

文章编号:1002-2082(2017)05-0804-06

船舶夜航光环境评价指标筛选

黄 成,朱金善

(大连海事大学 航海学院,辽宁 大连 116026)

摘 要:为了客观、全面地评价船舶夜航光环境质量,保障船舶夜航安全,从分析海上光污染的概念及其来源出发,提出了选取船舶夜航光环境评价指标应遵循“主导性、可操作性及覆盖面广”的原则;在遵循该指标选取原则的基础上,利用光学、色度学及系统工程理论,从驾驶人员视觉绩效、船舶避碰行为、通航光环境条件等3大方面筛选出19个评价指标,建立了海上光环境评价体系,并给出了通航光环境条件中背景光的亮度、背景光的色度、污染光源眩光以及污染光源闪烁度的评价标准,为船舶夜航光环境的测量与评价奠定了基础。

关键词:船舶夜航;光环境;海上光污染;评价;指标

中图分类号: TN209; U676.1

文献标志码: A

doi: 10.5768/JAO201738.0503005

Screening of light environment evaluation indices for ship night navigation

Huang Cheng, Zhu Jinshan

(School of Navigation, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: In order to objectively and comprehensively evaluate the light environmental quality of the ship navigation at night and ensure the safety of the ship navigation at night, the concept and source of the light pollution at sea were analyzed, the light environment evaluation indices of the ship navigation at night were proposed, which should follow the principle of “dominance, operability and wide coverage”. On the basis of the principle for selecting indices, the theoretics of optics, chromaticity and system engineering were used, 19 evaluation indices were selected from 3 aspects including navigator’s visual performance, ship collision avoidance and light environment condition of ship night navigation, and the light environment evaluation system at sea was established; furthermore, the evaluation criteria of the brightness of background light, the chromaticity of background light, the glare of pollution light and the flickering degree of pollution light were given in the navigation light environment condition, which laid foundation for the measurement and evaluation of light environment of ship night navigation.

Key words: ships night navigation; light environment; light pollution at sea; evaluation; indexes

引言

电灯作为人类历史上改变世界的伟大发明之一,给人们的生活带来了极大的便利。但是过度

的照明如同水污染、空气污染一样形成一种新的污染——光污染^[1]。

号灯是船舶夜航避碰的主要信息来源之一,

收稿日期:2017-02-27; 修回日期:2017-03-30

基金项目:国家自然科学基金项目(51309043)

作者简介:黄成(1994—),男,江西新余人,硕士研究生,主要从事水上交通安全保障研究。E-mail:18042680940@163.com

通信作者:朱金善(1971—),男,江西九江人,教授,主要从事航海技术的教学与研究工作。E-mail:zjinshan888@126.com

也是最基本、最直观的信息来源。通过对他船号灯的识别,可以获取其船舶类型、船舶尺度以及航行动态等信息,并且还可以作为判断他船的航向、两船间所构成的会遇局面以及是否存在碰撞危险的依据之一。

海上光污染是人们生产作业中的副产品,严重影响着信号灯的可识别性,继而使夜航船舶的安全无法得到保障。相对于城市居住区及商业建筑照明等陆上较成熟的光环境研究来说,船舶夜航光环境评价领域的研究较为鲜见。现有研究成果多是海上光污染的影响以及提出相应的对策^[2-5],缺乏对船舶夜航光环境的具体评价,尤其未能针对船舶夜航水域的环境特点,建立全面客观的评价体系。因此,本文拟运用光学、色度学及系统工程理论,从驾驶人员视觉绩效、船舶避碰行为、船舶通航光环境等3大方面建立一套船舶夜航光环境评价体系。

1 海上光污染的概念和来源

1.1 海上光污染的概念

海上光污染是指海滨城市夜间照明、海上灯光捕鱼等作业照明所产生的逸散光、反射光和眩光等对人、海洋生物造成干扰或负面影响的现象^[5]。与普通光污染不同的是:

1) 海上光污染明确了光污染发生的位置在海上或与之相连接且可供海船航行的水域;

2) 海上光污染的污染源主要来自于港口城市的夜景照明、码头作业区照明以及灯光捕鱼的诱鱼灯光等;

3) 海上光污染影响的对象主要是船舶驾驶人员的视觉绩效、船舶夜航安全和海洋生物等。

1.2 海上光污染的来源

1) 滨海城市的夜景灯光

为了塑造浪漫温馨的滨海城市形象,吸引游客参观消费,许多沿海城市景观灯光亮化工程建设逐步加快。在促进经济增长、提高GDP的同时,灯火辉煌的城市夜景会使海面亮度增加,影响船员生活和船舶夜航安全。

2) 渔船的诱鱼灯光

近些年捕鱼方式不断更新,利用灯光诱鱼的捕鱼方式逐渐普及。灯光捕鱼在增加了渔民收益的同时,也造成了不同程度的海上光污染。夜间靠近渔区中心航行时这种污染尤为明显,恍如人

工白昼,严重影响船舶夜航安全。

3) 船舶的锚泊灯光

《1972年国际海上避碰规则》(以下简称《规则》)指出锚泊船在规定时间内需要根据船舶种类和大小显示相应的号灯,这种规定的初衷是为了给周围船舶起警示作用,但是当锚泊船过多地聚集在一起时,由于灯光的叠加,海面亮度显然会提高许多。

4) 码头作业照明

为了提高运营效率,保障作业人员安全,港口一般会配备高亮度的作业照明灯。附近水域就会成为海上光污染的污染区,而且码头作业通常都是彻夜泛光照明,因此,此类海上光污染会长时间存在,持续影响附近水域夜航船舶的安全。

5) 桥梁照明

为了保障过桥车辆和人员安全,美化跨海大桥形象,跨海大桥通常会采用高亮度、多色彩的桥梁灯光。而且这些灯光会在水面形成倒影,当船舶航行至该桥梁附近水域时,桥梁灯光及水面倒影所形成的光污染会给夜航船舶造成不同程度的影响。

6) 海上油田作业照明

近年来石油勘探逐渐由陆地转向海洋,越来越多的海上油田被开发。在创造良好效益的同时,其作业区的灯光照明也就形成了区域性的海上光污染,对附近夜航船舶的安全造成了一定的影响。

2 评价指标选取的原则

根据对海上光污染概念和来源的分析,可以得到多种评价船舶夜航光环境的指标。由于反映船舶夜航光环境的指标诸多,如果随意地、不加筛选地将所有指标都纳入船舶夜航光环境的评价体系,指标集将会庞大繁琐。在评价船舶夜航光环境时,不仅会耗费大量的人力和物力,而且还会淡化主要因素,为评价工作增加不必要的工作量,产生不必要的误差,从而影响总体评价的准确性。为了避免这类状况的发生,必须采取一定原则对所有指标进行筛选,在参照国内外光环境评价指标选取原则的基础上,本节从船舶安全营运管理出发,确立了以下船舶夜航光环境评价指标选取原则。

2.1 主导性

在船舶夜航光环境的评价中,由于影响船舶夜航安全的因素众多,各层次关系错综复杂。有的紧密联系,有的却毫不相关。如果将所有影响船舶夜航安全的指标都列入其中,那么指标体系将会非常的繁杂且无序。因此,在建立评价体系时要目的明确,有侧重地选取一些主导性强,与船员、船舶夜航安全息息相关的指标,或者间接反映船员健康或者船舶夜航安全的指标。简而言之,要选取主要评价因子。

2.2 可操作性

选取评价指标时还需要考虑该指标的可操作性,通俗地讲就是该指标是否容易获取,船舶夜航光环境评价的研究对象界定在人、船、环境这3个相互联系又相互独立的系统工程要素中。这3大要素包含指标诸多,如果将所有影响因素都加入其中,而不考虑该指标能否获取,那么这种光环境质量到底是好是差很难界定。如果从可操作性的角度出发,那么该指标能够获得,并能分清主次,辨别何为主要因素,可以更加直观地表现光环境的污染程度,有助于人们采取相应的措施来改善这种环境。因此,在选取指标时考虑指标的可操作性能更加确切地评价夜航光环境。

2.3 覆盖面广

船舶夜航光环境评价主要针对人、船以及光环境,三者缺一不可,如果只对其中的某一项进行评价而忽视其他项的影响,那么很难保证评价的准确性,无法确切地反映海上光环境的污染程度。因此,只有涵盖这3个方面,才能更加全面地评价船舶夜航光环境。

3 船舶夜航光环境评价指标集的建立

3.1 驾驶人员视觉绩效

作为人、船、环境三者中的核心,驾驶人员在保障船舶夜航安全时起着决定性的作用。在船舶夜航时,视觉瞭望是驾驶人员观察周围环境的主要瞭望手段,而视觉是通过眼睛接受外界环境中一定波长范围内的电磁波刺激,经视觉神经系统进行编码加工和分析后获得的主观感受。人眼主要靠感光细胞(杆状细胞和锥状细胞)对信息进行接收处理。

为了保证驾驶人员视觉瞭望效果,夜航时驾驶台需要关闭影响视觉瞭望效果的所有照明灯

光。当周围水域光环境亮度与驾驶台亮度差别较大时,感光细胞对视觉信息的处理将会发生变化,比如空间分辨力、对比识别力、立体深度感知、适应性调节反应和反应速度与在光环境良好情况下的夜航相比都有不同程度的下降^[6]。

除此之外,长期处于高亮度环境下工作的驾驶人员,其生理和心理上都会受到不同程度的影响,轻则使人焦虑烦躁,影响其生活作息和食欲,严重时将会危害其神经功能,甚至会使驾驶人员患上眼科疾病。

3.2 船舶避碰行为

1) 瞭望手段与效果

瞭望主要是指对船舶周围的环境和情况,特别是对周围航行船舶的动态以及通航条件进行观察判断^[7]。视觉瞭望是多种瞭望手段中最简单、直接的手段。海上光污染会降低驾驶人员的视觉水平,而视觉瞭望效果主要取决于视觉水平的高低。此时,驾驶人员不得不选用其他的瞭望手段,而这些手段远没有视觉瞭望直接方便。

2) 对安全航速的判断

安全航速是指船舶能采取适当有效的避碰行动,以及在适合当时环境和情况的距离内把船停住的船速^[8]。《规则》中对安全航速条款的解释部分说明了决定安全航速应考虑的因素包括夜间出现的背景亮光,诸如来自岸上的灯光或本船灯光的反向散射,而这些背景亮光就是海上光污染的来源之一。

3) 对碰撞危险的判断

判断碰撞危险的方法主要有罗经方位判断法、舷角判断法和雷达标绘判断法等。相比于其他方法,罗经方位判断法具有简单、方便、迅速、直观、效果好等优点。但是该方法的使用是以两船处于互见中为前提的,如果由于海上光污染影响驾驶人员视觉绩效从而使两船处于非互见中,罗经方位判断法则不能正常使用。此时,判断是否存在碰撞危险就不得不改用其他方法,而其他方法远不如罗经方位判断法迅速、直观。

4) 对会遇态势的判断

当船舶夜间航行时,判断我船与他船是否处于互见状态取决于两船上的任一驾驶人员能否以视觉看清他船的号灯,而分析我船与他船的会遇态势、厘定两船间避让责任是以两船是否处于互见中为前提。海上光污染会影响到驾驶人员的视

觉绩效及船舶号灯的可识别性,从而可能导致本应互见的两船实际上处于非互见中,本应构成《规则》中追越、交叉相遇及对遇局面的会遇态势实际上却无法适用这些条款。

5) 对避碰行动时机与幅度的影响

当船舶在海上光污染及其附近水域夜航且处于非互见状态时,海上光污染对夜航船舶采取避碰行动的影响表现在如下2个方面:

a. 无论两船的相对方位如何、操纵性能怎样,此时均参照《规则》第19条的规定,致有构成碰撞危险的两船均负有同等避让责任。

b. 在海上光污染的影响下,船舶采取避碰行动的时机需要提前、幅度也要增大。除此之外,船舶驾驶人员应注意到所采取的避让行动不能被他以视觉瞭望察觉到。

3.3 光环境条件

船舶夜航光环境的评价是针对某个特定的光环境来进行,依据上述评价指标选取原则共选出污染光源的种类、位置、闪烁度、眩光和背景光的亮度、色度等光环境条件评价指标。然而有些指标对光环境的影响程度是确定的,如污染光源的种类和位置,有些指标对光环境的影响程度则是随着船舶方位和驾驶人员观测角变化而变化。本节主要针对变化的指标进行论述。

3.3.1 背景光的亮度

背景光的亮度是指光环境条件中来自岸上和海上作业照明等所有灯光叠加在一起的明亮程度,亮度过大时会影响船舶驾驶人员的视觉绩效及其对周围船舶号灯的识别。

在夜航光环境中,要想准确地识别周围船舶信号灯和其他助航灯标,这些信号灯与其背景之间需要存在一定的亮度差异。为描述这种差异,光学中定义亮度对比度 C 为

$$C = \frac{\Delta L}{L_b} = \frac{|L_0 - L_b|}{L_b} \quad (1)$$

式中: L_0 为物体亮度; L_b 为背景亮度; ΔL 为实际亮度差。

物体与光环境背景亮度实际的亮度对比度 C 与临界对比度 C_{cr} 的比值为成为可见度水平 V_L [2]。

$$V_L = \frac{C}{C_{cr}} = \frac{\Delta L}{L_{cr}} \quad (2)$$

同等条件下, V_L 越大,目标的可见水平越高,也就是越容易看到。一般来说,当对比度 C 小于

—0.13 或大于 1.3 时,视觉工效较高, V_L 较高,目标容易被识别。当对比度 C 处于 —0.13~1.3 之间时,视觉工效较低, V_L 较小,目标不易被发现。

船舶号灯的亮度通常都是确定的, V_L 的大小主要与夜航船舶所处光环境的背景亮度有关。因此,在一定的天气条件下,当光环境的背景亮度接近于信号灯的亮度时,亮度对比度 C 将会接近于 0,此时驾驶人员将会难以识别他船信号灯和助航灯标。

3.3.2 背景光的色度

格拉斯曼定律指出,在一个特定的光环境中,如果多种色光同时显示,将会产生新的混合色光,而且原先色光的光色属性差异越大,新的混合色光与原色光的颜色差异将会越大。

《规则》中明确要求不同种类船舶在特定时间内需要显示不同颜色的信号灯,而这些信号灯的颜色都是确定的,当夜航船舶在高亮度水域航行时,桅灯(白色)和尾灯(白色)的光色与污染光源光色颜色属性相近,其与背景光混合后颜色几乎不变,相对影响较小[3]。但对于船舶红绿舷灯及拖带船显示的黄色拖带灯,由于这些灯光与污染光源光色属性差异较大,此时将会产生新的色光,当驾驶人员驶过该水域时会无法准确辨识他船信号灯,夜航安全也会因此受到影响。

3.3.3 污染光源眩光

由于视野中视觉目标亮度太大,或者时间或空间上瞬时亮度对比度过大造成观察者的视觉不适,在短时间内无法看清目标的现象称之为眩光。

国际照明委员会(international commission on illumination, CIE)根据亮度控制的程度将作业分为 5 类,该表也可作为照明质量的分级,从 A 到 E 亮度要求逐渐降低,眩光逐渐增加,照明质量逐渐下降,具体见表 1[9]。

眩光有许多评价系统,但目前比较统一的求值系统是统一眩光等级 U_{GR} ,其计算模型如下:

$$U_{GR} = 8 \lg \frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L^2 \Omega}{P^2} \quad (3)$$

式中: L_b 为背景亮度; L 为每一灯具在观察者眼睛上的亮度; Ω 为每一灯具在观察者眼睛上所张的立体角; P 为每一灯具的位置指数,与观察者的观察视线方向位置有关。

依据该模型能够算出眩光的数值, U_{GR} 数值越大,眩光影响越强烈。 U_{GR} 在 10 以下的光环境没有眩光,但超过 19 时将会影响人们的生活作业。

表 1 眩光限制的质量等级
Table 1 Quality level of glare limits

质量等级	作业的类型
A(很高质量)	非常精确的视觉作业
B(高质量)	视觉要求高的作业,中等视觉要求的作业,但需要注意力高度集中
C(中等质量)	视觉要求中等的作业,注意力集中程度的要求中等,工作者有时要走动
D(质量差)	视觉要求和注意力集中程度的要求都比较低,且工作者常在限定区内走动
E(质量很差)	工作者不限于室内某一工位,是走来走去,作业视觉要求低,或不为同一群人持续使用的室内区域

3.3.4 污染光源闪烁度

光源闪烁是指在交流电的作用下,灯管两端电源不断改变正负极性,从而影响光通量,因此产生强烈的闪烁感^[10]。光源闪烁对驾驶人员视觉感受产生的影响可以用视觉敏感系数曲线来量化,如图 1 所示。

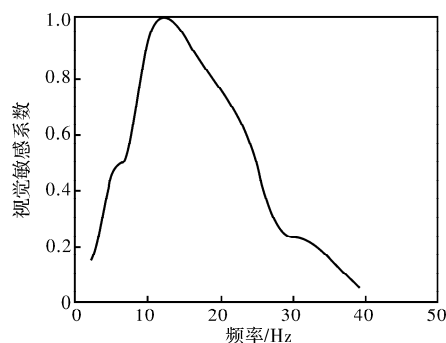


图 1 视觉敏感系数曲线

Fig. 1 Visual sensitivity coefficient curve

通过曲线可以看出人眼最敏感的频率是 12 Hz,偏离该频率后敏感度随频率变化而降低。当闪烁频率达到 40 Hz 以上时,感觉就不灵敏;50 Hz 以上的闪烁就完全没有感觉。许多滨海城市都有很多闪烁的荧光屏和景观灯,这些灯光处于人眼敏感区域,当船舶航行经过此类光环境水域时,光的闪烁会严重影响驾驶人员健康,引发视觉疲劳,影响驾驶人员的视觉分辨力,长时间处于这种状态还会使人心跳加速,这种现象称为频闪效应^[11]。有时光源闪烁频率其实不高,但由于它的不断闪烁,视觉持续受到影响,海上光污染的隐性危害也就随之产生。

本文主要依据系统工程理论中的人、船、环境这 3 大要素,结合上船实践经历,在光环境评价指标选取原则的指导下,筛选出船舶夜航光环境的评价因子(评价指标),详见图 2。

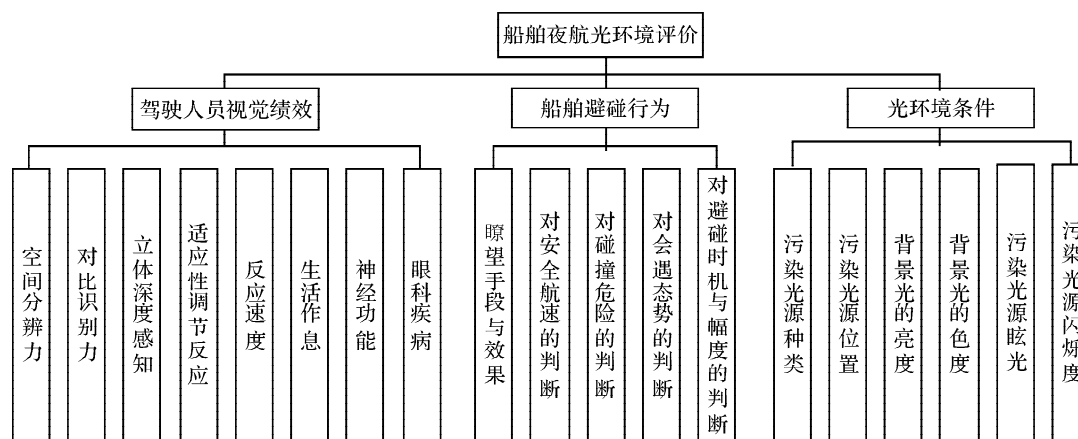


图 2 光环境评价体系

Fig. 2 Evaluation system for light environment

4 结束语

通过对海上光污染的概念及其来源进行分析,提出了选取船舶夜航光环境评价指标应遵循的原则(主导性、可操作性及覆盖面广);并利用光学、色度学及系统工程原理,在遵循指标选取原则

的基础上,从驾驶人员视觉绩效、船舶避碰行为、通航光环境条件等 3 大方面筛选出 19 个评价指标,建立了海上光环境评价体系。对后续开展船舶夜航光环境的测量与评价,进而控制海上光污染对船舶夜航安全的影响具有一定的理论意义与

实用价值。

参考文献:

- [1] Saraiji R, Oommen M S. Light pollution index (LPI): an integrated approach to study light pollution with street lighting and facade lighting[J]. Leukos, 2012, 9 (2):127-145.
- [2] Zhu Jinshan, Sun Licheng, Hong Biguang. Influence of background brightness and dazzle on collision avoidance of night navigation ships [J]. Journal of Dalian Maritime University, 2003, 29(03):48-51.
朱金善,孙立成,洪碧光. 背景亮度及眩光对夜航船舶避碰的影响[J]. 大连海事大学学报, 2003, 29(03): 48-51.
- [3] Weng Jianjun, Zhou Yang. Analysis of impact of light pollution at sea upon ships navigation safety at sea and countermeasures [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2013, 37(03):549-552.
翁建军,周阳. 海上光污染对船舶夜航安全的影响及对策分析[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版, 2013, 37(03):549-552.
- [4] Li Yin. Study on impact of light pollution at sea upon ships collision avoidance at night [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2010.
李印. 海上光污染对夜航船舶避碰影响的研究[D]. 大连:大连海事大学, 2010.
- [5] Zhu Jinshan, Sun Licheng, Dai Ran, et al. Sea light pollution and some amending proposals for the current "international regulation for preventing collisions at sea"[J]. Navigation of China, 2006(02):29-33.
朱金善,孙立成,戴冉,等. 海上光污染及对现行《国际海上避碰规则》的修改意见[J]. 中国航海, 2006 (02):29-33.
- [6] Ji Zhuoying, Shao Hong, Lin Yandan. The effect of adaptation time, adaptation luminance and glare on contrast of human's eye[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2006, 17(04):1-15.
季卓莺,邵红,林燕丹. 暗适应时间、背景亮度和眩光对人眼对比度阈值影响的探讨[J]. 照明工程学报, 2006, 17(04):1-15.
- [7] Zhang Duo. The processing of lookout information and the occurrence of maritime accidents [J]. Journal of Qingdao Ocean Shipping Mariners College, 2011, 32 (04):1-4, 13.
张铎. 海上瞭望信息的处理与海事事故的发生[J]. 青岛远洋船员学院学报, 2011, 32(04):1-4, 13.
- [8] Li Sen. The study on the speed limitations of vessels in the port [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015.
李森. 船舶港内航行限制航速研究[D]. 大连:大连海事大学, 2015.
- [9] The Illuminating Engineering Society of North America. The iesna lighting handbook[M]. 9th ed. Washington: Mark Stanley Rea, 2000.
- [10] Shi Fenzhou, Wang Yu, Bao Dehai. The effect of illumination light source's frequency flicker on vision function[J]. Chinese Journal of Nautical Medicine and Hyperbaric Medicine, 2001, 8(02):72-74.
时粉周,王珏,包德海. 照明光源的频闪对视功能的影响[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2001, 8 (02):72-74.
- [11] Gao Zhonglan. The preliminary discussion of flicker problem for electric light source[J]. China Association of Lighting Industry Lighting Journal, 2015 (06):15-18.
高忠兰. 电光源频闪问题的初步探讨[J]. 中国照明电器, 2015(06):15-18.