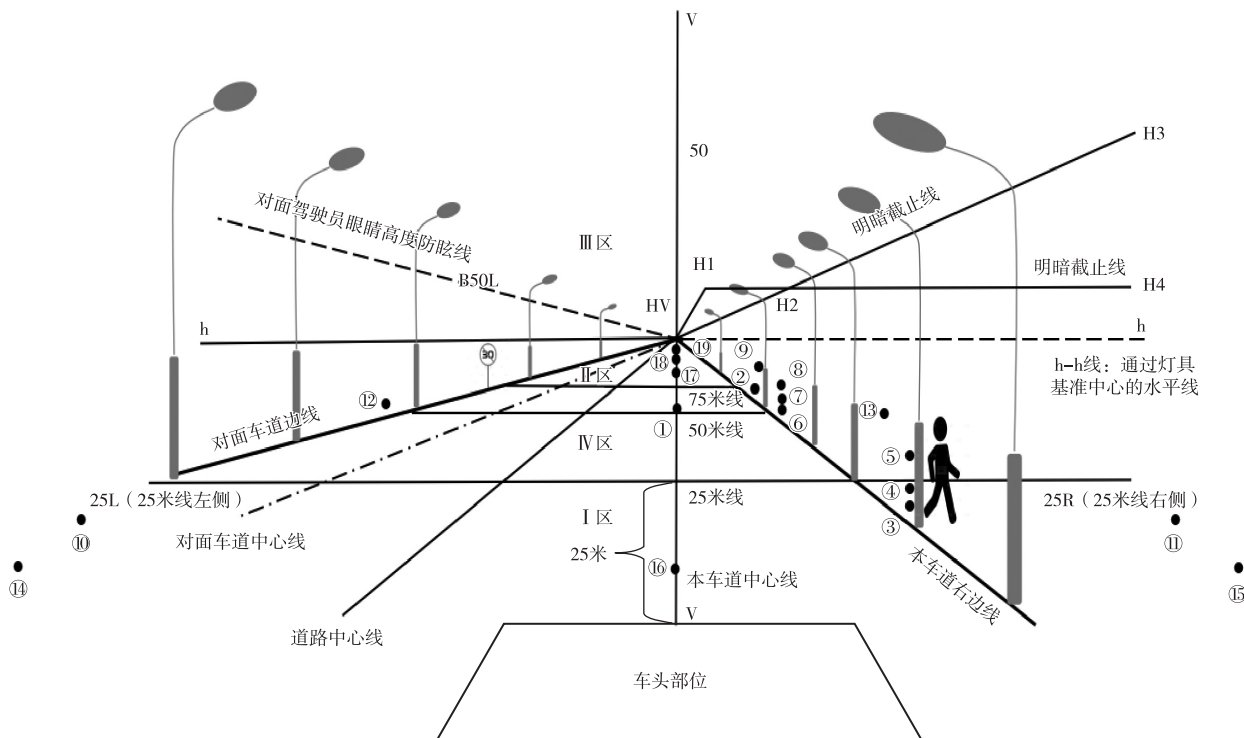


图2 评价点位配光示意图

19 个点位对应的具体评价项目及测量位置详见表 1。其中,纵向距离为测量点距车头的水平距离;横向偏移以车辆纵向中心线为基准,左侧为负,右侧为正;离地高度为测量点距地面的垂直距离。基于表 1 所列评价项目,可在整车层面实现对前照灯配光实用性的快捷、有效综合评估。

表1 实用性评价项目表

项目	测量点位	编号	纵向	横向	离地
			距离/ m	偏移/ m	高度/ m
本车道可见度	车道中心线	①	50	0	0.10
路边可见度	右侧路肩	②	70	2.0	0.10

表 1(续)

项目	测量点位	编号	纵向	横向	离地
			距离/ m	偏移/ m	高度/ m
行人可见度	脚部(近)	③	20	3.0	0.10
	膝部(近)	④	20	3.0	0.45
	肩部(近)	⑤	20	3.0	1.30
	脚部(远)	⑥	50	3.0	0.10
	膝部(远)	⑦	50	3.0	0.45
	肩部(远)	⑧	50	3.0	1.30
交通标志可见度	右侧标志	⑨	70	3.0	2.30
转弯时前方可见度	左侧弯道(近)	⑩	20	-6.0	0.10
	右侧弯道(近)	⑪	20	6.0	0.10
	左侧弯道(远)	⑫	50	-6.0	0.10
	右侧弯道(远)	⑬	50	6.0	0.10
转弯安全确认	左侧路侧	⑭	10	-6.0	0.10
	右侧路侧	⑮	10	6.0	0.10
车前近场照明	车前地面	⑯	10	0	0
远光灯前方可见度	车辆前方 100 m 处	⑰	100	0	1.30
	车辆前方 150 m 处	⑱	150	0	1.30
	车辆前方 200 m 处	⑲	200	0	1.30

3 前照灯配光实用性评价判定标准

路面照度与驾驶员主观评价的关系如下:当 $E < 2$ lx 时,物体不可见,交通标识需依赖反光材料方可识别;当 $2 \text{ lx} \leq E < 5 \text{ lx}$ 时,可辨识物体轮廓;当 $5 \text{ lx} \leq E < 20 \text{ lx}$ 时,可发现路面障碍物;当 $E \geq 20 \text{ lx}$ 时,路面照度充足,可满足正常行驶的视觉需求。

为进一步量化上述主观感受,基于主观 10 点评

价法原则^[6]对不同灯光照度进行评分,其对应的照度-评分关系见表 2^[7]。

表 2 10 点评价法

分值	路面/目标物辨识度	参考照度 值/lx
10	驾驶员可明确辨识目标物及道路状况	$E \geq 30$
9	驾驶员可清楚地辨识目标物及道路状况	$20 \leq E < 30$
8	无特别暗区,驾驶员可辨识目标物及道路状况	$12 \leq E < 20$
7	有小部分暗区,辨识性稍差但不影响行驶	$8 \leq E < 12$
6	整体稍暗,但驾驶员仍可辨识目标物及道路状况	$5 \leq E < 8$
5	驾驶员勉强可辨识目标物及道路状况(安全行驶极限)	$2 \leq E < 5$
4	驾驶员勉强可辨识,但无法安全行驶	$1 \leq E < 2$
3	辨识性差,驾驶员有时无法整体辨识	$0.5 \leq E < 1$
2	驾驶员几乎无法辨识,行驶非常危险	$0.1 \leq E < 0.5$
1	驾驶员完全无法辨识	$E < 0.1$

注:分值不低于 6 分为合格,低于 6 分为不合格。

4 实车测试

选取 A、B、C、D 4 款不同前照灯样式车型,将其前照灯依出厂要求调整到位^[8]。在环境照度小于 0.1 lx 的场地,按照表 1 的评价项目进行灯光照度测量。基于测量结果,结合表 2 的 10 点评价法,分别计算 4 款车型的综合评分(满分 100 分),结果见表 3。综合评分计算方法如下:对于点位③~⑤等成组测量点,先计算该组各点位照度的平均值,再根据表 2 按平均值确定合并项得分(其他分组同法);对于单个测量点,则直接根据表 2 按照度确定得分。经计算,A、B、C、D 四款车型的综合评分分别为:54 分、54 分、71 分和 69 分。

表 3 案例评价

项目	测量点位	编号	车型							
			A 车		B 车		C 车		D 车	
			照度/lx	评分	照度/lx	评分	照度/lx	评分	照度/lx	评分
本车道可见度	车道中心线	①	3	5	5	6	16	8	15	8
路边可见度	右侧路肩	②	3	5	4	5	8	7	8	7
行人可见度	脚部(近)	③	11	6	9	5	22	9	34	9
	膝部(近)	④	7		4		28		31	
	肩部(近)	⑤	2		1		18		4	
	脚部(远)	⑥	6	5	6	5	13	8	15	7
	膝部(远)	⑦	5		5		14		14	
	肩部(远)	⑧	1		1		9		5	

表 3(续)

项目	测量点位	编号	车型							
			A 车		B 车		C 车		D 车	
			照度/lx	评分	照度/lx	评分	照度/lx	评分	照度/lx	评分
交通标志可见度	右侧标志	⑨	1	4	1	4	2	5	1	4
转弯时前方可见度	左侧弯道(近)	⑩	3	5	4	5	16	8	23	8
	右侧弯道(近)	⑪	4		4		10		14	
	左侧弯道(远)	⑫	3	5	4	5	7	6	4	6
	右侧弯道(远)	⑬	2		1		6		6	
转弯安全确认	左侧路侧	⑭	1	4	1	4	3	5	1	4
	右侧路侧	⑮	1		1		3		2	
车前近场照明	车前地面	⑯	113	10	116	10	100	10	154	10
远光灯前方可见度	车辆前方 100 m 处	⑰	7	5	8	5	5	5	10	6
	车辆前方 150 m 处	⑱	3		4		2		4	
	车辆前方 200 m 处	⑲	2		2		1		2	

由表 3 可知,4 款车型中车型 C 综合评分最高(71 分)。在本车道可见度、路边可见度、行人可见度、交通标志可见度、转弯前方可见度及转弯安全确认多个维度上均优于车型 A 和车型 B,与车型 D 相比,两者各有优劣,但车型 C 总分领先。

车型 D 综合评分为 69 分,整体表现较好。同车型 C 相比,在远处行人可见度、交通标志可见度及转弯安全确认三个维度评分略低,但其远光灯在车辆前方 100 m 处的照度为 10 lx,优于车型 C 的 5 lx。

车型 A 跟 B 的分值相当(均为 54 分),其中车型 A 本车道可见度仅有 3 lx,这与用户实际使用反馈该车照明效果不佳的情况一致。车型 B 则在近处的行人可见度上面的膝部跟肩部照度较低。

5 结束语

前照灯作为汽车的关键安全部件,在环境光线不足时为驾驶员提供重要的前方视野。本文围绕前照灯配光实用性评价展开研究,基于 GB 4599—2024 标准^[5],综合考虑实际运行场景,构建了涵盖 8 个评价项目、19 个关键测量点位的整车级配光实用性评价体系,并提出了相应的试验方法及判定标准。通过 4 款车型的实车测试,验证了该体系具有实际可操作性。

本文打破了传统方法对专业试验室与配光屏的依赖,将评价场景从标准化实验室延伸至整车实际环境,填补了实验室合规性与驾驶员实际体验之间的评价断层。以关键视野区域光照强度实测为核心的实用性评价体系,精准体现前照灯的实际照明效果,为前照灯的对标开发、设计优化及验收评价提供量化参考。

参考文献:

[1] 赵松岭,雷永富,刘晓喻,等. 汽车前照灯发展趋势与研究[J]. 汽车电器,2020(8):35-39.

[2] 吴善根,李涛,林宣财,等. 基于制动减速度的高速公路停车视距研究[J]. 公路交通科技,2021,38(9):51-59.

[3] 李贵冲. 高速公路停车视距分析及应用[J]. 北方交通,2022(6):67-70.

[4] 李高林,楚思东,陈瑜飞,等. 远光灯性能测试与评价研究[J]. 汽车电器,2014(8):69-71.

[5] 中华人民共和国工业和信息化部. 汽车道路照明装置及系统:GB 4599—2024[S]. 北京:中国标准出版社,2024:9.

[6] 石文杰,荣军,高玉振,等. 浅谈汽车前照灯性能主观评价[J]. 汽车电器,2019(11):49-51.

[7] 郑策. 汽车前照灯配光性能星级评价模式的探讨[J]. 质量与认证,2020(9):58-60.

[8] 李祥兵. 汽车前照灯前束灯光标定方法及故障应对策略[J]. 汽车电器,2022(11):88-91.