

照明光污染防治现状及对中国的建议

郝 影^{1,2} 贾大功² 刘圣春³ 郑皓皓⁴ 白 煜⁵ 李宪同^{4#}

(1.天津市生态环境监测中心,天津 300191;

2.天津大学精密仪器与光电子工程学院,微光机电系统技术教育部重点实验室(天津大学),天津 300072;

3.天津商业大学机械工程学院,天津 300134;4.中国环境监测总站,北京 100012;5.中国环境保护产业协会,北京 100037)

摘要 随着城市建设加快,照明技术快速发展,人造光源导致的光污染问题日益凸显,已经成为城市环境污染防治的新领域。光污染防治工作在国外已开展了几十年,具有丰富的管理经验和技术基础。在综述国外照明光污染研究进展的基础上,指出中国光污染防治管理现状及问题,并提出对策与建议,为国家综合施策、统筹推进光污染防治,建立国家光环境监督管理体系提供科学依据。

关键词 照明 光污染 人造光源 光环境监管

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2024.01.022

Current situation of illumination light pollution prevention and control and suggestions for China HAO Ying^{1,2}, JIA Dagong², LIU Shengchun³, ZHENG Haohao⁴, BAI Yu⁵, LI Xiantong⁴. (1. Tianjin Eco-Environmental Monitoring Center, Tianjin 300191; 2. School of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Key Laboratory of Micro Opto-Electro Mechanical System Technology, Tianjin University, Ministry of Education, Tianjin 300072; 3. School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134; 4. China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012; 5. China Association of Environmental Protection Industry, Beijing 100037)

Abstract: With the development of urban construction, the illumination technologies develop quickly. As a result, problems of light pollution by artificial illuminants have become increasingly prominent and become a new field of urban environmental pollution prevention and control. The prevention and control work of light pollution has been carried out abroad for decades, accumulated rich management experience and technical basis. Therefore, research progress of light pollution abroad was summarized firstly, and then the proposals were put forward according to the current situation and problems in China, so as to provide scientific reference for China's light environmental supervision and management system, and promote the prevention and control of light pollution in a comprehensive way.

Keywords: illumination; light pollution; artificial illuminants; light environmental supervision and management

人工照明是世界的重要发明之一,给社会带来了诸多便利。然而,照明技术的发展,也带来了光污染问题。光污染研究至今至少已有几十年历史,从最初只是观测对生物的负面影响,逐步向对生态系统和人体健康的影响拓展^[1-6],研究技术从观测发展到了模型模拟、卫星遥感等^[7-8],研究技术的进步为政策措施制定与实施提供了依据和保障^[9-13]。如国际暗天空协会和北美照明工程协会联合制定《照明示范条例》来推广合理照明技术。国际照明委员会(CIE)制定《室外照明设施干扰光影响限制指南》来限制光污染,并定义光污染为“因特定环境下光照的数量、方向或者光谱分布而导致人烦恼、不舒适、精神涣散或者减低人识别环境中重要信息能力的光

行为。”

目前,光污染还没有统一的分类方法,根据不同的目的可以进行不同的分类,国际上比较流行的分类方法有两种。一是 CIE 按照光色和昼夜时段进行的分类,包括白亮污染、人工白昼和彩光污染,其污染光源来源可分为自然光源(太阳光)和人造光源两类^[14]。二是国际暗天空协会根据光污染对人和环境的影响进行的分类,包括眩光、天空辉光、光入侵和杂散光^[15]。以上两种分类既有对应又有交叉。我国主要针对不同照明用途进行具体分类,如媒体立面墙、发光二极管(LED)广告屏、景观照明、道路照明等光污染。

随着照明技术的迅速发展和应用,我国人造光

第一作者:郝 影,女,1984 年生,硕士,高级工程师,研究方向为物理因素污染控制与评价。# 通讯作者。

源造成的污染问题日益严峻,光污染的形式也更加多种多样^[16-17],照明光污染正在成为我国城市光污染防治的新领域^[18-19]。因此,本研究先重点调研国外由照明导致的光污染防治政策,然后结合我国现有光污染法律法规和标准,为我国现阶段开展照明光污染管理提出对策与建议,以期统筹推进光污染防治,尽快建立国家光环境监管机制。

1 照明光污染研究进展

照明来源不同,导致光污染现象和污染特征不同。国际暗天空协会认为,光污染会对人类、野生动物和生态环境造成严重的后果。光污染无论在广域还是局域,都能够带来较大的负面影响。在广域方面,天空辉光会导致天空发亮,影响天文观测和研究,最早被认定为光污染。学者为构建和完善天空辉光污染传播模型开展了长期的研究。光入侵、眩光等可认为是局域光污染,其产生的交通安全、身体健康、能源浪费等问题不容忽视。

1974年,TURNROSE^[20]测量了天空辉光污染并初步建立了传播的模拟模型。20世纪末,“卫星图像和世界人工夜天空亮度图集”问世,以天空图集为基础的地空光污染大尺度区域建模开始被广泛研究^[21-22],之后又有研究发现光污染强度与人口密度呈现正相关关系^[23]。2018年,DURISCOE等^[24]提出了建立天空大区域光污染模拟的3个主要任务和高置信度评估流程。2020年,KOLLÁTH等^[25]提出了利用数码相机测量夜空光污染的新方法,以及对不同成像系统的校正方法,并验证了该方法的科学性。GALLAWAY等^[26]指出,光污染与其他类型的污染类似,人口和国内生产总值(GDP)都是重要的解释变量。QUEK等^[27]推荐采用混合指标调查和评价光环境。CZARNECKA等^[28]通过比较发现,光源数量是造成广域光污染的主要因素,影响强度取决于照明时长、灯具数量和预防措施;色温、主波长、峰值波长和光感受器的刺激则是描述局域光污染的重要数据。ALAMÚS等^[29]指出,人眼高度处接收的光谱辐照度是人类夜间暴露于人造光并对健康产生影响程度的主要评估指标。

光污染被认为是一种能量污染,能量污染的局域性、瞬时性和可感受性等特点决定了其不同于水、气、土等环境污染要素的管理模式,然而光污染产生的广域影响又使其不同于噪声、振动等能量污染,因此学者们对光污染的防治策略展开了持续的讨论。VOTSI等^[30]首次提出了分区域控制光污染的方

法,提出有人区域与无人区域,需要照明区域与无需照明区域分类控制思想,既关注光污染对人的影响,也关注光污染对无人区的生态影响。BARÁ等^[31]则提出了更明确的光污染管控总体思路:建议政府将红线(可以是光环境质量限值)作为国家或地区的光环境宏观管理目标,进行总量控制,结合光源特点进行控制(如夜间限制光源发光的最大允许值),实施国家牵头、地方落实的自上而下的光污染防治政策体系。因此,光污染的管理政策一般都需要考虑光污染的广域和局域双重影响,需要从对人和生态的两个方面影响进行控制。

2 国外管理经验借鉴

调研国外先进国家或地区的光污染管理经验发现,尽管不同地域的管控方式有所不同,但总体思路都是结合了广域和局域两个方面,形成了分类管控、立法先行的普遍共识。

2.1 源头控制光污染

2011年,欧盟修订了道路照明和交通信号的绿色公共采购(GPP)标准,通过控制源头光线排放,制定统一的道路照明和交通信号产品采购标准,达到控制光污染的目的。GPP标准要求照明设备的色温必须低于3 000 K,必须具备自动调光和熄灯程序;要求在生态敏感区域,灯具的G指标不低于1.5,在天文台附近则至少达到2.0。

2.2 国家立法

一些欧洲国家根据本国实际较早颁布了光污染防治相关法律法规或管理措施。2003年,捷克实施的《大气保护法》在全球率先规定了光害防治条款,明令禁止任何个人与机构使用或装配超过规定标准的照明设备,建筑物的反射光或者照明光不得影响周围居住者的个人生活空间和工作空间,禁止光源不按规定照向天空^[32]。2005年,英国发布的《清洁邻舍及环境法令》增加了“人为光线滋扰”相关条款,保障受光入侵困扰的人能够得到赔偿,在实践中注重对民用建筑、停车场、体育设施等可能产生光污染的地方进行管理,如要求后半夜关灯,要求地方管理部门重视光污染等^[33]。

综合立法方面,法国是光污染管理做得较好的国家之一。2010年法国《环境法典》纳入光污染要素^[34],设置《光污染的预防》章节,要求成立协会制定相关标准规范,针对特定区域,如自然空间和天文观测站点等,提出较为严格的要求;设置《广告、标志和预标志》章节,针对照明广告和照明标志进行管

控。2011 年,法国又制定了《关于防止和限制光污染法令》。2012 年,该法令中还增加了照明标志和广告的光污染限制。2019 年,法国生态和包容性转型部进一步颁布实施了《关于预防、减少和限制光污染法》,旨在预防、减少和限制光污染对人、动物、植物及生态系统的过度干扰,对能源的浪费,对夜空观测的负面影响,共有两个部分组成:一是强制执行标准,规定了户外照明装置的设计和操作技术要求;二是对法国的 11 个天文观测站点进行了最高级别的光环境保护^[35]。

专门立法方面,斯洛文尼亚为保护夜空不受光污染侵害,2007 年制定了世界上首部国家光污染防治专门法案,该法规定所有的照明设备必须有灯罩遮挡,一方面对光照起到拦截作用,遏制其肆意地射向天空、保护星空,另一方面使光照在一定范围内集聚,最大程度地减少能源浪费^[36]。韩国也对光污染进行了专门立法,并且配套制定了相关标准规范。2013 年,韩国出台了《人工照明光污染防治法》,分别于 2017、2020 年进行了两次修订,规定了国家、地方政府和国民的责任,国家负责制定综合政策,地方政府采取防治措施,国民参与配合光污染防治。该法以行为限制和罚款为主,对夜间照明光污染采取严厉手段,局域管控上明确了大型照明设施的位置、亮度、运行时间等,广域管控上要求地方政府制定并实施光污染预防计划,根据地区的生态价值和国民意愿进行照明区域划分,实现光环境分区管理,并执行光辐射容许标准^[37]。

日本主要通过制定标准规范、技术指南等进行光污染防治,并提出进行天空辉光监测,从标准规范层面加强对室外照明引发的光污染管控。日本对光污染危害的认识比较早,1994 年颁布的《环境基本计划》就对光污染概念进行了明确^[38]。1998 年,日本环境省颁布了《光害对策指南》,并跟随 CIE 的《室外照明设施干扰光影响限制指南》的修订分别于 2006、2021 年进行了两次修订,新修订的指南依据 CIE 对城市光环境的四级分区管理,严格限制灯具光强、居民窗口的垂直照度、屋外显示物照明灯的亮度最大值等,并通过限制上射光通比达到减少天空辉光和节省能源的目的。2001 年,日本环境省颁布了《防治光污染制度指南》,全面介绍了光污染的防治工作。2002 年,日本灯具工业会为减少光污染编写了《合理使用灯具指南》,对道路、街道、公园、广场和投光灯具的合理使用分别作了规定^[39]。

2.3 地方立法

意大利有 15 个大区制定并实施了适用于本区的光污染防治法律,涵盖了超过三分之二的意大利人口和主要城市(如罗马、米兰、威尼斯、佛罗伦萨、博洛尼亚、那不勒斯)。此外,意大利还有 3 项技术标准中直接或间接地涉及到光污染防治^[40]。这些地方法律法规大都规定了禁止过度照明,并对照明装置光照射方向和亮度进行了限制,旨在减轻光污染。

美国也没有从国家层面针对光污染防治进行立法,而是由州等地方政府制定。目前,美国至少有 19 个州及哥伦比亚特区和波多黎各制定了减少光污染的法律,如犹他州的《光污染防治法》、印第安纳州的《户外照明污染防治法》、密歇根州的《室外照明法案》、新墨西哥州的《夜空保护专门法》、康涅狄格州的《黑夜天空法》、阿肯色州的《夜间天空保护法》等。此外,新罕布什尔州将“保护黑暗天空”作为优先发展的乡村特色;佛罗里达州考虑到海滨照明对鸟类和海洋生物的影响,制定了保护海龟孵化的政策^[41-42]。

地方立法的依据一般是国家标准或国际上通用的条例,立法的主要内容根据目的不同而不同,大多是为了节能降耗、公共安全、审美兴趣和天文研究,通常采用的管理措施包括控制夜间建筑设施或公共道路上的户外照明设备。

3 我国光污染防治管理现状及问题

3.1 我国光污染防治管理现状

我国在《环境保护法》第四十二条中明确了光辐射为环境污染的具体形式之一,表明我国已关注到光对环境的污染和危害。生态环境部开展了“光污染政策研究”系列项目,取得了很多进展^[43-44]。总体而言,我国的光污染较为严重,光污染来源主要包括商业显示牌和 LED 显示屏、场馆和道路照明、建筑物表面反光、城市夜景照明和装饰霓虹灯、工业电焊切割、户外彩光舞台、行驶车辆灯光、路灯卡口和道路标志牌等。我国主要基于 CIE 的《室外照明设施干扰光影响限制指南》制定了一些标准规范,但还不成熟,如对于“光污染”的定义,《室外照明干扰光限制规范》(GB/T 35626—2017)定义为人工光各种有害影响总和的通称;《室外作业场地照明设计标准》(GB 50582—2010)定义为干扰光或过量的光辐射(含可见光、紫外线和红外光辐射)对人和生态环境造成的负面影响的总称;《城市夜景照明设计规范》

(JGJ/T 163—2008)定义为干扰光或过量的光辐射(含可见光、紫外和红外光辐射)对人、生态环境和天文观测等造成的负面影响的总称。

我国现行法律法规鲜有针对光污染防治的专门立法^[45]。不少地方省份也仅在环境保护相关条例中提到防止光污染,但缺少具体的可以落地实施的管理细则。值得一提的是,2022 年实施的《上海市环境保护条例》明确了光污染的执法主体和监管内容,开创了国内光污染纳入专门立法的先河。此外,北京、天津、上海、广州、深圳、浙江等地也针对城市景观照明、玻璃幕墙、广告牌等出台了照明、建筑设计、广告牌设置等方面的管理办法或规定。如上海印发了《上海市景观照明总体规划》《上海市户外显示设施设置阵地规划》,体现了光污染防治须“规划先行”的思想;浙江颁布的《浙江省城市市容和环境卫生管理条例》中规定,城市照明灯光、广告灯光、景

观灯光和建筑物、构筑物外墙玻璃的设置应当符合城市容貌标准和环境保护要求;澳门于 2008 年制定了《广告招牌、建筑物装饰灯和户外电子显示屏光污染控制指引》,又于 2011、2014 年进行了两次修订,增加了相关发光设施的控制要求及可测量的标准,提高了可操作性和控制成效。

我国针对室外照明、广告和标识、LED 显示屏以及玻璃幕墙等的光污染防治制定了较多国家、行业、团体和地方标准,现总结于表 1 中。这些标准一定程度上支撑了我国光污染防治工作的开展。

3.2 我国光污染防治工作中存在的主要问题

我国虽然已在法律法规和标准方面开始关注光污染问题,但是相比国外的光污染防治工作还存在很多不足,具体表现在:

(1) 照明规划领域的光污染控制落后于国外先进水平。首先,我国的光环境分区标准与国际相关

表 1 我国光污染相关标准汇总
Table 1 Summary of light pollution standards in China

类别		标准名称	标准主要内容
国家标准		玻璃幕墙光热性能 (GB/T 18091—2015)	①一般情况可见光反射比不大于 0.30;②T 型路口或正对直线的路口,可见光反射比不大于 0.16;③金属高光泽材料可见光反射比不大于 0.30
		LED 显示屏干扰光现场测量方法 (GB/T 34973—2017)	规定了 LED 显示屏干扰光照度、亮度等测量的具体要求
		室外照明干扰光限制规范 (GB/T 35626—2017)	按干扰光造成的影响和干扰光设备来源将光污染分成不同类别,综合照度、亮度、阈值增量、上设光通比等指标控制各类光污染
		光环境评价方法 (GB/T 12454—2017)	建立了包括基于测量结果和人体主观评价的方法
		LED 显示屏干扰光评价要求 (GB/T 36101—2018)	按照不同光环境分区和显示屏类型,提出了 LED 显示屏干扰光的限值要求
行业标准		室外照明干扰光测量规范 (GB/T 38439—2019)	明确了居住区干扰光、行人干扰光和夜空光污染的测量方法
		城市夜景照明设计规范 (JGJ/T 163—2008)	明确了道路、广场和公园等区域的照明亮度、照度等基本要求
		城市道路照明设计标准 (CJJ 45—2015)	按照国际标准,将道路分成不同类别并分类设计照明标准
团体标准		建筑 LED 景观照明工程技术规程 (T/CECS 501—2018)	明确了建筑室内表面照明功率密度值等
地方标准	北京	室外照明干扰光限制规范 (DB11/T 731—2010)	对各类干扰光标准限值进行控制
		城市景观照明技术规范 第 3 部分:干扰光限制 (DB11/T 388.3—2015)	对医院、学校等重点区域的城市景观照明干扰光进行了防护
		绿色建筑工程验收规范 (DB11/T 1315—2015)	将建筑施工过程中的光污染纳入了考量
地方标准	天津	天津市城市夜景照明工程技术标准 (DB/T 29—71—2021)	规定了城市夜景照明工程的照明设计、照明节能和光污染控制要求
	深圳	深圳市 LED 道路照明工程技术规范 (SJG 22—2011)	明确了路面平均亮度、平均照度和环境比的最小值
	上海	上海市城市环境(装饰)照明规范 (DB31/T 316—2012)	明确了灯具泛光照明、自发光广告建议和设计应用指南等
	重庆	城市夜景照明技术规范 (DB50/T 234—2006)	提出了控制夜景照明干扰光和光污染的建议值
	陕西	室外光污染限值及监测方法 (DB61/T 1033—2016)	提出了室外光污染照度和亮度监测的新方法

要求不符。其次,我国各地城市规划中的分区方法差异较大。第三,光源的全生命周期管控措施缺失。我国的光源大多是基于照明亮度是否满足环境要求而进行设计的,在城市光源设计的前期规划、中期建设和后期维护管理中,虽然一定程度上考虑了光污染,但缺少具体的防治规定,特别是突出光污染源如商业显示屏、LED 显示屏、道路路口等。

(2) 国家监管体系尚未建立。与欧洲、美国、日本、韩国等发达国家或地区相比,我国在光污染立法方面比较滞后。国家层面缺乏光污染防治专章和专门立法。光污染的定义不统一,导致光辐射要素的环境管理配套政策缺失,部门间管理职责难以厘清,无法形成协同管理体系。这也造成了地方一些城市先试先行取得的进展有限,难以发挥统筹监管的作用。

(3) 国家环境监管标准尚不完备。我国目前的标准体系光环境分区方法不统一,导致不同环境分区的光污染标准限值有较大争议^[46];尚未制定适用于综合保护生态环境的光污染限制标准,数据缺少质量保证和质量控制要求;现有标准在监测实施、污染指标控制、限值定量、光环境分区以及监测设备使用上,同国外发达国家存在较大差距。

4 对策与建议

- (1) 规划先行和产品源头控制光污染
- 光污染造成能源的巨大浪费,我国应尽快统一光环境保护、光污染控制和照明规划设计等领域的管控目标,实现光环境科学规划和管理。在碳达峰、碳中和背景下,借鉴发达国家经验,以减少碳排放、降低光污染影响为主要目的,推动照明规划领域光污染控制工作,如开展照明工程的环境后评估,对高耗能照明实施 LED 照明替代计划等。
- (2) 推进建立光污染防治监督管理体系
- 建议开展光污染管理政策研究,特别是要研究综合立法或专门立法的可行性,从而推进光污染防治立法进程,本研究提出我国光污染防治管理体系框架如图 1 所示,建议在光污染问题突出的经济发达地区进行试点,通过分析典型案例,梳理出当前城市光污染管理的主要职责和内容,在结合各地先试先行进展和地方政策、法律法规的实施效果基础上,逐步建立起光污染防治监管体系,适时出台国家光污染防治指导意见。
- (3) 推动光污染标准完善和监测新技术研究
- 完善现有标准中的数据质量保证和质量控制要求,提升监测的质量和效率。系统研发适合户外监

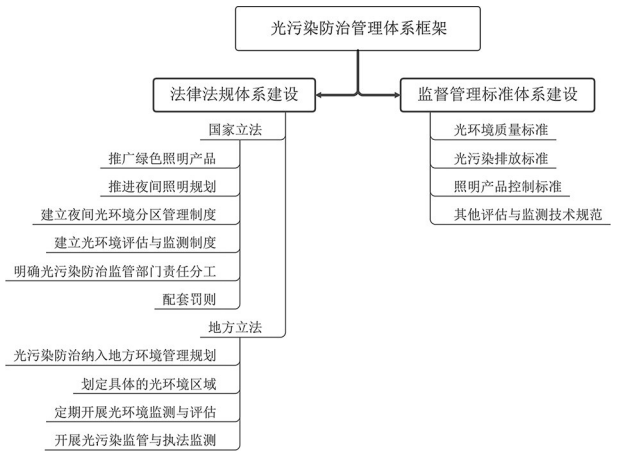


图 1 我国光污染防治体系框架
 Fig.1 Framework of light pollution prevention and control system for China

测的光污染自动监测仪器设备,持续开展光污染基础监测,掌握污染机理,通过工作试点,制定夜间光环境监测方案。

5 结 语

目前,中国对照明光污染防治的监管还较为薄弱,尚未对光污染防治专门立法。上位法的缺失导致相关标准规范颁布滞后,执行效果大打折扣,因此光污染的社会源头预防就不足,难以达成治理共识。调研欧洲、北美洲及亚洲一些主要发达国家或地区的光污染防治进展发现,这些发达国家或地区大都根据自身情况制定了光污染防治或光环境保护法律法规或政策,颁布了可能产生光污染的产品技术标准和排放干扰光的限制标准,有的还进行了细致的光环境分区管控,甚至在光环境重点保护区域设立暗天空公园。因此,中国应积极借鉴国外光污染防治先进经验来解决城市化快速发展过程中带来的光污染问题,营造舒适、绿色、和谐的光环境。

参考文献:

[1] PUSCHNIG J, POSCH T, UTTENTHALER S. Night sky photometry and spectroscopy performed at the Vienna University Observatory[J].Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 2014, 139: 64-75.

[2] RABAZA O, GALADI ENRÍQUEZ D, ESTRELLA A E, et al. All-sky brightness monitoring of light pollution with astronomical methods[J].Journal of Environmental Management, 2010, 91(6): 1278-1287.

[3] PARK C Y. Night light pollution and ocular fatigue[J].Journal of Korean Medical Science, 2018, 33(38): e257.

[4] WALKER W H, BUMGARNER J R, WALTON J C, et al. Light pollution and cancer[J].International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(24): 9360.

[5] JAMES P, BERTRAND K A, HART J E, et al. Outdoor light at night and breast cancer incidence in the nurses' health study

- II [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2017, 125 (8): 087010.
- [6] NGARAMBE J, LIM H S, KIM G. Light pollution: is there an environmental Kuznets curve? [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2018, 42: 337-343.
- [7] SVECHKINA A, PORTNOV B A, TROP T. The impact of artificial light at night on human and ecosystem health: a systematic literature review [J]. *Landscape Ecology*, 2020, 35: 1725-1742.
- [8] DURISCOE D M. Photometric indicators of visual night sky quality derived from all-sky brightness maps [J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2016, 181: 33-45.
- [9] CHEON S H, KIM J A. Quantifying the influence of urban sources on night light emissions [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, 204: 103936.
- [10] KOLLÁTH Z, DOMENY A, KOLLÁTH K, et al. Qualifying lighting remodelling in a Hungarian city based on light pollution effects [J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2016, 181: 46-51.
- [11] NGARAMBE J, KIM G. Sustainable lighting policies: the contribution of advertisement and decorative lighting to local light pollution in Seoul, South Korea [J]. *Sustainability*, 2018, 10(4): 1007.
- [12] SUNG C Y. Examining the effects of vertical outdoor built environment characteristics on indoor light pollution [J]. *Building and Environment*, 2022, 210: 108724.
- [13] ZISSIS G. Sustainable lighting and light pollution: a critical issue for the present generation, a challenge to the future [J]. *Sustainability*, 2020, 12(11): 4552.
- [14] 郝影, 李文君, 张朋, 等. 国内外光污染研究现状综述 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(增刊 1): 273-275.
- [15] International Dark-Sky Association. Our strategy [EB/OL]. [2023-03-03]. <https://www.darksky.org/our-strategy/>.
- [16] 张明宇. 我国城市光污染研究回顾 [J]. *照明工程学报*, 2019, 30(5): 27-31.
- [17] 戴世滔, 白文江, 杨岭. 城市光污染问题探究及其应对措施 [J]. *城市建筑*, 2020, 17(6): 35-36.
- [18] 张式军. 光污染——一种新型的环境污染 [J]. *城市问题*, 2004 (6): 31-34, 42.
- [19] 王东, 罗启秀, 孔令丰. 光污染防治立法的研究及探讨 [J]. *环境科学与管理*, 2011, 36(2): 36-40.
- [20] TURNROSE B E. Absolute spectral energy distribution of the night sky at palomar and mount wilson observatories [J]. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 1974, 86 (512): 545-551.
- [21] BENNIE J, DAVIES T W, DUFFY J P, et al. Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights [J]. *Scientific Reports*, 2014, 4: 3789.
- [22] FALCHI F, CINZANO P, DURISCOE D, et al. The new world atlas of artificial night sky brightness [J]. *Science Advances*, 2016, 2(6): e1600377.
- [23] HU Z, HU H, HUANG Y. Association between nighttime artificial light pollution and sea turtle nest density along Florida coast: a geospatial study using VIIRS remote sensing data [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 239: 30-42.
- [24] DURISCOE D M, ANDERSON S J, LUGINBUHL C B, et al. A simplified model of all-sky artificial sky glow derived from VIIRS day/night band data [J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2018, 214: 133-145.
- [25] KOLLÁTH Z, COOL A, JECHOW A, et al. Introducing the dark sky unit for multi-spectral measurement of the night sky quality with commercial digital cameras [J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2020, 253: 107162.
- [26] GALLAWAY T, OLSEN R N, MITCHELL D M. The economics of global light pollution [J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(3): 658-665.
- [27] QUEK G, WIENOLD J, KHANIE M S, et al. Comparing performance of discomfort glare metrics in high and low adaptation levels [J]. *Building and Environment*, 2021, 206: 108335.
- [28] CZARNECKA K, BLAŹEJCZYK K, MORITA T. Characteristics of light pollution – a case study of Warsaw (Poland) and Fukuoka (Japan) [J]. *Environmental Pollution*, 2021, 291: 118113.
- [29] ALAMÚS R, BARÁ S, CORBERA J, et al. Ground-based hyperspectral analysis of the urban nightscape [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, 124: 16-26.
- [30] VOTSI N E P, KALLIMANIS A S, PANTIS I D. An environmental index of noise and light pollution at EU by spatial correlation of quiet and unlit areas [J]. *Environmental Pollution*, 2017, 221: 459-469.
- [31] BARÁ S, FALCHI F, LIMA R C, et al. Keeping light pollution at bay: a red-lines, target values, top-down approach [J]. *Environmental Challenges*, 2021, 5: 100212.
- [32] 裴忠慧. 光污染防治立法研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [33] 范成坤. 我国光污染防治立法研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [34] 付莎, 魏新渝. 国际光污染防治管理经验及对我国的启示 [J]. *环境保护*, 2021, 49(22): 71-75.
- [35] Légifrance. Environmental code [EB/OL]. [2023-03-15]. <https://www.legifrance.gouv.fr/>.
- [36] MARCHAND T. Europe's unique light pollution law: dark skies over Slovenia [EB/OL]. [2023-03-03]. <https://cafebabel.com/en/article/europes-unique-light-pollution-law-dark-skies-over-slovenia-5ae00c2df723b35a145e84bc/>.
- [37] Korean Law Information Center. Artificial lighting and light pollution prevention and control method [EB/OL]. [2023-03-15]. <https://www.law.go.kr/>.
- [38] 邵力刚, 刘蓓. 城市光污染及其防治措施 [J]. *灯与照明*, 2006 (1): 13-15.
- [39] Ministry of the Environment Government of Japan. Light pollution control guidelines [EB/OL]. [2023-03-15]. <http://www.env.go.jp/air/hikarigai-gaido-R3.pdf>.
- [40] PIERANTONIO C. Italian web sites about light pollution [EB/OL]. [2023-03-15]. <http://www.lightpollution.it/cinzano/en/page95en.html>.
- [41] American Legal Publishing. Light pollution control [EB/OL]. [2022-03-15]. https://codelibrary.amlegal.com/codes/deweyhumboldt/latest/deweyhum_az/0-0-0-4385.
- [42] 郝影, 张朋, 高峰, 等. 光污染管理政策与 LED 广告屏干扰光限制标准分析 [J]. *中国环境监测*, 2022, 38(3): 199-206.
- [43] 韩正和环监总站近期分别召开光污染防治及大气污染防治两大会议, 部署空气质量管理 [EB/OL]. [2023-03-15]. https://www.xianjichina.com/special/detail_355282.html.
- [44] 光污染防治政策研究报告研讨会在杭州举行 [EB/OL]. [2023-03-13]. https://www.xianjichina.com/special/detail_377276.html.
- [45] 温香彩, 白煜. 光污染防治现状与测量 [M]. 北京: 中国环境集团出版社, 2020.
- [46] 侯小丽. 光污染防治立法研究 [D]. 西安: 长安大学, 2010.