

电气照明



江苏省照明学会主办

THE JIANGSU
ELECTRIC LIGHTING
FIRST QUARTER 2021

1 2021
季刊

BAODE LIGHTING

宝德照明 助您辉煌

BAODE LIGHTING WISHES YOU BRILLIANT



宝德照明

电气照明

ELECTRIC LIGHTING

季刊

2021年第1期(总第119期)

主办单位 江苏省照明学会

编委会主任 杨正名

编委会副主任 李广安 王海波 吕家东

道德宁 姚敦友

(按姓氏笔划排名排序)

编委 于国力 王幸强 王海波

王海鸥 叶幼东 史杰

卢有祥 冯灵芝 刘玉庆

李广安 李先栗 吕家东

陈礼贵 严慈 肖勇强

周文龙 崔一平 郭振涛

顾章明 杨海峰 邹万流

梁人杰 姚敦友 道德宁

薛源

主编 吕家东

责任编辑 肖勇强

总策划 冯灵芝

编辑 吕婷

平面设计 肖勇强

封面题字 甘子光

出版单位 《电气照明》编辑部

地址 江苏省南京市鼓楼区金川门外5号

邮编 210015

电话 (025) 58806897

邮箱 jszmxh@126.com

出版日期 2021年3月15日

本期刊部分文章为转载,仅供内部交流使用,版权归原作者或原期刊所有,如有侵权请联系本刊编辑

目录

技术交流 Technical Communication

01 XT20010009UVC 荧光粉 $\text{YPO}_4\text{Bi}^{3+}$ 的制备及发光性能表征

..... 肖勇强 陈鹏 朱月华 张娜 卓宁泽

09 港珠澳大桥照明工程中的 LED 照明技术

..... 杜金 周士康 陈春根 何孝亮

19 高校教室 LED 照明效果与不同场景光环境需求研究

..... 王贺 薛鹏 梁青璇 赵梦静 赵一凡

行业分析 Industry Analysis

29 2020 年中国照明行业发展综述

..... 温其东

39 LED 照明技术在渔业中的应用及展望

..... 刘鹰

学会动态 ZIES News

57 江苏省照明学会两位照明设计大师被邀请参加“大师光
艺术创意作品展”

58 省照明学会树超聘为“江苏省报废机动车回收资质认定
现场验收评审专家”

UVC 荧光粉 $\text{Y PO}_4:\text{Bi}^{3+}$ 的制备及发光性能表征

肖勇强^{1,2,3}, 陈鹏^{1,2*}, 朱月华^{1,2}, 张娜^{1,2}, 卓宁泽^{1,2}

(1. 南京工业大学电光源材料研究所, 江苏南京 210015

2. 轻工业部南京电光源材料科学研究所, 江苏南京 210015

3. 江苏省照明学会, 江苏南京 210015)

摘要: 采用高温固相法合成了 $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ 杀菌用短波紫外(ultraviolet C,UVC)荧光粉, 利用 X射线粉末衍射仪(XRD)、扫描电镜(SEM)以及荧光光谱(PL)对荧光粉的晶型、表面形貌以及发光性能进行表征。实验结果表明, 样品为四方锆石结构晶体, Bi^{3+} 的掺杂并没有改变荧光粉的晶型; SEM图可以看出样品颗粒均匀, 形貌较好; 在226nm的激发下, Bi^{3+} 离子的最佳掺杂浓度x为0.01, 最佳烧结温度为1200℃, 烧结时间为2h, 荧光粉发射波段在UVC区域, 最佳的发射波长为241nm, 特别适用于紫外杀菌。

关键词: UVC; 荧光粉; 杀菌

中图分类号: O482.31

文献标识码: A

引言

紫外线用于消毒、杀菌已经多年, 1970年以后, 紫外杀菌技术开始逐步应用于污水、工业消毒领域^[1-2]。之所以可以利用紫外杀菌, 主要是因为紫外线对微生物的核酸可以产生光化学危害, 去掉其繁殖能力进行灭活, 使其不能分裂复制; 除此之外, 紫外线还可引起微生物其他结构的破坏, 至其自然死亡^[3]。而紫外光 (ultraviolet, UV) 按照波长又可分为长波紫外光(ultraviolet A, UVA) (315-400nm)、中波紫外线(ultraviolet B, UVB) (280-315nm)、短波紫外线

(ultraviolet C,UVC) (200-280nm) 和真空紫外线 (100-200nm) 4段, 其中可以穿过臭氧保护层和云层达到地球表面的只有UVA和UVB, 但其处于微生物吸收峰外, 属于无效杀菌紫外光。而杀菌作用最强的是UVC, 其处于微生物吸收峰范围内, 可在几秒内破坏微生物结构, 被称为紫外线C消毒技术^[4]。

目前, 常见的紫外线光源绝大多数是汞灯, 通过电极放电激励或高频激励汞原子, 当汞原子从激发态回到基态, 进而产生185nm, 253nm或365nm的单一紫外线^[5],

导致汞灯的应用效率很低, 灭菌活性较差; 此外, 所有汞灯的工作物质都是汞蒸气, 有剧毒, 不利于环保, 故开发低成本、无污染的高效 UVC 紫外光源是杀菌领域的主要趋势[6-7]。目前被广泛看好的汞灯替代光源是 UV-LED, 其无汞、节能、便携的特点受到人们的关注, 但其在 UVC 波段输出功率才几个 mW, 寿命短, 限制了其应用[8-9]。而采用电子束激发紫外荧光粉发出需要的 UVA、UVB 或 UVC 紫外光, 发光质量高, 转换效率超过 10%, 且无污染、绿色环保, 得到了研究者的广泛关注[10]。

本文采用 Bi^{3+} 激活磷酸铋, 得到 UVC 紫外荧光粉, 可用于紫外杀菌, 具有较好的发展前景。稀土磷酸盐因具有较好的物理化学稳定性, 在各种各样的稀土发光化合物中, 成为重点研究的对象。 YPO_4 晶体属四方晶系, 具有磷铋矿结构, Bi^{3+} 等镧系离子能够取代部分 Y^{3+} 掺杂, 进入 YPO_4 基质, 达到发光目的[11-12]。合成这一类材料的方法有众多, 如微波法、沉淀法、水热法、溶胶-凝胶法、熔盐法[13-19]等, 高温固相反应法合成工艺简便, 合成出的荧光粉结晶性好, 发光亮度高, 本文通过选用高纯原料和优化的工艺配方, 采用高温固相法合成, 经过球磨工艺得到合适粒径的 $\text{YPO}_4:\text{Bi}^{3+}$ 荧光粉, 主要研究了 Bi^{3+} 离子的摩尔掺杂量、反应时间以及反应温度对结晶性能与发光性能的影响, 从中找出最佳的反应条件。

1 实验部分

1.1 主要试剂和仪器

主要试剂: 氧化铋 (Y_2O_3 , 济宁天亿新材料有限公司) ; 五水合硝酸铋

($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 南京化学试剂股份有限公司) ; 磷酸二氢铵 ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, 南京化学试剂股份有限公司) ; 碳酸锂 (Li_2CO_3 , 南京化学试剂股份有限公司) 。

主要仪器: X 射线衍射仪 (Bruker D8, 德国 Bruker 公司, 辐射源为 $\text{Cu-K}\alpha$, $\lambda = 0.15406 \text{ nm}$, 工作电压: 40 KV, 工作电流: 40 mA, 扫描范围: $10 \leq 2\theta \leq 90$) ; 荧光分光光度计 (RF-6000, 日本岛津公司), 测试光谱扫描范围: 200~700 nm, 激发和发射狭缝宽度: $d = 1.0 \text{ nm}$) ; 场发射扫描电镜 (JSF-6700, 日本电子 JEOL 公司); 高温马弗炉 (SHF.M10/13, 宜兴前锦炉业有限公司) 。

1.2 实验步骤

本实验采用传统高温固相法成功制备了一系列 $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:x\text{Bi}^{3+}$ 荧光粉。首先按化学计量比准确称量所需药品, 加入一定比例的 Li_2CO_3 作为助熔剂, 充分混合均匀后转移到氧化铝坩埚中, 于一定温度下煅烧一定时间, 自然冷却后研磨过 200 目筛, 即可得到所需样品。

2 结果与讨论

2.1 结晶性能研究

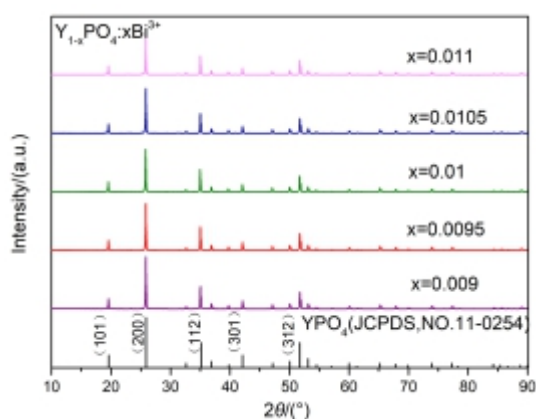


图 1 不同 Bi^{3+} 掺杂浓度的 $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ 的 XRD 图和 YPO_4 的标准 XRD 图

Fig. 1 XRD diagram of $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ with different Bi^{3+} doping concentration and standard XRD diagram of YPO_4

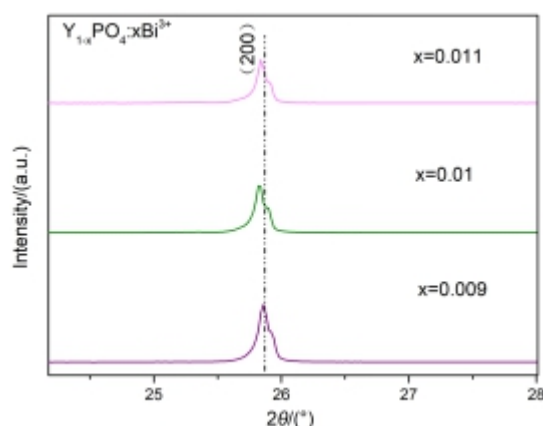


图 2 $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ ($x=0.009, 0.01, 0.011$) 在 (200) 面上的放大 XRD 图

Fig. 2 Enlarged XRD diagram of $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ ($x=0.009, 0.01, 0.011$) on (200) plane

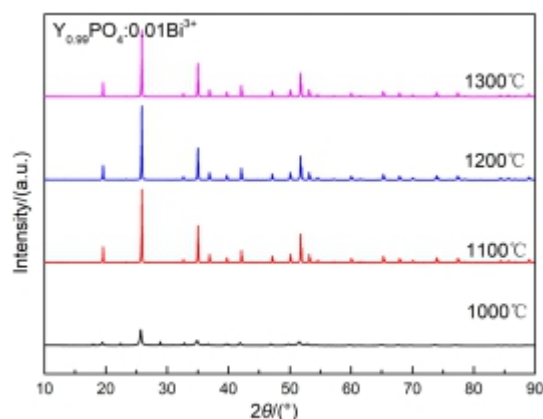


图 3 不同烧结温度的 $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ 的 XRD 图

Fig. 3 XRD diagram of $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ at different sintering temperatures

图 1 是不同 Bi^{3+} 掺杂浓度的 $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ 的 XRD 图和 YPO_4 的标准 JCPDS 卡, 图 2 是 $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ ($x=0.009, 0.01, 0.011$) 在 (200) 面上的放大 XRD 图。从图 1 中可看出样品的衍射峰与 YPO_4 的标准卡谱图相吻合, 每个样品的 X 射线衍射谱均与 YPO_4 所知的四方锆石结构一致, 不存在任何杂质峰。样品衍射峰尖锐, 说明样品结晶性较好。从图 2 可以看出, 随着 Bi^{3+} 离子掺杂浓度的增加, 在 (200) 面, 衍射峰位置向低角方向略有移动, 这可能是由于 $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ 荧光粉中较小的 Y^{3+} (离子半径为 0.090 nm) 位被较大尺寸的 Bi^{3+} (离子半径为 0.096 nm) 所取代而引起的晶格增强。这也进一步说明了少量的 Bi^{3+} 离子可取代进入 Y^{3+} 位, 而不生成任何附加相^[18]。图 3 是不同烧结温度下的 $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ 的 XRD 图, 从图中可看出, 不同烧结温度下, XRD 峰位基本一致, 说明在 1000~1300°C 烧结温度下晶格结构基本没变。但是随着烧结温度的增加, 可明显看出 XRD 衍射峰强度增加, 说明随着烧结温度的增加, 样品的结晶度增强, 其中, 1000°C 时, 样品结晶性最差, 1300°C 时, 结晶度最好。

2.2 $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01 \text{Bi}^{3+}$ 的形貌分析

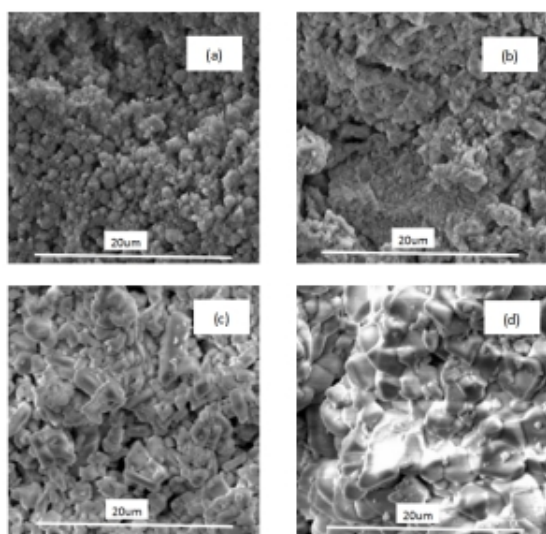


图 4 不同烧结温度下 $Y_{0.99}PO_4: 0.01Bi^{3+}$ 的 SEM 图, 其中(a):1000°C; (b):1100°C; (c):1200°C; (d):1300°C

Fig 4 SEM diagrams of $Y_{0.99}PO_4: 0.01Bi^{3+}$ at different sintering temperatures, in which: (a):1000°C; (b):1100°C; (c):1200°C; (d):1300°C

图 4 是不同烧结温度下 $Y_{0.99}PO_4: 0.01Bi^{3+}$ 的 SEM 图, 从图中可看出, 随着烧结温度的提高, 样品的粒径呈增大趋势, 这说明样品的结晶程度随温度的升高而提高, 与 XRD 结果呈一致性。在烧结温度为 1000°C 时, 样品呈紧密状, 颗粒分布不均匀, 1100°C 时, 颗粒晶体变大, 分布仍不均匀, 从发光特性来说, 均匀规则的形貌对发光的稳定性和发光效率至关重要, 说明在这二个温度下样品发光性能可能不佳。1200°C 时, 样品颗粒分散均匀, 晶体表面相对光滑, 说明该温度下样品结晶性较好。而 1300°C 时, 样品晶粒更大, 但形状不规则, 这可能会影响其发光性能。

2.3 $YPO_4: Bi^{3+}$ 的激发光谱分析

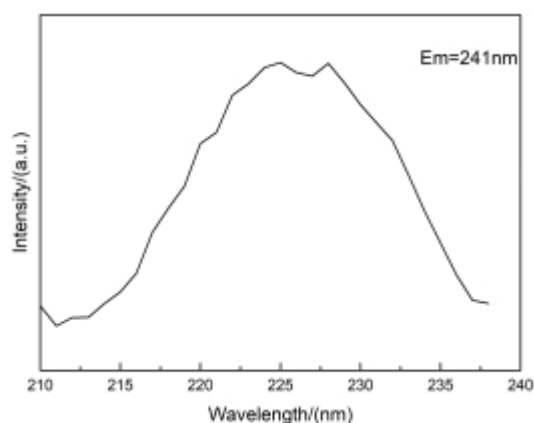


图 5 $YPO_4: Bi^{3+}$ 的激发光谱图

Fig. 5 Excitation spectra of $YPO_4: Bi^{3+}$

图 5 是 $YPO_4: Bi^{3+}$ 的激发光谱图, 因受光谱仪测试范围限制, 这里只能从 210nm 开始读数, 从图中可看出在监测波长为 241nm 时, 激发波长在 215-238nm, 峰位在 226nm 处, 这主要是由于 Bi^{3+} 的 [Xe]6s2 基态构造形成的, 即是由基态构型 6s2 和激发态组态 6s6p 之间的跃迁引起的^[19]。

2.4 激活离子 Bi^{3+} 的掺杂浓度对 $Y_{1-x}PO_4: xBi^{3+}$ 的发光性能影响

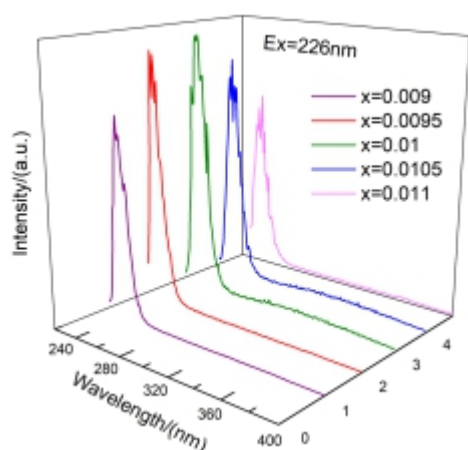


图 6 激活离子 Bi^{3+} 掺杂浓度不同时的 $Y_{1-x}PO_4: xBi^{3+}$ 的发射光谱图

Fig. 6 Emission spectra of $Y_{1-x}PO_4: xBi^{3+}$ with different concentrations of activated ions doped with Bi^{3+}

图 6 是在激发波长为 226nm 时, 激活离子 Bi^{3+} 掺杂浓度不同时的 $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ 的发射光谱图, 从图中可以看出, $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ 在 241nm 处有一个的宽发射带, 这主要是由于 $3\text{P}_1 \rightarrow 1\text{S}_0$ 跃迁形成的。随着激活离子掺杂浓度的增加, 发射光谱强度先增强后减弱, 最佳的掺杂浓度 x 为 0.01。掺杂量继续增加时, 光谱强度不增反而减弱, 这可能是由于浓度淬灭引起的。

2.5 煅烧温度不同对 $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ 的发光性能的影响

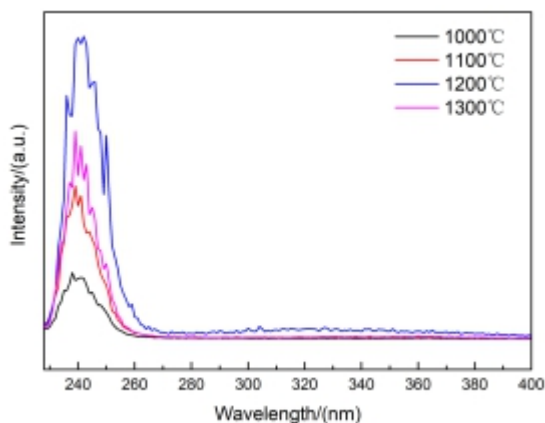


图 7 煅烧温度不同时的 $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ 的发射光谱图
Fig. 7 Emission spectra of $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ at different calcination temperatures

图 7 是在激发波长为 226nm 时, 煅烧温度不同时的 $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ 的发射光谱图, 从图中可以看出, 随着煅烧温度的提高, 样品的发射峰强度先增大后降低, 在 1200°C 时, 样品的发射峰强度达到最大。煅烧温度的提高, 有利于促进样品中各离子的扩散速率, 使反应更加完全, 结晶度更好; 而当温度继续增加到 1300°C 时, 发射光谱强度有所

下降, 这可能是因为过高的温度反而影响晶体构型, 进而使发光强度降低, 该结果与 SEM 结果相一致。

2.6 煅烧时间对 $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ 的发光性能的影响

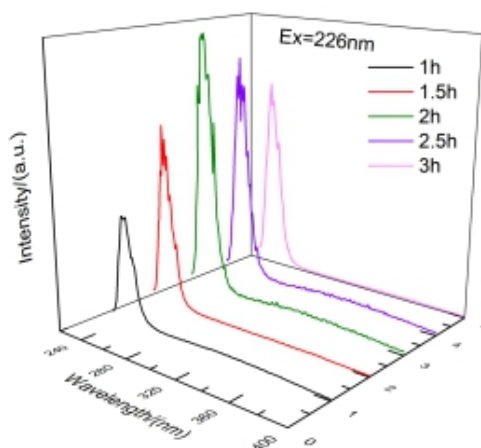


图 8 煅烧时间不同时的 $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ 的发射光谱图
Fig. 8 Emission spectra of $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ with different calcination times

图 8 是在激发波长为 226nm, 煅烧温度 1200°C 下, 煅烧时间不同时的 $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ 的发射光谱图。从图中可以看出, 随着煅烧时间的延长, 样品的发射光谱强度逐渐增大, 这主要是由于烧结时间的延长, 更有利于样品中各离子的充分扩散, 使得样品中各组分反应更加完全, 晶体结晶度提高。当烧结时间为 2h 时, 发射光谱强度达到最大。随着煅烧时间进一步延长, 发射光谱强度又有所下降, 这可能是煅烧时间过长, 造成 $\text{YPO}_4:\text{Bi}^{3+}$ 烧结过度而团聚严重, 从而降低其分散性和发光强度^[20]。由此可见, $\text{Y}_{0.99}\text{PO}_4:0.01\text{Bi}^{3+}$ 的最佳煅烧时间为 2h。

3 结论

本实验通过高温固相法制备了可用于紫外杀菌的磷酸铋荧光粉。XRD 结果表明样品为四方锆石结构晶体, Bi^{3+} 的掺杂并没有改变荧光粉的晶型, SEM 图可以看出该荧光粉的结晶度高, 晶体发育较为完整。光谱分析表明: Bi^{3+} 离子的最佳掺杂浓度在 0.01, 最佳烧结温度为 1200°C , 烧结时间为 2h。在 226nm 的紫外光激发下, 所制备的荧光粉发射波段在 UVC 区域, 最佳的发射波长为 241nm, 特别适用于紫外杀菌。

(来源: 中国稀土学报)

参考文献

- [1] 闫岩, 酃和生, 任志峰. 紫外杀菌技术的研究现状[J]. 石化技术, 2011, 18(4):60-63.
- [2] Park K H, Koak J Y, Kim S K, Han C H, Heo S J. The effect of ultraviolet-C irradiation via a bactericidal ultraviolet sterilizer on an anodized titanium implant: a study in rabbits[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2013, 28(1):57-66.
- [3] 顾雪锋, 杨海真. 污水处理中紫外线消毒技术的研究进展[J]. 环境科技, 2003, 16(3):33-34.
- [4] 李影球, 周光宏, 徐幸莲. 四种非热杀菌技术在肉类中的应用[J]. 食品工业科技, 2013, 34(17):354-359.
- [5] 陈大华, 杨澄学. 紫外线汞灯及其在消毒中的应用[J]. 中国照明电器, 2009(9):19-22.
- [6] Seo I W, Jung J C, Oh B J, Whang K W. Improvement of luminance and luminous efficacy of mercury-free, flat fluorescent lamp by optimizing phosphor profile[J]. Plasma Science, IEEE Transactions on, 2010, 38(5): 1097-1100.
- [7] Uhrlandt D, Bussiahn R, Gorchakov S, Lange H, Loffhagen D, Notzold D. Low-pressure mercury-free plasma light sources: experimental and theoretical perspectives[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2005, 38(17): 3318.
- [8] Kheyrandish A, Taghipour F, Mohseni M. UV-LED radiation modeling and its applications in UV dose determination for water treatment[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2018, 352: 113-121.
- [9] Kheyrandish A, Mohseni M, Fariborz T. Development of a method for the characterization and operation of UV-LED for water treatment[J]. Water Research, 2017, 122:570-579.
- [10] 张学渊, 钟伟杰, 赵健, 梁忠辉, 唐伟, 夏忠平. 一种紫外光屏的制作方法及其制得的紫外光屏和应用[P]. 中国: CN103208737 A, 2013.
- [11] 覃利琴, 陶萍芳, 王荣芳, 陆发权. Tb^{3+} 掺杂稀土 YPO_4 的溶剂热合成及其荧光性能[J]. 玉林师范学院学报, 2015(2):45-50.
- [12] 胡悦, 李蕴乾, 袁鹏, 李天义, 杨艳民. X 射线激发 Pr^{3+} 掺杂 $(\text{La}, \text{Y})\text{PO}_4$ 的 UVC 发光及余辉特性[J]. 中国稀土学报, 2019, 37(3):299-302.
- [13] Xie W, Tian C X, Lyu F C, Wang Z S, Zou C W, Kang F W, Dong H F. Toward temperature-dependent Bi^{3+} -related tunable emission in the $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+}$ phosphor[J]. Journal of American Ceramic Society, 2019, 102:3488-3497.
- [14] Pathak T K, Swart H C, Kroon R E. Influence of Bi doping on the structure and photoluminescence of ZnO phosphor

- synthesized by the combustion method[J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2018, 190:164–171.
- [15] Yousif A, Jafer R M, Som S, Swart H C. The effect of the host lattice on the optical properties of Bi^{3+} in $\text{Ca}_{1-x}\text{O}:\text{Bi}$ and $\text{Ca}_{1-x}(\text{OH})_2:\text{Bi}$ phosphors[J]. *Applied Surface Science*, 2018, 433: 155–159.
- [16] Zhydachevskyy Y, Tsiumra V, Baran M, Lipińska L, Barzowska J, Suchocki A. Ultraviolet to near-infrared down-conversion in Bi^{3+} - Yb^{3+} co-doped YAM phosphor[J]. *Ceramics International*, 2017, 43: 10130–10136.
- [17] Tsiumra V, Krasnikov A, Zazubovich S, Zhydachevskyy Y, Vasylechko L, Baran M, Wachnicki L, Lipińska L, Nikl M, Suchocki A. Crystal structure and luminescence studies of microcrystalline $\text{GGG}:\text{Bi}^{3+}$ and $\text{GGG}:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ as a UV-to-VIS converting phosphor for white LEDs[J]. *Journal of Luminescence*, 2019, 213: 278–289.
- [18] Puchalska M, Zych E, Bolek P. Luminescences of Bi^{3+} and Bi^{2+} ions in Bi-doped CaAl_4O_7 phosphor powders obtained via modified Pechini citrate process[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2019, 806:798-805.
- [19] 管鹤群, 崔俊, 刘丽丽, 彭家庆, 杜甫, 叶信宇. $\text{LuAG}:\text{Ce}$ 荧光粉的熔盐法制备及其发光性能研究[J]. *Journal of The Chinese Society of Rare Earths*, 2019, 37(5):537-544.
- [20] He Y Y, Zhao M Q, Song Y Y, Zhao G Y, Ai X. Effect of Bi^{3+} on fluorescence properties of $\text{YPO}_4:\text{Dy}^{3+}$ phosphors synthesized by a modified chemical co-precipitation method [J]. *Journal of Luminescence*, 2011, 131(6):1144-1148.
- [21] Jüstel T, Huppertz P, Mayr W, Wiechert D U. Temperature-dependent spectra of $\text{YPO}_4:\text{Me}$ ($\text{Me}=\text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Bi}$) [J]. *Journal of Luminescence*, 2004, 106(3–4):225-233.
- [22] 梁雁辉, 黄瑞甜, 李文康. 稀土磷酸盐 $\text{YPO}_4:\text{Ce}^{3+}$ 的合成及其性能研究[J]. *中国照明电器*, 2013(5): 22-25..

Synthesis and luminescent properties of $\text{YPO}_4:\text{Bi}^{3+}$ UVC phosphors

Xiao Yongqiang^{1,2,3}, Chen Peng^{1, 2 *}, Zhu Yuehua^{1,2}, Zhang Na^{1,2}, Zhuo Ningze^{1,2}

1. Institute of Electronic and Photonic Materials of Light Industry, Nanjing 210015, China

2. Research Institute of Electronic and Photonic Materials, Nanjing Tech University, Nanjing 210015, China

3. Jiangsu Illuminating Engineering Society, Nanjing 210015, China

Abstract: $\text{Y}_{1-x}\text{PO}_4:\text{xBi}^{3+}$ UVC phosphors for sterilization were synthesized by high temperature solid phase method. The crystal form, surface morphology and luminescent properties of the phosphors were characterized by XRD, SEM and emission spectroscopy. The results show that the samples are tetragonal zircon crystal, and the doping of Bi^{3+} do not change the crystal

form of phosphors; SEM images show that the sample particles are uniform and the morphology is good; under the excitation of 226 nm, the optimum doping concentration x of Bi^{3+} is 0.01, the optimum sintering temperature is 1200°C, and the sintering time is 2h. The best emission wavelength is 241nm in the UVC region, which is especially suitable for UV sterilization.

Keywords: UVC; phosphors; sterilization

《电气照明》征稿启事

《电气照明》是江苏省照明学会内部发行的专业刊物(季刊)，主要刊载照明领域的科研学术，技术研究，照明工程、行业动态、经营管理等相关文章。

一、征稿人员

照明相关领域专家、学者、教师、在校生，照明行业工作人员，以及对照明领域感兴趣的人员。

二、征稿要求及说明

1. 来稿的著作权和版权由作者负责，不得侵犯第三方的权益，所有来稿引用部分文字的要在参考文献中注明:署名和作者单位无误。编辑部对来稿有权作技术性和文字性修改，不同意删改的请在来稿中声明。文章版权属原作者所有。

2. 《电气照明》采用电子投稿。稿件请注明作者姓名、工作单位、通讯地址、联系电话等，以使联系有关事宜；文稿一经采用付给稿费，对以电子邮件方式投稿者，本刊均以电子邮件方式将处理结果告诉作者，请及时查收电子邮箱；

三、收稿地址

投稿邮箱: jszmxh@126.com

联系电话: 025-58806897、18305149690

联系人: 吕婷

技术交流 | Technical Communication

港珠澳大桥照明工程中的 LED 照明技术

杜 金, 周士康, 陈春根, 何孝亮

(上海三思电子工程有限公司, 上海 201100)

摘 要: 随着 LED 照明技术的不断成熟, 其应用于大型照明工程项目的案例也越来越多。本文对港珠澳大桥照明工程中所应用的 LED 照明技术进行了深度分析, 从路灯技术、隧道灯技术以及智能控制技术三个方面, 说明了港珠澳大桥照明工程是如何实现可靠、便利、舒适与节能的照明效果的。

关键词: 港珠澳大桥; LED 照明技术; 陶瓷路灯; 反射式隧道灯; 智能控制技术

中图分类号: TM923

文献标识码: A

LED Lighting Technology of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge Lighting Project

DU Jin, ZHOU Shikang, CHEN Chungeng, HE Xiaoliang

(Shanghai Sansi Technology Co., Ltd., Shanghai 201100, China)

Abstract: With the continuous maturity, LED lighting technology was applied in the more and more large-scale lighting engineering projects. The LED lighting technology applied in the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge lighting engineering project was deeply analyzed in this paper. From the aspects of the road lamp, tunnel lamp and intelligent control technology, how the lighting engineering of the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge can achieve reliable, convenient, comfortable and **energy**-saving lighting effect was explained.

Key words: Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge; LED lighting technology; ceramic street lamp; reflective tunnel lamp; intelligent control technology

引言

近年来, LED 照明技术不断成熟, 在城市夜景照明、公路隧道照明、建筑照明中的应用越来越多, 在大型照明工程项目中的应用案例也越来越多[1-5]。港珠澳大桥全长为 55 km, 是现今世界最长的跨海大桥。其东接香港特别行政区, 西接广东省珠海市和澳门特别行政区, 是国家高速公路网规划中跨越伶仃洋海域的关键性工程, 对于连通香港特别行政区、广东省珠海市、澳门特别行政区三地具有重大的政治以及经济意义。与此同时, 港珠澳大桥主体工程“海中桥隧”全线 22.9 km 长的桥梁和 6.7 km 长的隧道照明以及各人工岛组成的支线照明工程全部采用 LED 照明灯具及其控制系统, 因此也成为 LED 照明工程应用的典范。本文将剖析港珠澳大桥照明工程中所使用的 LED 照明技术。

1 LED 照明技术设计重点

1.1 港珠澳大桥的环境特点

港珠澳大桥位于北回归线以南, 横跨伶仃洋海域, 属于热带季风型气候, 其气候主要特点为全年高温, 最冷月平均气温也在 18 °C 以上, 同时受热带季风影响, 多强风、多雷雨且天气突变频繁。港珠澳大桥严苛的工作环境, 给 LED 照明应用技术带来了新的挑战, 包括: 如何抗强风风载; 如何耐高温、防湿热; 如何防盐雾、耐腐蚀; 如何进行 IP 防护设计(防大量降水)。

1.2 LED 照明关键技术

针对港珠澳大桥的上述气候特点, 上海三思电子有限公司(以下简称三思)对目前 LED 照明应用技术进行整合, 提出了以陶瓷平台为载体的一系列应用于 LED 照明的关键技术。

1)抗风载。流线型的灯具外形, 能使大风经过灯具时具有较高的速度, 从而减少其对灯具表面的压力, 降低了大风对灯具与灯杆连接处等薄弱环节的影响, 提高了灯具抗风载能力, 见图 1。



图 1 灯具抗风载设计示意图

Fig.1 Design of anti-air load for lamps

2)耐高温。优秀的散热能力是解决高温下持续工作的关键。三思的散热技术依托于单个陶瓷平台(称之为陶瓷像素), 从影响散热的两个关键因素出发[6-8], 以达到整体散热的目的:

①从导热上讲, LED 芯片直接焊接于陶瓷散热体上, 其间无传统意义上的绝缘层或者热阻层, 因此能更加高效地将 LED 芯片散发的热量导出并散走, 避免产生散热热岛效应;

②从对流上讲, LED 陶瓷散热像素的

蜂窝状散热结构能够有效增加散热面积，并保证气流自下而上流经散热器，路径不受阻碍，见图 2。



图 2 灯具陶瓷模块的散热结构

Fig.2 Heat dissipation structure of ceramic module of lamps and lanterns

3)防湿热。港珠澳大桥常年处于高温高湿状态,空气中大量的湿热气体很容易受热膨胀破坏灯具结构或受冷凝结成水雾影响照明效果。为此,三思将设计重点集中于如何降低电气腔体和光源腔体的体积上:

①电气腔独立防水，内置浪涌电压保护，密封腔体相对较小(如图 3 中的密封电气腔)，可避免湿热气体受热膨胀破坏灯具密封结构；

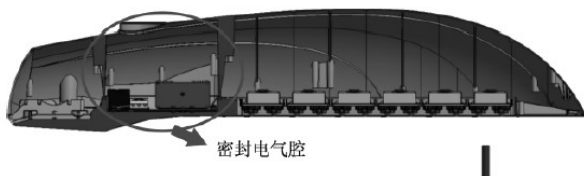


图 3 灯具防湿热结构

Fig.3 Anti-wet and heat structure of lamps

②考虑到传统整体玻璃面罩大腔体结构在密封、散热上的缺陷，港珠澳大桥光源腔体采用开放式结构，以单个透镜和陶

瓷像素所形成的整体为单元按一定的顺序安装于结构模条上，每一个单元也形成独立的光源腔，密封腔体同样很小，有别于一体式玻璃罩结构的大密封腔灯具，可避免温湿突变玻璃罩上结雾。

4)防盐雾、耐腐蚀、抗紫外老化。防盐雾、耐腐蚀、抗紫外老化性能是照明灯具在港珠澳大桥上持续工作的保障。三思采用自身技术研发与外协厂家专业技术相结合的方式，通过将以下四个方面的实用技术应用到照明灯具产品中，从而实现灯具的防盐雾、耐腐蚀以及抗紫外老化的功能(见图 4):



图 4 灯具防盐雾、耐腐蚀以及抗老化结构

Fig.4 Lamps salt spray, corrosion resistance and anti-aging structure

①灯具表面采用氟碳喷涂处理，可有效防止盐雾腐蚀；

②灯具紧固装置均使用不锈钢材料，可有效防止盐雾腐蚀；

③采用耐腐蚀性能优异的陶瓷像素材料作为灯具构成的基础单元；

④包括透镜在内的所有灯具部件，均具有抗紫外老化的能力。

2 港珠澳大桥 LED 照明整体解决方案

以上从港珠澳大桥照明工程所需灯具的可靠性方面对 LED 灯具的关键技术进行了分析。实际上，随着 LED 照明技术与智能控制技术等的不断融合，港珠澳大桥照明工程的成功运行已经不仅仅是 LED 灯具技术本身的应用，更是 LED 照明整体解决方案的应用。因此，以下将主要从港珠澳大桥照明工程中所使用的路灯技术、隧道灯技术、智能控制技术三个方面，来阐述港珠澳大桥照明工程中的 LED 照明整体解决方案。

2.1 路灯技术

三思模块化陶瓷路灯设计能够轻松实现 120 W 与 180 W 两种规格的路灯设计要求，如图 5 所示，其中 180 W 路灯主要应用于港珠澳大桥主体工程“海中桥隧”的桥梁主线道路上，120 W 路灯主要应用于港珠澳大桥人工岛支线道路上，两种功率的路灯详细参数如表 1 所示。

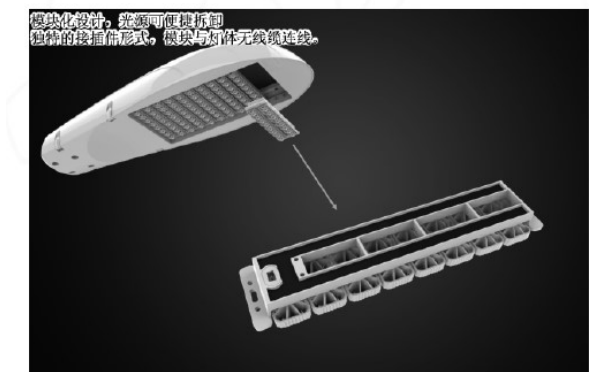


图 5 模块化路灯技术

Fig.5 Modular street lamp technology

表 1 港珠澳大桥照明工程所用的陶瓷路灯技术参数

Table 1 Technical parameters of ceramic street lamps used in lighting project of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

Kong-Zhuhai-Macao Bridge		
参数项	120 W	180 W
尺寸	968 mm × 440 mm × 204 mm	968 mm × 440 mm × 204 mm
重量/kg	14. 9	15. 7
光效/（lm/W）	130	130
额定光通量/lm	15 600	23 400
额定色温/K	4 500	4 500
显色指数	72	72
功率因数	≥0. 98	≥0. 98
电源效率	>0. 91	>0. 92
防护等级	IP66	IP66
模块数量/个	4	6

1)路灯结构与散热技术。三思陶瓷路灯结构设计主要从可靠性与维护的便利性两个方面来着眼，如图 6 所示，从最外层的免工具搭扣，到灯杆连接处的防坠落组件，再到水平仪与角度调节装置的安置，体现了设计人员在维护的便利性上的细节考虑；而表面氟碳材料喷涂、进线防水接头以及不锈钢紧固件的整体设计又体现了设计人员在灯具可靠性方面的努力。

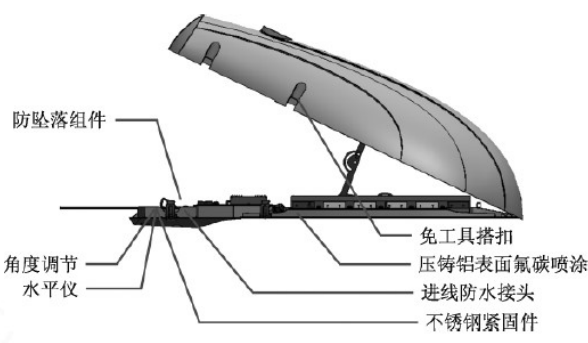


图 6 路灯结构详细设计图

Fig.6 Detailed design of street lamp structure

三思陶瓷路灯散热设计依托于陶瓷像素结构的强大散热能力如图 7 所示: 采用了厚膜烧结技术, 导电路径直接烧结于陶瓷上, 大大减少了热阻; LED 直接焊接于陶瓷上, 不需要基板与导热硅脂, 提高了散热的可靠性; 通过近端对流, 将 LED 芯片产生的热量及时带走, 避免了热量的聚集, 使热量分布更加均匀, 消除热岛效应。表 2 所示为单颗陶瓷像素在环境温度为 40 °C 时的散热模拟情况, 芯片结温为 96.6 °C, 远远低于允许的最高结温温度, 证明了陶瓷散热结构是可靠的。此外, 采用陶瓷像素结构还具有耐盐雾(半永久)、绝缘性强、可有效防击穿、安全可靠等优势。

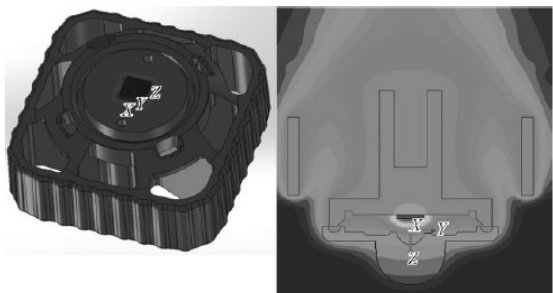


图 7 单颗陶瓷像素散热模拟云图

Fig.7 Simulation cloud image of single ceramic pixel heat dissipation

表 2 单颗陶瓷像素散热体散热模拟结果

Table 2 Simulation results of heat dissipation of single ceramic pixel

环境温度/℃	单颗功率/W	壳温/℃	芯片结温/℃	芯片结温温升/℃
40	2.5	69.4	96.6	56.6

2)光学技术。陶瓷路灯光学技术同样

依托于陶瓷像素平台, 通过透镜、密封圈与陶瓷散热体的紧密配合实现 LED 芯片与透镜的精确定位; 而在透镜设计上, 则采用逆向设计的原则, 同时考虑灯具配光与路面的反射特性(反射系数表格 r-table)^[9], 通过数值计算与模型试错相结合的方法来实现。港珠澳大桥主线桥梁的道路模拟参数如表 3 所示, 主线桥梁采用三思 180 W 路灯对称布置形式, 模拟设计结果如图 8 所示, 三思路灯配光系统针对道路桥梁实际使用者(汽车司机)的视线(灯下 60 m 远处注视)^[10], 实现了驾驶视觉上的亮度均匀 (UL>0.9,U0>0.6, 图 8 方框内容)。此种设计方式称为等亮度配光设计, 相对于传统等照度配光设计更符合客户的实际需求, 而实际港珠澳大桥验收现场(图 9)达到了令人满意的亮度均匀性效果, 其路面参数实测结果(表 4)与设计结果几乎一致, 甚至在总均匀度(U0)上高于设计结果。

表 3 港珠澳大桥主线桥梁的道路模拟参数

Table 3 Road simulation parameters of main bridge of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

模拟条件	参数
维护系数	0.7
灯具功率	180 W
整灯光效	130 lm/W
布灯方式	双侧对称
安装高度	12 m
安装间距	35 m
路幅结构	3 m 应急车道 + 11.25 m 机动车道 + 3 m 中央分隔带 + 11.25 m 机动车道 + 3 m 应急车道

配光曲线

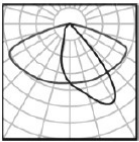


表 4 港珠澳大桥主线桥梁道路照明均匀性测试结果

Table 4 Test results of road lighting uniformity
of main bridge between Hong Kong, Zhuhai
and Macao

测试日期	机动车道				
	平均照度 E_{av} / lx	照度均匀度 U_E	平均亮度 $L_{av} / (cd \cdot m^{-2})$	亮度均匀度 U_0	纵向亮度均匀度 U_L
—	20	0.40	1.5	0.40	0.70
2017.4.8	40	0.55	3.6	0.84	0.88

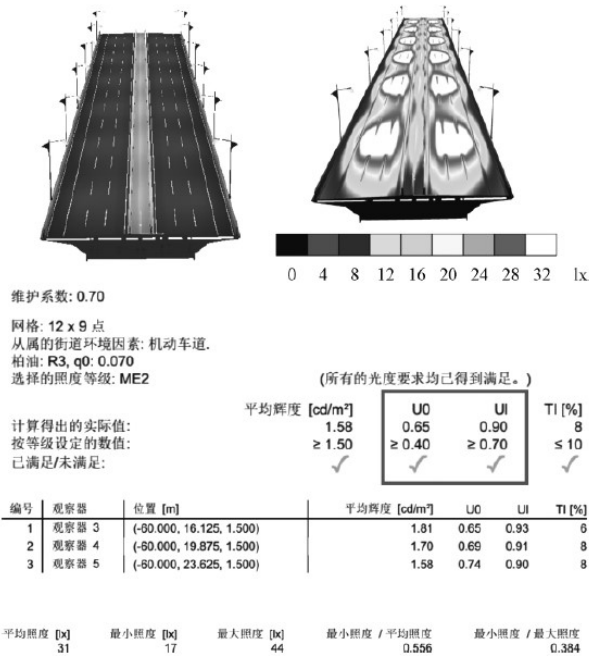


图 8 港珠澳大桥主线桥梁道路模拟结果

Fig.8 Simulation results of main line bridge of
Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge



图 9 港珠澳大桥主线桥梁道路照明效果实拍

Fig.9 Lighting effect of main line bridge of Hong
Kong-Zhuhai-Macao Bridge

2.2 隧道灯技术

三思提供的“M”型反射式隧道灯技术(图 10)是保证港珠澳大桥 6.7 km 长隧道照明舒适性的关键技术。表 5 为三思隧道灯的技术参数,可以发现港珠澳大桥隧道主体工程针对其过渡段照明和加强段照明共使用 60 W 和 120 W 两种功率的隧道灯具。

表 5 反射式隧道灯技术参数

Table 5 Technical parameters of reflective
tunnel lamp

参数项	60 W	120 W
尺寸	840 mm × 185 mm × 288 mm	840 mm × 185 mm × 288 mm
重量/kg	6.8	7.0
光效/(lm/W)	110	110
额定光通量/lm	6 600	13 200
额定色温/K	4 500	4 500
显色指数	72	72
功率因数	≥0.98	≥0.98
电源效率	>0.90	>0.91
防护等级	IP65	IP65



图 10 隧道灯外观

Fig.10 Appearance of tunnel lamps

1)隧道灯结构与散热技术。反射式隧道灯结构具有一体式灯具外型，搭配可拆卸式光源模块可轻松改变光源功率，而对光源本身的发光效果没有任何影响，灯具背面安装有横向和纵向角度调节装置，能够根据现场实际情况对灯具安装姿态作出必要的调整如图 11 所示。

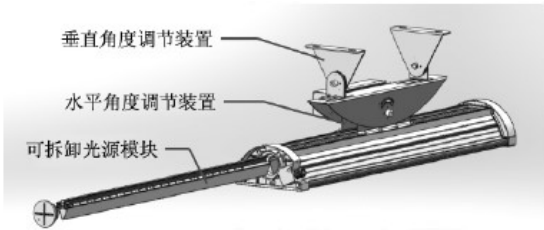


图 11 反射式隧道灯结构特点

Fig.11 Structural features of reflective tunnel lamps

散热方面，整个灯具外壳采用拉伸型材工艺且与光源模块组成紧密的散热通道，能够顺利地将光源产生的热量散走。图 12 所示为 120 W 隧道灯具散热模拟云图，在环境温度为 40℃的前提下，隧道灯 LED 光源的结温温度为 96.9℃，与壳体温度 84.5℃十分接近，也可说明散热达到了满意的效果(表 6 为 120W 隧道灯散热模拟的结果)。

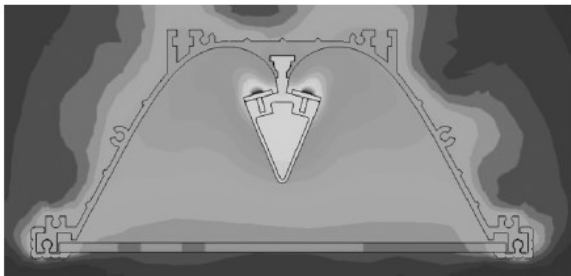


图 12 120 W 隧道灯模拟云图

Fig.12 Simulation cloud map of 120 W tunnel lamp

表 6 120 W 隧道灯热模拟结果

Table 6 Heat simulation result of 120 W tunnel lamps			
环境温度/℃	壳温/℃	芯片结温 温度/℃	芯片结温 温升/℃
40	84.5	96.9	56.9

2)隧道灯光学技术。隧道灯光学系统采用独特的反射式配光形式^[11]，通过巨大的“M 型”漫反射腔体(这也是此灯被称为“M 型”隧道灯的原因)，将倾斜入射的 LED 光源光线均匀地散射于路面上如图 13 所示。从配光类型来看，整个隧道灯属于沿着路面与垂直于路面两个方向的非对称

近朗伯型配光如图 14 所示,能够实现路面亮度均匀的照明效果。同时反射式的配光形式,灯具点亮时人眼看不见 LED 的发光点,从视觉舒适性上也达到了“见光不见灯”的效果。

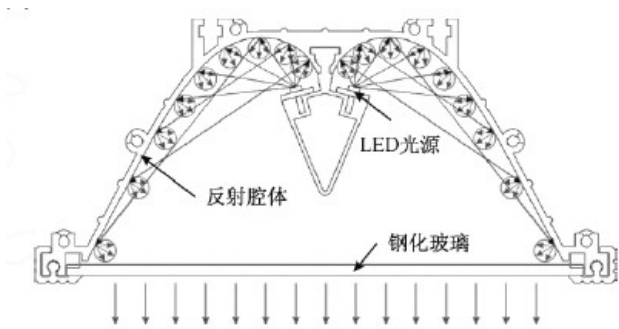


图 13 反射式隧道灯光学技术

Fig.13 Optical technique of reflective tunnel lamp

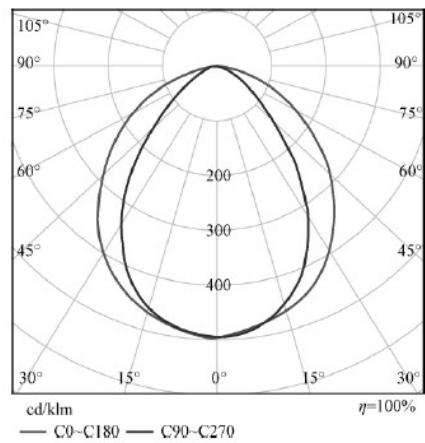


图 14 隧道灯配光曲线图

Fig.14 Light distribution of tunnel lamp

图 15、图 16 所示为港珠澳大桥隧道照明模拟设计效果与实测对比图,证明三思反射式隧道照明技术在港珠澳大桥隧道项目中取得了令人满意的成果。

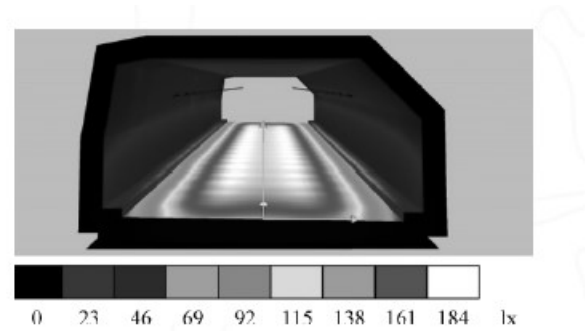


图 15 港珠澳大桥隧道照明模拟设计

Fig.15 Simulation design of tunnel lighting for Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge



图 16 港珠澳大桥隧道照明效果实拍

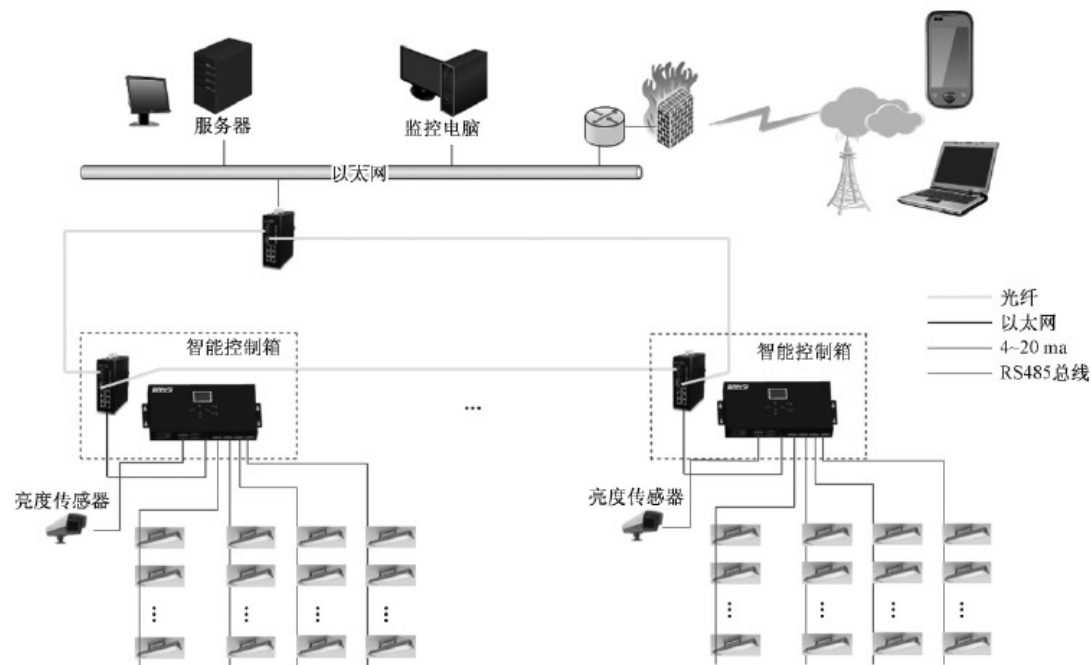
Fig.16 Lighting effect of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

2.3 智能控制技术

1)智能控制的实现。港珠澳大桥的陶瓷路灯技术与反射式隧道灯技术需要在智能控制技术的整合下方能发挥最大的作用。大桥全线采用三思自主研发的智能控制系统,不仅实现单灯可调,而且能对大桥照明运行状况进行实时监控^[12]。图 17 所示为智能控制系统网络拓扑结构图,该控制系统使用 LC300 智能集中控制器实现路灯

隧道灯单灯的独立监控，其统一采用的RS485 信号编码模式与灯具通信，可同时控制最多 250 盏灯具，而与系统中心则可

采用多种方式，如 GPRS/3G/WiFi/TCPIP/RS485 等, 通过自组网进行通信连接，实时在线收发信息。



注：在条件允许的情况下光纤部分也可采用3G/4G移动运营商的无线网络替代

图 17 智能控制系统网络拓扑结构图

Fig.17 Network topology diagram of intelligent control system

同时，该系统可外挂多种设备，如亮度传感器、车辆检测器等，具有时钟和预设控制功能，亦可进行现场操作控制，自主巡检与故障上报，具有自诊和自恢复功能。

2)智能控制的优势。三思智能控制系统具有以下四大优势：①从二次节能方面考虑，可精确到单灯的开/关控制、调光控制，根据实际情况进行调整，避免了传统的定时、常亮的单调控制方式，节约能源，达到以人为本的照明原则；②从智能监控方面来考虑，准确地对每盏灯具的运

行状况进行监管，可任意时间段对照明及时调整，从而应对不同的运营模式和自然环境，避免了传统控制无法监管的问题；③从灯具寿命方面考虑，由于在照明设计时加入了维护系数，初安装时的照度一般会高于设计值，调光至设计值，一方面可以实现节能，另一方面可降低芯片结温，从而延长灯具的使用寿命；④从人性化管理方面考虑，远程监控，故障提醒反馈，方便运营单位的维护及检修，提高工作效率，方便应对突发情况。

3 总结与展望

本文从陶瓷路灯技术、反射式隧道灯技术以及智能控制技术三个方面,剖析了港珠澳大桥照明工程中的LED照明应用技术。路灯方面,通过其独特的陶瓷平台技术以及二次配光技术,实现了可靠性、维护便利性与路面亮度均匀性的统一;隧道灯方面,通过其独特的反射式配光技术,实现见光不见灯的舒适性效果;智能控制方面,则通过采用RS485编码信号的智能集中控制技术,实现了对路灯隧道灯的单灯独立控制,且能在任意时间对任意灯具进行监管和调整,同时也实现了灯具的二次节能。

随着人们生活质量的提高,对LED照明的需求已经从单纯地追求高效节能转变为对视觉舒适性、产品可靠性、智能控制等多方面的综合要求[13-16],这也将推动LED照明技术不断向大纵深、多维度发展。因此,高质量、多学科交叉融合的LED照明应用系统解决方案将成为LED照明企业以及LED照明工程项目关注的重点。

(来源:照明工程学报)

参考文献

- [1] 李铁楠.我国城市夜景照明发展的思考[J].照明工程学报,2019,30(5):23-26.
- [2] 郝洛西,杨秀.基于LED光源特性的半导体照明应用创新与发展[J].照明工程学报,2012,23(1):1-6.
- [3] 朱应昶,肖辉.城市道路照明智能化研究[J].照明工程学报,2017,28(5):16-19.
- [4] 吴玲.“十三五”我国半导体照明产业发展展望[J].照明工程学报,2017,28(1):5-6.
- [5] 阮军.国家半导体照明工程进展[J].照明工程学报,2012,23(增刊):37-43.
- [6] 王薇,樊洪明.基于平板微热管阵列的大功率LED散热技术[J].照明工程学报,2018,29(4):62-68.
- [7] 郭凌曦,左敦稳,孙玉利,等.LED散热技术及其研究进展[J].照明工程报,2013,24(4):64-70.
- [8] 李斌,唐瑜梅,涂朴.烟囱式LED散热器的自然对流散热研究[J].照明工程学报,2017,28(4):106-109.
- [9] 周士康,陈春根,许礼,等.直线道路的 $r(x,y)$ 反射表和亮度计算[J].照明工程学报,2016,27(2):96-102.
- [10] 周士康,杜金,陈春根.逐步逼近法计算LED透镜[J].照明工程学报,2019,30(4):122-127.
- [11] 周士康,陈春根.具有反射透射两用表面的LED自由曲面透镜的逼近法计算[J].照明工程学报,2017,28(3):97-101.
- [12] 姜玉稀,何孝亮,李闪.面向智慧路灯系统的线性边缘计算算法[J].照明工程学报,2019,30(4):17-22.
- [13] 赵晓杰,侯丹丹,徐蔚,等.办公室LED光源的频闪效应对人体健康的影响[J].照明工程学报,2019,30(6):25-31.
- [14] 郝洛西,曹亦潇,汪统岳,等.面向人居健康的城市夜景照明:进展与挑战[J].照明工程学报,2019,30(6):1-6.
- [15] 杨帆,许建兴,蔡建奇,等.多款不同光参数LED教室灯对视觉健康舒适度的影响[J].照明工程学报,2015,26(4):72-75.
- [16] 李文宜,纪雅婧,刘木清,等.应用虚拟现实技术评价LED护栏灯用于道路照明的光品质[J].照明工程学报,2019,30(4):48-52.

技术交流 | Technical Communication

高校教室 LED 照明效果与不同场景光环境需求研究

王 贺, 薛 鹏, 梁青璇, 赵梦静, 赵一凡

(北京工业大学, 绿色建筑环境与节能技术北京市重点实验室, 北京 100124)

摘 要: 大学教室因时间利用率高、场景多变和 LED 普及的特点, 其光环境质量的改善有助于提高大学生对环境的满意程度, 进而提升学习效率。本文以北京市某大学多栋教育建筑的典型教室光环境为对象, 结合客观测量和主观问卷调研, 提出并利用一套完整的分析流程, 旨在识别日夜不同时段提升学生光环境满意度的归因客观指标及其阈值。结果显示, LED 光源基本满足现有标准在照度和均匀度方面的要求; 日间和夜间的上课与自习场景下所需要控制的指标及其阈值均有不同, 主要包括色温、显色性、亮度对比度、垂直照度和生理等效照度等。本研究为大学教室光环境视觉舒适性营造提供了基础数据, 对其光环境的质量提升具有指导意义。

关键词: 教室; 光环境; 质量提升; 阈值; 采光; 照明

中图分类号: TU113.19

文献标识码: A

Research on LED Lighting Effect and Luminous Environment Requirements of Different Scenes in University Classrooms

WANG He, XUE Peng, LIANG Qingxuan, ZHAO Mengjing, ZHAO Yifan

(Beijing Key Laboratory of Green Built Environment and Energy Efficient Technology
Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Due to the characteristics of high time utilization rate, changeable scene and the popularity of LED, the improvement of luminous environment quality in university classrooms is conducive to improving the environmental satisfaction of college students, thus improving their learning efficiency. This paper takes the typical classroom luminous environment of several educational buildings in a university in Beijing as the object, combining objective measurement and subjective ques-

tionnaire survey, and using a set of the scientific analysis process, aiming to identify the objective index and the threshold value of improving students' satisfaction with the luminous environment at different times of day and night. The results show that LED basically meet the requirements of existing standards in terms of illuminance and uniformity. The indexes and thresholds that need to be controlled are different in different scenes of class and self-study in day and night, such as color temperature, color rendering, luminance contrast, and physiological equivalent illumination. This study provides basic data for the comfort requirements of the luminous environment in university classrooms, which has certain guiding significance for the quality improvement and construction of the luminous environment.

Key words: classroom; luminous environment; quality improvement; threshold value; daylighting; lighting

引言

高校教室是大学生活动的重要场所,因其大部分学习时间集中在教室^[1],良好的教室光环境可以提升学生的环境满意度^[2],从而提高学习效率^[3]。目前通过对北京市部分学校教室采光照明的调查分析,发现其光环境与国家标准差距较大^[4]。此外,随着绿色建筑和健康建筑标准的快速发展,LED光源比荧光灯更好地满足规范中对平均照度、照度均匀度和照明功率密度的要求^[5],但是其光谱特性带来的综合影响还需通过指标多维度进行判定。

国际照明委员会(CIE)在《室内工作场所照明》中指出光环境要关注照度、亮度分布、眩光、光及表面的颜色、闪烁等指标^[6],中国发布的《中小学校教室采光和照明卫生标准》对照度、照度均匀度、显色性和照明功率密度等光环境指标也做了明

确规定^[7]。许多学者利用现有指标对教室光环境进行评价研究,陈仲林^[8]针对光环境指标,根据层次分析法和灰色理论,提出了定性和定量相结合的综合评价方法。杨彪等^[9]运用模糊综合评价法建立了中小学教室光环境综合评价指标体系,并利用Delphi法和改进的层次分析法确定了各指标的相对权重。刘琳等^[10]将多目标优化理论与教室照明相结合对教室光环境进行评价。在光环境指标评价研究的基础上,有学者对教室光环境光度学色度学耦合需求做了进一步研究,严永红、关杨等^[11]采用平行组实验的方法对不同色温下的最佳照度、最佳照度下的色温偏好及光环境因子重要性排序等进行评价测试,结果显示,学生对750 lx照度下中间色温4 000 K的光环境主观评价较好,高色温次之、低色温最差。杨春宇等^[12]对秋冬季V类光气候地区高校教室的照明环境色温和照度与主

观舒适度的关系进行分析,结果显示,学生倾向于高照度和低色温的照明环境。

目前,很多学者都对教室光环境进行评价研究并根据标准和需求提出改进方案,但只是单纯考虑日间或夜间的教室光环境,缺乏对日夜不同时间光环境需求的对比分析;同时仅通过现有标准指标进行评价^[13],未考虑亮度对比度和生理等效照度等标准以外的指标且未给出满足光环境提升需求的具体指标阈值。因此,本文基于 LED 照明效果的现状,从日夜不同时间出发,对比上课和自习不同场景光环境需求,结合客观指标测量和主观问卷调研数据,提出并利用一套完整的分析流程,识别影响学生光环境满意度的归因客观指标及其阈值。本研究结果为大学教室光环境后评估提供了基础数据,同时对舒适光环境营造与提升起到指导作用。

1 研究方法

本研究结合主观问卷调查和客观环境参数测量,并利用 SPSS 25.0 软件对不同时间(日间和夜间)和不同场景(自习和上课)下影响学生光环境满意度的因素进行分析,通过完整的分析流程(满意度描述性分析→主观感受相关分析→需求提升分析→客观指标识别→指标阈值分析)得到满足教室光环境提升需求的客观指标及其阈值,为学校教室光环境的设计提供参考,具体步骤如图 1 所示。

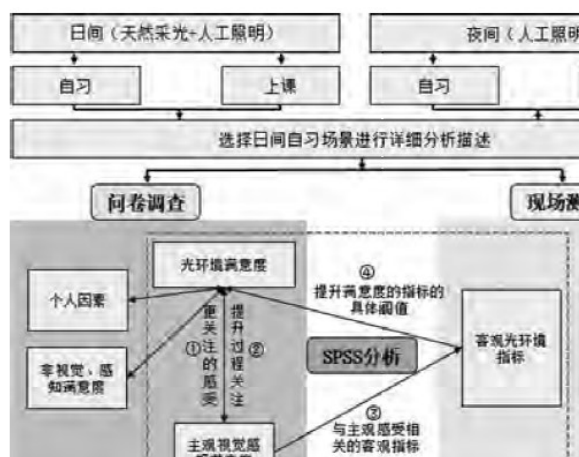


图 1 研究技术路线图

Fig.1 Research roadmap

1.1 问卷调查

本研究调研地点为北京某大学的第一、三和四教学楼的典型教室(南北朝向,三面外窗,8组灯具,42个座位),调研时间为2019年11月至12月(日间14:00—17:00,采光+照明;夜间19:00—21:00,照明),调研对象为教室学生。本研究预发放问卷100份以进行信度的检验,旨在对相同评价组内不同评价项目的一致性 or 不同评价组重复评价结果的一致性进行分析^[14],结果显示 Cronbach Alpha 系数 $\alpha > 0.7$,即问卷具有较高的可靠性^[15]。

作为随机抽样调查,为确定具有统计学意义的样本量可用以下公式计算:

$$N = \frac{Z^2 \sigma^2}{F^2}$$

式(1)中, N 表示样本量大小, Z 是和置信水平相关的一个数值(本研究取 95%

的置信度, 对应 Z 为 1.96), σ_2 表示总体的标准差(在抽样调查时, σ_2 一般取最大值 0.25), E 表示绝对误差(本研究取小于 5%)^[16], 计算得到样本量 N 应大于 384。本研究正式发放问卷 500 份, 有效样本为 482 份(日间 242 份, 夜间 240 份), 问卷均采用 Likert 五分量表的形式提问^[17], 其中在数据分析时, “1” 和 “2” 划分为不满意; “3” 为中性; “4” 和 “5” 划分为满意。问卷第一部分为参与者的基本信息, 第二部分为上课和自习场景下学生对水平照度、垂直照度、照度均匀度、亮度、亮度对比度、色温、显色性和频闪等光环境指标的主观感受, 第三部分是学生对光环境的满意度, 第四部分是光环境对睡眠、注意力、心情等生理和心理的影响。

1.2 现场测量

为保证后续对比分析和数据的有效性, 各项室内光环境指标均在学生填写问卷的同时进行测量^[18](图 2)。其中桌面照度(水平照度)和黑板照度(垂直照度)为被照面平均值^[19], 具体测量仪器及精度如表 1 所示, 亮度对比度、照度均匀度和生理等效照度等指标基于测量数据计算得到。



图 2 调研现场照片

Fig.2 Photos of investigation site

表 1 测量仪器及其精度

Table 1 Measuring instrument and accuracy

测量指标	测量仪器	测量精度
照度	SPIC-200A 光谱	$\pm 0.001 \text{ lx}$
色温、显色指数	彩色照度计	$\pm 3\%$
亮度	LS-160 柯尼卡 美能达亮度计	$\pm 4\%$
	LS-656 光源	

1.3 数据分析

本研究使用 SPSS 25.0 软件对问卷及客观测量数据进行了准确的编码和分析。采用 Spearman 秩相关系数^[20]分析学生光环境满意度与主观感受的关系, 主观感受与客观指标的关系; 采用 Mann-Whitney U 检验^[21]识别不同光环境满意度之间学生主观感受分布的差异; 最后, 根据光环境满意度与客观指标的关系, 确定满足光环境满意度提升需求的客观指标阈值。前人研究以 50% 的次数引起感觉确定阈值^[22], 以总数 67% 的数量合格认为满足规范^[23], 本研究将以 80% 更为严苛的标准来评判学生满意度是否产生变化。

2 研究结果及分析

2.1 LED 照明效果分析

1) LED 照明效果对标分析。以现有标准为依据, 将 LED 照明营造的光环境进行对标分析, 结果见表 2。

表 2 LED 照明效果对标分析

Table 2 Comparison of standard results for LED lamps

光源	指标	满足标准数据 (占比)	不满 (占比)
LED	照度 (>300 lx)	98 (62.4%)	59

由表 2 可知，在照度方面，LED 满足标准占比为 62.4%；在均匀度方面，LED 满足标准占比高达 98.1%。上述数据表明教室光环境达标情况仍不可观，以下均采用满足规范的样本，以识别光环境质量进一步提升的途径。

2)光环境满意度分析。结合主观问卷数据分析 LED 照明效果，如图 3 所示。对 LED 营造的光环境感到中性(满意度=3)的学生人数占比为 44%，满意(满意度=4&5)的学生人数占比为 52%。LED 照明效果还与使用时长、灯具的功率和布置方式有一定关系，为更加科学地分析学生对不同场景光环境的需求，还需从光环境指标的角度出发。

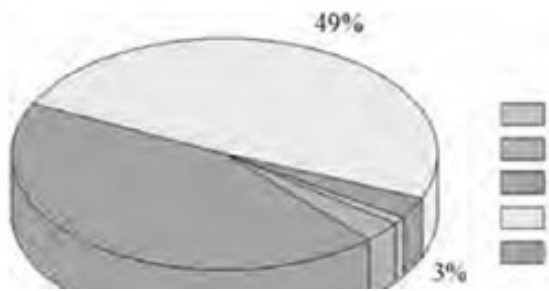


图 3 光环境满意度及对应学生人数占比

Fig.3 Luminous environment satisfaction and the proportion of corresponding students

2.2 指标提升分析

为保证分析流程的完整性，在光环境指标分析之前，先对不同时间和场景学生光环境满意度进行总体描述，如图 4 所示。

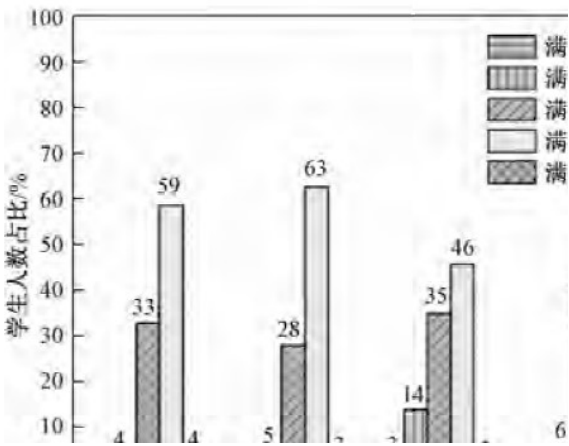


图 4 不同场景光环境满意度分值占比

Fig.4 The ratio of light environment satisfaction score in different scenes

由图 4 可知，日间学生对光环境的满意度占比优于夜间，同一时间段，自习场景满意人数高于上课场景，同时夜间上课学生满意程度较低。为识别导致上述光环境满意度不同的具体因素，利用 Spearman 秩相关系数分析光环境满意度与学生主观感受的单调关系，如表 3 所示。

表 3 光环境满意度与主观感受的相关性

Table 3 The correlation between the satisfaction of luminous environment and feeling degree of each index

日间		夜间	
上课	垂直照度满意度 (0.514 **)	垂直照度满意度 (0.634 **)	
	光源色温满意度 (0.504 **)	照度均匀性满意度 (0.351 **)	
	眩光满意度 (0.290 **)	眩光满意度 (0.350 **)	
	照度均匀性满意度 (0.246 **)	黑板亮度满意度 (0.301 **)	
自习	光源色温满意度 (0.570 **)	水平照度满意度 (0.548 **)	
	水平照度满意度 (0.518 **)	光源显色性满意度 (0.435 **)	
	眩光满意度 (0.359 **)	光源色温满意度 (0.316 **)	
	照度均匀性满意度 (0.307 **)	眩光满意度 (0.309 **)	

注：*表示 $P < 0.05$ ，相关性显著；**表示 $P < 0.01$ ，相关性显著。

由表 3 可知，日间上课时学生满意度受垂直照度和光源色温影响较大，自习时受光源色温和水平照度影响较大；夜间上课时受垂直照度和照度均匀性影响较大，自习时受水平照度和光源显色性影响较大。主观感受的相关性和显著性已经证明，但不代表实际环境仍存在提升空间。鉴于不同光环境场景的分析思路相同，以日间自习场景为例，进一步讨论主观感受因素(光源色温、水平照度)在光环境满意度等级之间的差异。采用 Mann-Whitney U 检验的方法，以光环境满意度从“中性”提升至“满意”为例，结果如图 5 所示。

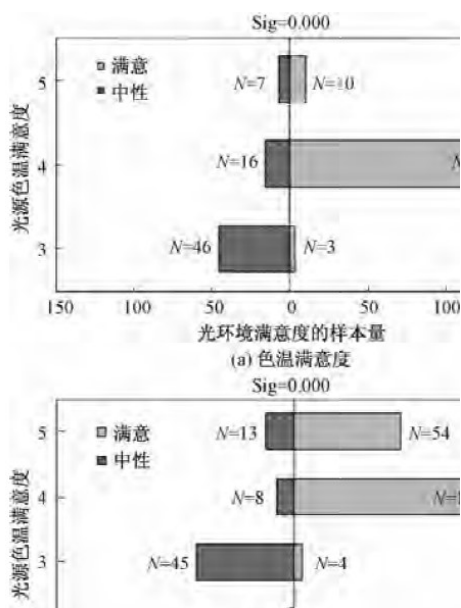


图 5 主观感受在“中性”和“满意”之间的差异性
Fig.5 The difference between “neutral” and “satisfied” subjective feelings

由图 5 可知，日间自习学生对色温和水平照度的主观感受满意度均满足 $\text{sig} \leq 0.05$ 且平均数差距明显，故存在显著性差异，即光环境满意度由中性提升为满意时应着重考虑以上两个主观感受的提升。为进一步识别影响主观感受的客观指标，利用 Spearman 秩相关系数分析得到相关性大且显著性强的客观指标如表 4 所示。

由表 4 可知，光源色温、显色指数和亮度对比度与水平照度和色温满意度呈现显著相关关系，即在光环境满意度从“中性”至“满意”的提升过程中，应该着重考虑以上三个客观指标的改善。因此，本研究利用小提琴图探讨上述三个客观指标与光环境满意度的关系，再通过对应“中性”和“满意”的各指标百分比堆积柱形图分析其具体阈值，结果如图 6 所示。

表 4 与主观感受相关的客观指标统计

Table 4 Statistics of objective indicators related to subjective feelings

满意度提升	存在差异性	相关客观指标	Spearman 系数
“中性”（满意度=3）至“满意”（满意度=4&5）	光源色温满意度	光源色温	0.359 **
		显色指数	0.258 **
		亮度对比度	-0.216 **
	桌面照度满意度	光源色温	0.243 **
		显色指数	0.282 **
		亮度对比度	-0.257 **

注：*表示 $P < 0.05$ ，相关性显著；**表示 $P < 0.01$ ，相关性显著。

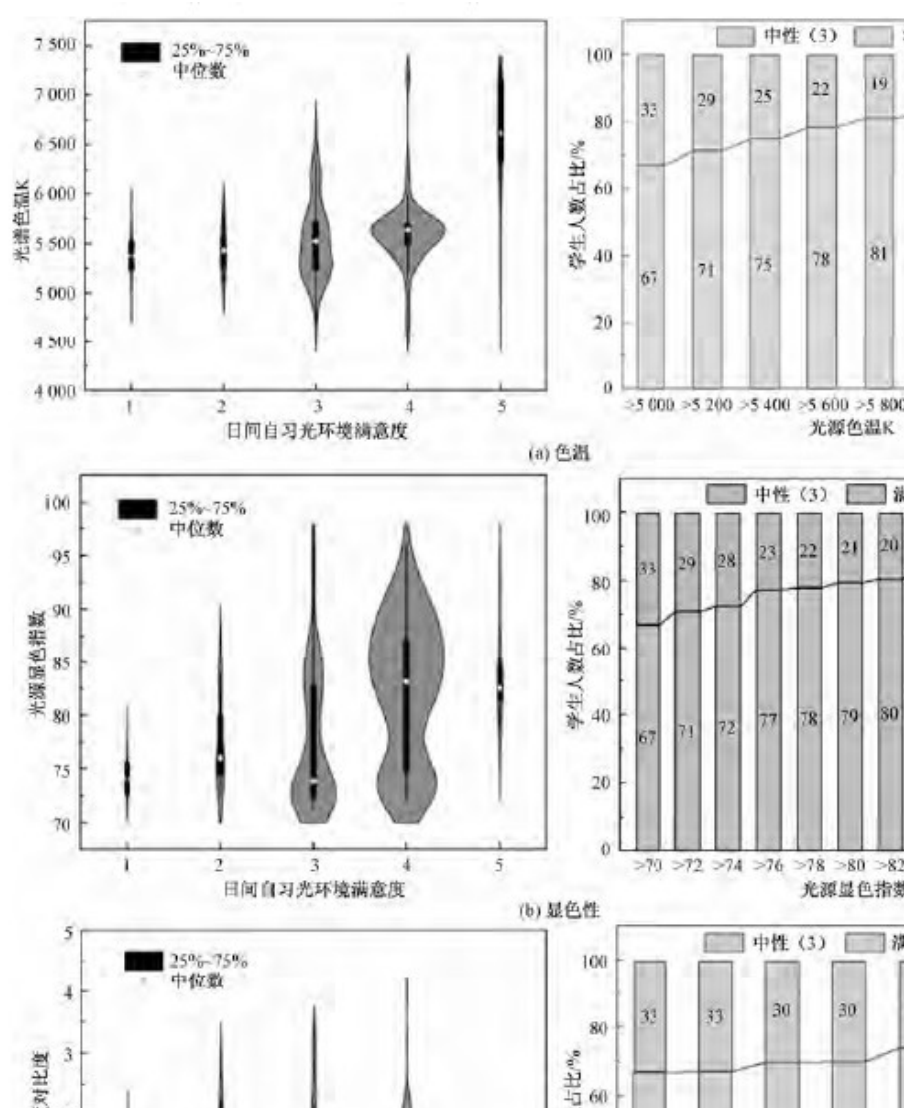


图 6 光环境满意度与客观指标关系

Fig.6 The relationship between satisfaction with the luminous environment and objective indicators

由图 6(a)和 6(b)可知,在日间自习时,学生的光环境满意度与光源色温和显色指数成正相关关系(相关系数 0.383**和 0.324**),即光源色温和显色性值越高,满意的学生越多;由图 6(c)可知,满意度与亮度对比度成负相关关系(相关系数 -0.237**),即亮度对比度越低,满意的学生越多。以 80%作为评判标准计算,结果显示,若要将日间自习时的光环境满意度

从中性提升至满意,色温需要提高至 5 700 K,光源显色指数需提高至 82,亮度对比度需低于 0.5。

2.3 分析结果汇总

基于 2.2 节的分析流程,针对其他特定时间和场景的光环境提升需求,相应的客观指标及其阈值总结如表 5 所示。

表 5 特定时间及光环境场景的指标阈值汇总

Table 5 Summary of the index threshold of specific time and luminous environment scene

Table 5 Summary of the index threshold of specific time and luminous environment				
时间	场景	光环境满意度的提升	光环境提升过程存在差异性的主观感受	与主观感受相关的客观指标
日间	上课	不满意至中性	无	无
		中性至满意		
	自习	不满意至中性	眩光满意度	无
		中性至满意		
夜间	上课	不满意至中性	无	无
		中性至满意		
	自习	不满意至中性	桌面照度满意度	无
		中性至满意		

由表 5 可知，光环境满意度从不满意提升至中性，均未识别出具体指标，主要原因在于不满意的因素多样且离散性较强，难以归为单一因素影响。但在从中性提升至满意的过程中，不同时间和场景的归因指标及其阈值均有不同结论。首先，日间上课需提升指标多于夜间，可能由于日间受天然采光影响色温和显色性变化较为明显。其次，日间上课所需垂直照度低于夜间，一方面，由于日间教室具有天然采光，整个教室照度水平高于夜间；另一方面，光环境满意度是多个指标共同作用的结果，受同一环境的其他光环境指标影响，导致结果出现差异。此外，夜间自习所需色温高于日间，可能由于学生在夜间自习时受外界环境因素和生理因素等影响易产生困倦感，因此，更偏爱较高色温的光以集中注意力。

3 结论

本文以北京某大学三栋教学楼的典型教室为研究对象，结合主观问卷调查和客

观环境测量，并利用 SPSS 软件进行数据分析，以识别不同光环境场景下提升学生光环境满意度的客观指标阈值。本研究在前人研究的基础上，分析了 LED 光源照明效果，增加了对亮度对比度和生理等效照度指标的研究，提出并运用一套完整的分析方法，对不同时间和场景的教室光环境进行了分析，主要结论如下：

- 1)LED 光源基本满足现有标准在照度和照度均匀度方面的要求。
- 2)不同的时间和场景下，学生对光环境的主观需求均有不同，其中主要控制参数为水平照度、垂直照度、色温、显色指数、亮度对比度和生理等效照度。
- 3)在提升教室光环境质量时，日间上课应保证垂直照度达到 210 lx，色温达到 5 600 K，显色指数达到 80；日间自习应保证色温达到 5 700 K，显色指数达到 82，桌面亮度对比度低于 0.5；夜间上课应保证垂直照度达到 240 lx，生理等效照度达到 180 lx。

夜间自习应保证水平照度达到 400 lx, 色温达到 5 800 K, 显色指数达到 83。此阈值为本研究统计分析结果, 其精确程度可在实验条件下进一步验证。

综合以上结果, 在保障灯具数量和合理的布置方式的基础上, 大学教室光环境设计, 可考虑选用色温高于 5 600 K 且显色指数高于 80 的 LED 光源, 并尽可能安装调光调色的智能灯具系统以保障不同场景需求的转变, 同时使用浅色材质的桌面以降低亮度对比度, 黑板应设置局部照明以满足垂直照度需求, 进而有效提升教室光环境质量。

(来源: 照明工程学报)

参考文献

- [1] 汪统岳, 杨春宇, 杨通途, 等. 大学教室照明现状分析与优化[J]. 灯与照明, 2016, 40(1): 28-43.
- [2] Veitch J A, Newsham G R, Boyce P R. Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices: A linked Mechanisms approach[J]. Lighting research and technology, 2008, 40(2): 133-151.
- [3] 刘宁宁. 教室照明智能控制系统的研究与开发[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [4] 孟超. 北京市部分学校教室采光照度现状分析[J]. 照明工程学报, 2006, 17(1): 34-37.
- [5] 蔡贤云, 翁季. LED 在中学教室照明优化设计中的应用[C]//2015 年中国照明论坛——LED 照明产品设计、应用与创新论坛.2015.
- [6] CIE S 008 Lighting of Work Places-Part 1: Indoor[S]. Vienna: CIE, 2001.
- [7] 中小学校教室采光和照明卫生标准: GB 7793—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [8] 陈仲林. 建筑光环境灰色层次评价[J]. 光源与照明, 1996, 7(4): 37-48.
- [9] 杨彪, 马磊, 林燕丹, 等. 中小学教室光环境的模糊综合评价[J]. 照明工程学报, 2009, 20(4):14-18.
- [10] 刘琳, 戴立玲, 卢章平. 基于无眩光效应的教室照明优化设计[J]. 照明工程学报, 2008, 19(2): 37-41
- [11] 关杨. 光生物效应下教室照明心理—生理综合评价研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [12] 杨春宇, 汪统岳. V类光气候地区秋冬季高校教室 LED 照明环境的主观评价分析[C]//2017 年中国照明论坛——半导体照明创新应用与智慧照明发展论坛论文集.2017.
- [13] 建筑照明设计标准: GB 50034—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [14] Vychytil Jaroslav, Vychytil Martin. Day-light in generic classrooms of secondary schools-computation versus user[C]// CESB 2016-Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future, 2016.
- [15] 武松, 潘发明, SPSS 统计分析大全[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [16] 基于京津城际客运专线乘客二次选择的满意度调查分析[D]. 北京: 清华大学, 2014.
- [17] 贾世桢. 高校多媒体教室光环境主观评价实验研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2019.
- [18] 赵梦静, 薛鹏, 姚浩杰, 等. 大学教室采光

环境对学生学习效率影响的调研分析[C]//第十三届建筑物理学术大会论文集.2018.

[19] 照明测量方法: GB/T 5007—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[20] Xue Peng, Mak C M, Cheung H D. The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey[J]. Building and Environment, 2014, 81: 51-59.

[21] Xue Peng, Mak C M, Cheung H D,

et al. Post-occupancy evaluation of sunshades and balconies' effects on luminous comfort through a questionnaire survey[J]. Journal of Building Services Engineering Research & Technology, 2015: 1-15.

[22] 宋捷翹. 静态光源对居住建筑室内活动的侵扰阈值研究[D].天津: 天津大学, 2015.

[23] 建筑采光设计标准: GB 50033—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

行业分析 | Industry Analysis

2020 年中国照明行业发展综述

温其东

(中国照明电器协会)

一、总体概况

中国照明电器协会 行业总体概况(2020)



2020 年中国照明行业出口额达 526 亿美元，合 3640 亿元人民币，同比增长 16.1%。内销约 2385 亿人民币，同比下降 16.8%。全行业营收 6025 亿元人民币，整体上看是外销好于预期，内销低于预期，外销的大幅增长抵消了内销的下滑，使得全行业营收与 2019 年（6000 亿元）基本持平。



从 2010 年-2020 年的行业营收变化情况来看，全行业在“十二五”期间尚处于的中高速增长期，至“十三五”期间增速则趋于平缓，进入平稳发展时期，未来更注重的是高质量发展。

二、外销

中国照明电器协会 2020年中国全部照明产品及LED照明产品出口分月情况



2020 年，面对新冠肺炎疫情的对全球市场的严重冲击和异常复杂的国际形势，在国家出台一系列超常规稳外贸促创新的政策措施和广大照明出口企业砥砺前行的共同努力下，2020 年中国照明行业出口逆势增长，出口总额达 526 亿美元，同比增长达 15.7%。不仅远远超乎预期，并大大刷新历史纪录。一季度急剧下降，跌至谷底；二季度攻防转换，蓄势待发；三四季度强势反弹，屡创新高，最终达成“V”字型反转。中国

作为全球唯一全面系统性遏制住疫情的主要经济体，更加凸显了其照明行业全球制造中心和供应链枢纽的地位。

增长原因在于照明产品刚需韧性彰显；防疫和宅经济产品成为提振项；外需边际逐步改善；“替代转移效应”显著。

出口产品方面具有光源替代进展稳定；LED 光源价格持续下滑；LED 灯丝灯出货量高增；科研、医疗、紫外等防疫相关产品出口猛增；植物照明发展迅速；消费端产品好过工程端产品等几个特点。

出口目的市场来看，新兴经济体为主的亚太市场的表现明显好于发达经济体为主的欧美市场。亚太市场中，东亚、西亚、东南亚、大洋洲市场均有着较好表现；欧美市场中，北美市场的恢复程度要好于欧洲市场和拉美市场。

出口企业面临的现实困难在于产品价格下滑，汇率大幅波动，原材料元器件涨价缺货，航运业爆舱缺柜，部分地方停电限电等问题。

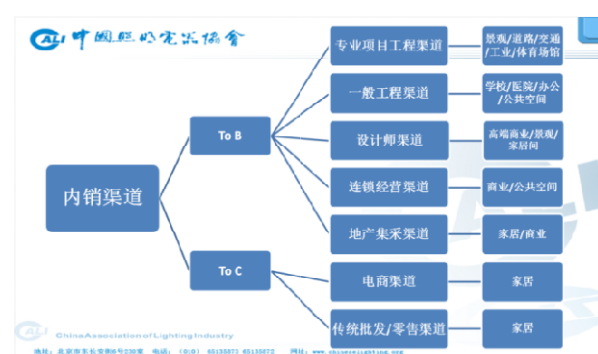
三、内销

从供需角度看，相对集中决策组织的供应侧恢复要好于分散决策响应的需求侧。而从需求端来看，在 2020 年国家全力投资“两新一重”的背景下，投资拉动的 B 端市场表现要远好于消费拉动的 C 端市场。道路/隧道、轨道交通、教育等领域表现较为突出，而以家居照明为主的消费 C 端由于疫情导致

的社会就业和收入结构性下滑所拖累，下降较多，需要较长时间来休养生息，重塑信心。据统计局数据，2020 年，我国除汽车以外的社会消费品零售额约 35 万亿元，同比下降 4.1%。

内销近年来面临的机遇和挑战：

01、渠道变革



首先是新渠道分流效应显著，挤压传统渠道的空间。传统的无论是零售批发还是工程渠道，目前都受到上述新渠道模式不同程度的分流影响，而这些新渠道模式的共性在于，对照明供应商的品牌，对产品的品质，对服务的能力都有着更高的要求。以前是八仙过海、鱼龙混杂的局面，而在目前行业逐步进入存量竞争的格局下，将向优胜劣汰、趋于集约的方向发展。

02、产品变革

市场需求趋向细分化和专业化，细分市场也向着再细分的趋势发展。以商业照明为例，其作为通用照明的一个分支，近年来随着不同商业空间客户需求的高端化、个性化和定制化发展，市场也向着再细分的趋势发展，衍生出包括酒店、店铺、办公、超市、

馆藏、餐饮、站房、教室等多个再细分领域，甚至还在向冷链、珠宝、烘焙等更细分领域延展。在此背景下，产品和服务也要紧随市场需求转型升级。

另外就是消费习惯变化，比如目前行业炙手可热的无主照明潮流，实质上是由消费习惯变化所致，而它实质上也只是一种照明手法的演进，是否采用完全取决于应用场所对光的根本需求。

总之，市场需求是产品变革的决定性力量。

03、供应链变革

规模企业的业务不断延展，渗透各细分市场，产品线及经销体系也趋向大而全。规模化企业特别是在部分领域市场本就具备突出实力的自主品牌渠道企业，在近年的发展过程中受竞争环境和业绩压力促使，产品线不断拓展，趋向广泛而齐全，在巩固其强势市场地位的同时，在细分领域市场也几乎均有涉猎，这无疑挤压了中小企业的生存空间。

但因 LED 照明的品类多样化特性，单一企业不可能面面俱到且样样精通，因而未来规模化企业间竞争将演进至在创新研发为基础的优质供应链体系间的竞争。在这个竞争格局下，部分具备创新和制造比较优势的中小企业，将成为渠道品牌见长的规模企业生态链中的重要组成部分，即社会分工的一环存在并发展下去。

04、商业模式变革

疫情促进下新的商业模式加速显现，体现关键商业要素“人货场”之间关系的剧变。传统的模式下，“人”通过去线上或线下的“场所”基于主动寻找需求的“货”；疫情扮演了催化剂的角色，大大加速了无接触经济、宅经济的进程，现在新零售则是“货”通过直播、短视频、嵌入广告等“场景”主动去找“人”了。

可以预见，疫情带来的印记在疫情结束后不会消失，未来商业模式将被重塑，多场景购物让用户的消费决策更加碎片化和个性化。相关厂商需要在线上的虚拟空间中拓展销售边际，打破线下物理空间中销量的天花板。

四、热点细分市场

01、景观照明

景观照明市场详情[点击阅读](#)：

温其东 | 2020 中国户外照明市场运行情况

02、道路照明

道路照明市场详情[点击阅读](#)：

温其东 | 2020 中国户外照明市场运行情况

03、离网照明

离网照明(Off-grid lighting)，即离开市电电网的可依托自供电源运行的照明产品，便携照明、移动照明、可充电照明、应急照

明、太阳能照明、手电筒等均属此范畴。LED 逐步进入通用照明应用后, 由于 LED 点光源体积小和可低压驱动的特点, 加之其光效的不断提升, 小功率即可满足大部分照明需求, 体现出高效节能、简易便携且适用性强等特点, 在不便连通市电或需要临时性应急性照明的场合下具有其独特优势, 目前正向着功能多样化和应用广泛化发展。

根据世界银行等相关国际机构报告, 全球仍有高达 8.4 亿人口处于无电力供应状态, 主要分布在印度和非洲等欠发达地区, 诸如此类没有电力或没有稳定电力供应的人口被称为“离网”人口, 大量存在的“离网”人口的照明需求已蔚为可观。还要加上诸如抢险救灾、消防应急、野外工作、户外活动等临时性应急性场景都有着对离网照明的刚性需求。2020 年, 我国出口到全球的手电筒及其零件和自供能源手提式电灯及其零件总共达 23.5 亿美元, 同比增长 2%, 近年维持了较为稳定的增长。

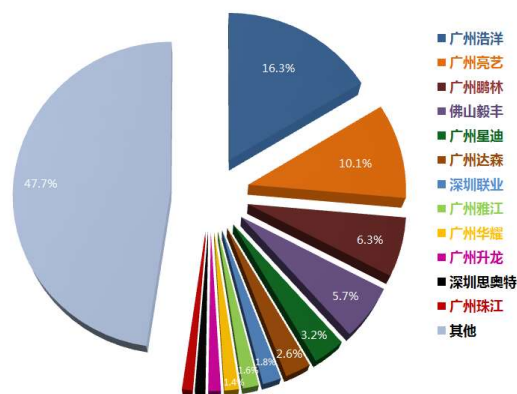
目前, 国内厂商康铭盛、金莱特、海洋王、珈伟、久量、金源、朗恒、东昂、双宇等在离网照明这一细分领域颇有建树。产品质量、同质化竞争、低价竞争是发展过程中需要亟待解决的问题。

04、舞台照明

舞台照明设备主要应用于剧场剧院、文化场馆、演唱会场馆、会议场所等。同时, 随着旅游市场的发展, 娱乐主题公园、文旅灯光秀等对舞台照明设备的需求也愈发可

观。另外, 近几年景观亮化市场的火爆也促使不少舞台照明厂商介入景观照明相关产品的研发制造销售。我国从事舞台照明设备研发制造的厂商主要位于珠三角一带, 特别是广州、深圳。随着国内社会经济持续的发展, 城镇化进程的不断深化和广大民众对品质文化生活的需求依然蓬勃, 国内市场潜力依旧。

中国舞台灯厂商出口份额占比情况



出口市场方面, 欧美国际品牌商的品牌建设和市场渠道相对成熟, 所以和整个照明行业类似, 国内出口厂商目前仍以 OEM 模式和 ODM 模式为主, 其中部分厂商如雅江、珠江、升龙等自主品牌出口运营较好。2019 年, 舞台照明产品出口总额突破 5 亿美元; 2020 年受海外疫情影响, 演艺设备市场需求大大衰退, 舞台灯出口大幅下滑 40%-50%。未来随着各国疫苗接种的推广覆盖, 疫情得到有效缓解, 相信被滞后的需求将会回暖。

05、教育照明

2020 年照明行业最热的领域, 室外可

算多功能灯杆，非视觉当属紫外，而论及室内的话教育照明则当仁不让。

我国目前共有各类学校 52 万所，其中义务教育阶段的学校就有 21 万所，班数达 375 万个，校舍面积超过 14 亿平方米，且中小学教室普遍存在缺乏整体设计、照度偏低、频闪严重、眩光污染、颜色失真等诸多问题，颇具改造潜力。另一方面，由于和保护青少年视力相关，因而教育照明领域已不仅仅是照明行业的事，也受到了全社会的关注。

2019 年八部委出台的《综合防控儿童青少年近视实施方案》是为贯彻落实总书记关于学生近视问题的重要指示精神，也给作为改善视觉环境中重要教育装备的相关照明产品在政策层面打了一支强心针。接下来的 2020 年，国家和地方层面都在陆续出台教育照明相关的标准规范，对引导和规范市场的发展有着积极作用。同时，大批欲夺得市场先机涌入该领域的照明厂商需要注意的是，教育照明只是室内照明内销市场的一个细分分支，市场体量有限，当下热点确需把握，但过热易导致过剩，开始一拥而上可能最终一地鸡毛，相关厂商还是应该立足自身长远，预期回归理性。

06、植物照明

人工干预的植物照明源于农业模式发生变化，在传统照明时代就已广泛应用。2020 年疫情肆虐下，植物照明领域逆势快速发展，成为照明行业细分市场中的亮点，

体现在出口市场高速增长、标准规范持续完善、企业投入继续提升、应用场景不断拓展。在北美大麻商用合法化和全球疫情引发的食物和药品供应短缺及居家隔离增多等多重因素推动下，2020 年植物照明产品出口额大增，在多家头部厂商取得了业绩翻番的同时，也有更多的新玩家涌入。

植物照明作为一项多学科交叉的综合系统集成工程，需同时解决植物光生物学、照明技术、光环境控制等有机融合发展的问題，具有较高技术门槛。照明行业中普遍存在“重光照轻植物”的思路，实质上植物本身的前沿系统性研究是核心要素，而相关厂商不仅要解决植物生长所需的光谱分布、光合强度、光照周期、均匀照度等问题，首要的还是解决产品本身的问题，比如在很多的大功率应用场合，因效率、成本和可靠性问题，传统的高压钠灯和金卤灯依旧是主力产品。另外主要受成本因素制约，LED 植物照明目前在高附加值作物上应用较多。

总体上讲国内植物照明特别是 LED 植物照明领域尚处于发展的初级阶段，一方面具备可观的发展潜力，另一方面在行业中现存的市场接受度较低、中上游核心技术缺失、专利布局不足、成本投入高企、企业产出效率偏低、综合型人才缺乏、相关标准体系不完善等问题方面都有向美国、荷兰、日本等领先国家学习进步的空间。

07、紫外消毒

首先要明确紫外线杀菌消毒灯并不是

新兴事物，在传统照明时代已经有着广泛应用。事实上，在防疫抗疫战场上发挥主力作用的仍旧是传统的低压气体放电灯，2020年，我国出口到全球的紫外线灯7500万只，计4.8亿美元，同比增长高达460%，在抗疫一线可谓居功至伟。

另外需要以正视听的是，《关于汞的水俣公约》旨在淘汰含汞量超标的普通照明用荧光灯以及全部高压汞灯产品，而特殊照明用途的紫外线灯产品并不在限制之列。

受疫情带动，UVC-LED也是开展得如火如荼，原本处于产能低位的UVC-LED器件/模组一度一货难求，引得产业链上中下游各端的厂商纷纷加大投入。作为一种环境友好型杀菌消毒的物理手段，深紫外LED也被研究机构证实可有效杀灭新冠病毒，除此之外它在诸多有杀菌消毒需求的场合也具备广泛的应用前景，市场潜力巨大。

但就目前来讲，其主要受困于光电转换效率偏低和成本高企的问题，尚处于发展的初级阶段，未来若要全面推广，在光效、寿命、成本、标准、检测、专利、可靠性、应用安全等诸多方面还亟待完善。

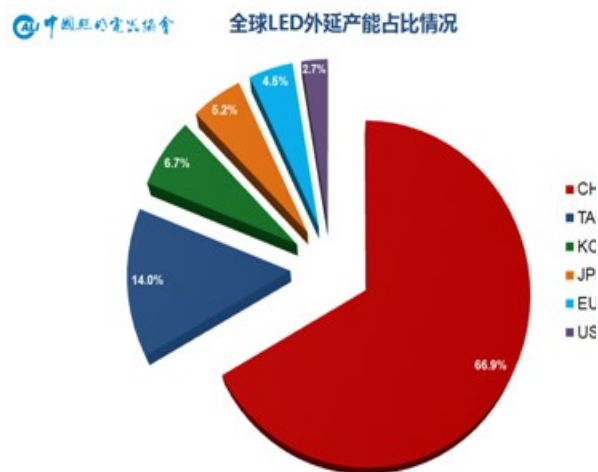
上述细分市场未论及健康照明和智能照明，笔者认为两者已非细分市场，是全行业的发展方向，普适性理念和未来基本要求，即照明产品都需追求健康化智能化。无论光源还是灯具，灯杆还是附件等照明产品要作为智能家居延展至智能建筑乃至智慧城市中的终端而存在并服务于人类活动之

中，发挥重要的载体作用，最终形成能够自适应提供健康舒适光环境的智慧化系统。

五、产业链各端

01、外延芯片：供需失衡状况延续，谨慎看待短期反弹

市场环境持续不景气，突如其来的疫情无疑是雪上加霜，进一步抑制了本就处于低位的下游需求。加之中美贸易摩擦持续，兆驰等新玩家的产能释放，政府补贴显著减少，主要厂商库存积压等多重因素的综合作用下，芯片价格下行压力大，库存居高不下，产能利用率持续低位的循环在2020年延续。存量竞争态势将持续推动产业聚拢度的增大，已是资本和产能双聚集且规模制胜的国内上游板块将愈发呈现高度集约格局。



结合中短期经济形势和行业基本面情况，LED芯片供需失衡的格局没有实质性变化，近期原材料涨价推动的上游芯片涨价在笔者看来实属周期性触底反弹，而非趋势性回暖。

02、封装：双向压力挤压空间，布局蓝海寻找出路

受到此前上游外延芯片扩大产能和下游照明应用需求偏弱等供求关系方面的影响，中游封装器件受双向压迫下，价格下行压力较大，出货量增长乏力。各大头部厂商间同质化竞争日趋激烈，更多聚集在制造规模优势和成本竞争能力，疫情的到来进一步加剧了竞争环境。

在通用照明领域惨烈竞争所带来的业绩压力和照明应用向光品质、健康化、智能化方向发展的背景下，很多封装厂商将目光放在了光品质以及车用、农业、红外、紫外、Mini/Micro 等利基领域，试图通过创新研发来开拓蓝海市场。

03、各项配套：创新研发降本增效，竞争加剧紧随应用

照明作为深供应链行业，各项配套涵盖了驱动电源，机械配件，光学配件，生产和检测设备，以及原材料元器件等供应链厂商。近期这轮原材料元器件涨价缺货对产业链上的企业影响不尽相同。

对比下游应用厂商的相互渗透，配套领域也有类似状况，诸如主营中小功率电源的厂商，目前几乎都在拓展大功率产品，相关企业加大研发创新力度来降本增效加以应对竞争环境，并紧随下游应用健康化智能化并注重设计的高品质发展。

04、照明工程：政策疫情双重冲击，

智城文旅复合转型

2019 年年底中央“不忘初心、牢记使命”主题教育领导小组印发了《关于整治“景观亮化工程”过度化等“政绩工程”、“面子工程”问题的通知》，核心在于杜绝过度亮化和政绩/面子工程，城市亮化水平应与城市本身的经济社会发展程度和文化气质特点相适应，促使整个景观照明市场步入理性建设的新阶段。2020 年伊始爆发的国内疫情影响主要体现在项目施工和业务拓展停滞，同时对项目验收和回款也造成不利影响，致使各相关企业计提的坏账准备陡增。总体而言，规范亮化市场的政策对行业的影响力度要大过疫情所带来的影响。疫情的影响是暂时性的，但文件的影响在行业格局上是深远的。同时也可以看到，照明工程领域的相关企业已纷纷进入转型阶段，一部分在转型文旅夜游项目，另一部分则向智慧城市建设过渡，还有则是两者兼而有之，整个照明工程板块已进入发展新常态。

六、资本市场

2020 年也是中国资本市场 30 周年，整个资本市场也度过了不平凡的革新之年。自 2019 年证监会第十八届发审委上任后，IPO 审核、核发双双提速，过会量和过会率显着提升，同时注册制的实施大大加快了 A 股 IPO 的速度。2020 年照明行业相关企业注册上市共 7 家，仅少于 2017 年顶峰时的 12 家，募集资金总额超过 90 亿元，多用于扩充产能、投入研发和补充流动资金；另有 6

家已过会，9 家正在排队；此外，更有为数不少的企业股改完成，辅导完毕，紧锣密鼓地筹备上市。

除 A 股之外，新三板在 2020 年实施了一系列深化改革政策，特别是明确了新三板公司转板上市的具体实施路径。对于广大照明企业来说，多了这一条 IPO 的新增路径，部分业绩向好、具备一定核心竞争力且规范化运营的中小型企业具备不错的机会。

中国资本市场经过 30 年的成长，在完善中国特色多层次资本市场体系道路上不断成熟，现阶段以全面注册制结合完善退市制度改革为核心。未来资本市场的股权投资将回归本质，在技术研发上有优势、在价值模式上有创新的这类具备核心竞争力的企业将更能被市场所接受。鉴于此，照明行业中已经或是即将或是期待进入资本市场弄潮的实力企业，都应在聚焦主业的同时，把握机会，拥抱变革。

七、国际大企业动态

昕诺飞 Signify



2020 年，昕诺飞以创纪录的 14 亿美元巨资收购了伊顿旗下北美灯具大厂库柏照

明，并先后宣布关闭北美的堪萨斯州萨莱纳和密西西比州图珀洛工厂。年底又接连加大在华投资扩产力度，先是旗下凯耀照明在江西瑞昌投建全新 LED 照明生产基地，之后又宣布在江苏仪征投资 1300 万欧元新建 3 条 UHP 投影灯生产线、2 条大功率紫外线杀菌灯生产线和 5 条金卤灯生产线。其业务上在可互联照明、紫外消毒、植物照明等热点市场加强了布局。

可以看出，荷兰巨头仍旧坚守照明行业，并继续强化其品牌、市场、制造、研发等多方面的优势；此外，布局将制造和供应链逐步撤出欧美，并向中国集中。

欧司朗 Osram



2020 年 7 月，在经过欧盟委员会的无条件批准之后，欧司朗被奥地利微电子 ams 的收购正式对外宣布完成，整个交易金额预计高达 46 亿欧元。

与 ams 的合并进一步推动了欧司朗转型，调整动作接连不断，欧司朗一方面与德国大陆集团计划拆分两年前刚成立的汽车照明合资企业 Osram Continental，决定为数字业务部门 DI 旗下从事电子与电源业务板块的数字照明系统 (DS) 寻找潜在收购方。另一方面计划扩增马来西亚居林工厂的设

备投资以生产 MiniLED，并采购了美国 Veeco 高质量的 Lumina MOCVD 系统，力求在 IRED、EEL 和 VCSEL 等光电领域有所建树，还通过风险投资部门 Fluxunit 收购美国深紫外 LED 供应商 Bolb20%股份。

这一系列动作表明，近年来就旨在从传统照明公司向光电领域高科技公司转型的欧司朗在与 ams 合并之后，其业务向物联网平台、智能控制、光管理软件、激光和传感技术等方向发展的步伐将进一步加快。

通用电气照明 GE Lighting

General Electric Sells Its Consumer Lighting Business

General Electric is selling the unit to Savant Systems, a smart home co.

2020 年 5 月，通用电气将其消费者照明业务出售给了北美专业智能家居厂商 Savant Systems。

继 2018 年将旗下的主要从事专业照明业务的 Current 出售给私募股权公司 AIP 之后，这一举动也标志着 GE 全面告别了其拥有近 130 年历史的照明业务。其在中国从事照明业务活动的公司也有了新的名字——肯舒摩照明（上海）有限公司。

科锐 Cree

Cree, Inc. to sell LED Business to SMART Global Holding Inc. for up to \$300 Million

Mon, 19 October 2020, 6:00 pm GMT+8



继 2019 年 3 月，美国碳化硅巨头科锐将其 LED 照明成品业务以 3.1 亿美元卖给美国 IDEAL 工业集团之后，2020 年 10 月，科锐又宣布与美国电子产品厂商 SMART Global Holdings (SGH) 达成最终协议，将 LED 器件业务出售给后者，交易价格达 3 亿美元。科锐还计划在美国纽约州马西投资近 10 亿美元打造全球最大的碳化硅制造工厂；与此同时，位于其总部北卡州达勒姆的超级材料工厂的建设也在进行之中。且在不久前，科锐称将于 2021 年底将公司正式更名为 Wolfspeed。

通过业务剥离和投资，科锐也作别了 LED 照明业务，专注于化合物半导体射频和功率器件以及碳化硅材料，来应对和新能源汽车、移动通信、工业电源等利基市场日益提升的需求。

综上，国际照明巨头除了昕诺飞等少数派仍坚守阵地之外，大多是在“退”，这也是近年来的一个明显趋势。LED 进入照明应用领域是一次技术上的革命，同时对全球照明行业格局产生着巨大影响。在 LED 时代，国际照明巨头在研发设计制造等方面的技

术优势比之传统时代已不再显著，因此他们通过兼并、收缩、退出、转型等手段不断进行调整，以应对中国照明企业的快速成长所带来巨大冲击和压力。中国已是全球照明制造中心和供应链枢纽，相信在不远的未来，中国照明将从制造大国逐步发展为制造强国，涌现出一批照明跨国巨头。

小 结

我们一度习惯于疫情尚未到来的世界，也经历了国内疫情肆虐时全民隔离时期，现在我们则需要认识到过去的世界已经一去不复返了，要适应边防疫抗疫边生产生活的新常态。

在疫情风暴肆虐全球之下，中国作为凤毛麟角的全面遏制住疫情的主要经济体，复工复产复商复市领衔全球，全年 GDP 破百万亿人民币，增速达到 2.3%，社会生产生活也基本回归正轨。而中国照明行业是个具备全球竞争力的行业，作为全球照明制造中心和供应链枢纽的地位短期内难以被取代，应用设计、智能化和健康化又给照明行业赋予了更多的附加值和想象空间，我们理应对中国照明行业的发展前景充满期待。

展望 2021 年，双循环的国内市场方面，国家对“两新一重”的投资不减，城镇化进度将持续深化；大城市群逐步形成规模，楼市仍具备发展潜力，地产精装率提升空间较大；落实需求侧改革也将对修复 2020 年受创的居民消费能力产生重要作用，国民经济生活对照明产品的基本需求还是普遍存在的，各细分市场也将渐入佳境，所以今年的内销大概率恢复到疫情前。出口市场方面，前景的不确定性依然存在，防疫物资出口高增和转移替代效应均较难长期维持，全球经济衰退和供应链外溢风险都是不利因素，特别是 2020 年的出口高增造成的增长基数过大，2021 年继续增长也将面临较大压力。预测今年出口增速将呈现前高后低的态势，也不排除后期进入负增长的可能性。

2021 年是“十四五”开局之年，当前全球疫情威胁未除，导致前景仍存诸多变数。广大照明企业还是坚定信心，聚焦主业，加强创新，砥砺前行，一同促进全行业的高质量发展。

(来源：中国之光网)

行业分析 | Industry Analysis

LED 照明技术在渔业中的研究应用及展望

刘鹰^{1, 2}

(1.大连海洋大学 海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023; 2.设施渔业教育部重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要:光是影响生物生长发育最为重要的环境因子之一, 自然水域中的光环境十分复杂, 水生生物经过亿万年的进化适应, 已形成了独特的感光系统和光调控生理机制; 现阶段水产照明技术的发展显著滞后于水产业的发展需求, 以及产业转型升级的科技需求。本文综述了 LED 照明技术在水产养殖、水产消毒杀菌、微藻培养、远洋渔业中的研究与应用现状, 通过对比分析, 并结合中国水产业以绿色发展为目标, 以减量增收、提质增效为着力点的产业和科技需求, 提出了未来的发展展望。

关键词: LED; 生物光环境效应; 紫外杀菌; 微藻培养; 远洋渔业

中图分类号: S972.632; S917 文献标志码: A

Research and development state and perspectives of LED technology in fisheries and aquaculture: a review

LIU Ying^{1,2}

(1.College of Marine Science and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2.Key Laboratory of Environment Controlled Aquaculture, Ministry of Education, Dalian 116023, China)

Abstract: Light as the most important environmental factor affecting growth of aquatic animals has formed a unique sensory system and light regulation of physiological mechanism in aquatic organisms via one hundred million years of evolutionary

adaptation. At the present, lighting technology development obviously lags behind the demand for the development of aquaculture, as well as the industry transformation technology requirements. This paper summarizes the research and application status of LED technology in aquaculture, aquatic disinfection and sterilization, micro-algae culture and pelagic fisheries, and the development prospect in the future is put forward through comparative analysis, being combined with the green development and high efficiency and high quality demand of aquaculture and fisheries in China.

Key words: LED; environmental effect of bioluminescence; UV sterilization; pathogenic microorganism; distance ocean fishing

中国是世界第一水产养殖大国, 水产养殖总产量占世界养殖总产量的 60%以上。2018 年, 中国渔业产值为 12 815.41 亿元, 约占农业总产值的 21%, 水产品总产量为 6457.66 万 t, 其中, 养殖产量为 4991.06 万 t, 捕捞产量为 1466.60 万 t, 养殖产量远超捕捞产量^[1]。

在自然界中, 许多环境因素对水生动物的生长、发育和繁殖等有重要影响^[2], 如气候、季节、溶氧、光照等。“万物生长靠太阳”, 光被认为是影响水生生物生长、发育和生存的关键环境因素之一[2-3]。水生生物在其不同的生长发育阶段, 以及应对不同的生产要求时, 需要构建不同的光照调控策略, 然而目前对水生生物的光生物效应(包括生物钟、光合作用、生物光谱、光化学、光敏化作用、光感受、光视觉、光运动等)及其变化规律还存在认识不足[4-5]。近年来, 随着水产养殖业的快速发展, 人工光源(金卤灯、

白炽灯、碘钨灯、荧光灯和 LED 灯)虽越来越多地应用于生产中, 但仍存在光照(光谱、光照强度和光周期)的精准调控技术和光配方尚未建立, 生产中的光环境调控多依赖操作人员的经验, 未形成养殖过程不同阶段的精准光环境调控体系等问题。

随着光电技术的发展, 发光二极管(Light-emitting diode, LED)作为第四代新型照明光源, 不仅节能环保、光电转换效率高、寿命长、发热低、冷却负荷小^[2], 还具有光照强度、光质、频谱组合可调节等优点。其兼具光、电、热等多种优良特性(高光效、低功耗、低发热等)及结构方面的优势(如体积小、重量轻、安全性高等)^[3], 使之在各领域的应用中逐步取代传统光源的地位, 具有广泛的应用前景[2-3]。随着中国水产养殖业的转型升级、绿色发展和捕捞业的技术进步, 对 LED 光源的需求日益增加。本文综述了近年来 LED 照明技术在渔业中的研究与应用现

状, 以期为 LED 技术在渔业领域的应用提供理论参考和实践指导。

1 LED 技术的发展现状

LED 从投入市场到现在已有 40 多年的历史, 目前 LED 技术指标大幅提升, 应用进入了一个繁荣成熟的新时期^[4]。2018 年, 中国半导体照明产业产值达 7374 亿元 (<https://73b87ef2c942f977eb3e0eff9fef7351.vpn.njtech.edu.cn/news/20200228/115127752.html>, 2020.2.28), 关键技术并跑国际, 创新应用技术长足进步, 主要体现在: (1)功率型白光 LED 光效超过 200 lm/W, 与国际水平持平, LED 批量制造水平的光效约 150 lm/W, 远超传统光源^[5]; (2)自主知识产权的硅基 LED 技术全球领先, 功率型硅基 LED 芯片产业化光效达到 170 lm/W, 硅基黄光(565nm@20A/cm²)电光转换功率效率达到 26.7%(“硅基金黄光 LED”项目落户赣江新区, 经济晚报 2019.07.31); (3)在高品质、全光谱 LED 技术方面, 当前已有双蓝光+多色荧光粉混色的生产应用, 最大程度让 LED 接近太阳光谱; (4)显示驱动技术创新, LED 小间距显示及 Mini LED 蓝绿显示芯片外延尺寸及优良率方面均有较大水平提升, 达到产业化需求; (5)在元器件方面, 开发了 SMD0606/0404、COB 和四合一封装技术, 四合一封装采用倒装工艺, 能够最大程度地提供 LED 芯片的有效发光面积和散热面积, 进一步提升产品光学特性和可靠性; (6)UVC-LED 核心高铝组分材料技

术取得突破, 通过纳米图形蓝宝石衬底, 实现位错密度降低 3 倍以上。武汉光电国家研究中心应用单片集成技术获得了国际上 UVC-LED 芯片最高电光转换效率值 21.6%, 为实现高效深紫外 LED 提供了新思路。随着研发投入的加大和生产应用的不断扩大, LED 技术正呈现加速进步的态势, 同时成本的快速降低, 为 LED 照明技术在水产养殖领域应用迎来更广阔的发展空间。

2 LED 技术在渔业中的研究应用

2.1 光照对水产动物生长发育的影响及作用

光照是影响水生生物生长与行为最重要的环境因子之一, 也是其内源节律的启动因子^[6]。适宜的光照环境(光谱、光强、光周期)对水生动物的生长和发育具有重要促进作用, 而不适的光照环境会造成养殖动物的生长阻滞、畸形、胁迫甚至死亡^[7]。由于不同波长的光在水体中传播能力存在差异, 造成自然水域中的光环境十分复杂, 水生动物经过亿万年进化适应, 已形成了独特的感光系统, 如鱼类通过视网膜与松果体的光感受器接收光信号^[8], 而贝类除头足纲类具有复杂结构的眼外, 通常无头、眼, 或具有简单的眼部结构^[9]。

2.1.1 光谱 不同波长的光在自然水体中的传播能力不同, 长波长和紫外线光在水体中很快被吸收或被散射, 而短波长光在水体中具有较强的穿透力, 因此, 形成了上层

水体中长波长、中波长、短波长光均存在，而底层以短波长为主的光谱环境^[10]。由于不同水生生物在自然界中所处的光环境不同，其适宜生长的光环境亦存在差异^[10]，如在鱼类中，条斑星鲽 *Verasper moseri* 在绿光下的生长速度显著快于红光^[8]；虹鳟 *Oncorhynchus mykiss* 在蓝光下生长速率显著降低，肝脏总脂、血糖含量降低，大脑多巴胺能和五羟色胺能神经元活性升高^[9]；大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 仔稚鱼最适光谱具有阶段特异性，随着变态过程的进行，最适光谱逐渐由全光谱向短波长的蓝光迁移^[7]；雄性罗非鱼 *Oreochromis niloticus* 在蓝光下的繁殖行为，如清除砂砾和建筑巢穴的能力加强^[10]。在贝类中，蓝光和绿光能显著提高皱纹盘鲍 *Haliotis discus hannai* Ino 幼体的孵化率和变态率，并且随光强的增加而减少，而红光和橙光显著增加担轮幼虫畸形率和变态所需时间，且随光强的增加有显著升高的趋势^[11]。在甲壳类中，绿光能显著增加红壳色中华绒螯蟹 *Eriocheir sinensis* 仔蟹的生长，而黄光则对正常壳色仔蟹更为有利^[12]。

2.1.2 光照强度 光照强度在水体中随水深的变化改变较大，表层水光强较高，而底层水光强较弱，在长期的进化适应中，不同水层生物的光感受器结构存在较大差异，以适应各自栖息地的光环境^[13]。以鱼类为例，半滑舌鲷仔鱼早期阶段视网膜会聚程度低、视敏度较高且光感受细胞为高密度的单锥细胞，适应于表层强光环境，而变态后，视网

膜会聚程度增加，视敏度下降，视杆细胞密度增大，适应于底栖弱光环境^[14]；光强对生物的生长影响显著，高强度蓝光会引起大西洋鲑 *Salmo salar* 的急性应激反应^[15]；银鲫 *Carassius auratus gibelio* 幼鱼生长的最佳光强为 $0.03 \sim 1.08 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，其在黑暗环境中易发生肝胰脏氧化应激，而当光照强度增加到 $9.46 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时，血浆皮质醇、葡萄糖和乳酸含量会显著升高^[16]；皱纹盘鲍在蓝、绿光下，随着光强的增加，壳长、壳宽和特定生长率均有下降趋势，而在白光下当光强达到 $40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时，幼虫变态规格显著减小^[17]；三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus* 在 1500 lx 光强下受到较少胁迫，表现出较高代谢水平^[18]。

2.1.3 光周期 水生动物生存的水体环境是动态的，昼夜交替和季节交替是自然环境的重要特点，为了适应这种变化，鱼类进化出了内源性计时机制，即生物钟^[19]，如斑马鱼幼体在孵化后 5 d 就表现出运动行为的昼夜节律，对应于主动游泳行为和觅食活动的开始^[20]。在硬骨鱼类中，光信号被视觉或非视觉感受器接收后，通过神经信号转导及激素信号传递等过程，传递至松果体，影响褪黑素分泌，并最终对鱼类生长、发育和行为产生重要影响^[20]，如黑线鳉 *Melanogrammus aeglefinus* 在短光照(<12L)条件下，孵化期显著延长^[21]；条纹婢 *Latris lineata* 在 24L : 0D 和 18L : 6D 光周期下，生长率显著高于 12L : 12D 时，且 18L : 6D 的光周期能显著提高仔鱼开鳔后的活力^[22]。

光周期对甲壳类和软体动物的生长也有重要影响,如在红光下,4L:20D和8L:16D是促进皱纹盘鲍摄食和生长、减少氧化应激的最佳光周期,但当光照时间超过12h时,淀粉酶、纤维素酶、胃蛋白酶活力均受到显著

抑制^[17];红螯螯虾 *Cherax quadricarinatus* 在12L:12D和18L:6D光周期下生长速度最快,蜕壳频率最高,而在18L:6D和24L:0D光周期下成活率最高^[23]。主要水产养殖种类的光环境调控参数示例如表1所示。

表1 主要水产养殖种类的光环境参数调控示例

Tab.1 Examples of light environment regulation parameters in main farmed aquatic animal species

种类 species	光谱 light spectrum	光强 light intensity	光周期 light period
大菱鲆 <i>Scophthalmus maximus</i>	全光谱(变态前)转为蓝光(变态后) ^[24]	1~1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ^[25]	仔稚鱼期:24L:0D ^[26] ; 幼鱼期:16L:8D ^[27]
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	高密度:蓝光; 低密度:红光 ^[28]	—	—
点带石斑鱼 <i>Epinephelus coioides</i>	—	仔鱼:500~700 lx ^[29]	幼鱼:24L:0D ^[30]
红鳍东方鲀 <i>Takifugu rubripes</i>	仔稚鱼:黄光 ^[31]	—	仔稚鱼:8L:16D~12L:12D ^[32]
鲷科 Sparidae	条石鲷 <i>Oplegnathus fasciatus</i> ; 绿光 ^[33]	黑鲷 <i>Acanthopagrus schlegelii</i> 仔 稚鱼:205~1370 lx ^[34]	黑鲷仔稚鱼:24L:0D ^[34]
鲈 seabass	花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i> ; 蓝光 ^[35] ;欧洲舌鳎 <i>Di- centrarchus labrax</i> ;蓝光 ^[36]	欧洲舌鳎仔鱼后期:50~100 lx ^[36]	花鲈:18L:6D ^[35] 欧洲舌鳎:12L:12D ^[36]
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	黄光 ^[18]	800 lx ^[18]	蚤状幼体 Z1、Z2 期:10L:14D~11L: 13D;蚤状IV期幼体:14L:10D~18L: 6D;大眼幼体:13L:11D~20L: 4D ^[37]
凡纳滨对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	全光谱 ^[38] ; 可添加适当紫外线(波长峰 值355nm) ^[39]	I期蚤状幼体适应光强1500lx 以下,后期可逐渐增强;糠虾 幼体期可适应光照在5500lx以 下的环境;仔虾期则可适应 120000lx的光照 ^[40]	大规格对虾(>1.0cm)不受光周期影 响;小规格(0.5cm)对虾应延长光 照时间(12L:12D~24L:0D) ^[41]
皱纹盘鲍 <i>Haliotis discus hannai</i> Ino	养成期:红、橙光; 苗种繁育期:蓝、绿光 ^[17]	苗种繁育期:5~15 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[17]	养成期:4L:20D和8L:16D ^[17]

2.2 LED 技术在水产杀菌消毒中的应用

随着水产养殖业的快速发展,污染导致的养殖环境恶化和病害时有发生。养殖生产中主要病害生物有病毒、细菌、真菌、寄生虫及其他一些病原。2018年,全国水产技术推广总站共监测到水产养殖动物发病种类66种,各类主要疾病38种,因病害造成的经济损失约450亿元,其中弧菌属引起的9种细菌疾病造成南美白对虾损失117.8亿元^[42]。产业急需高效无污染的有害微生物物理灭活处理技术与产品,目前生产中多采用

广谱安全高效的紫外线消毒技术。传统的紫外汞光源灯管在水中破碎易造成严重污染,发光效率与寿命受温度与电压波动影响大,而且360度发光,光学设计需要较大的空间;2017年中国批准加入的《关于汞的水俣公约》正式生效^[43],禁汞步伐正加快推进。而半导体固体材料的紫外发光二极管(UV-LED)具有节能、环保和体积小等优点,在杀菌消毒和生化检测等领域具有广阔的应用空间。近年来,UV-LED技术在水产领域的研发应用逐渐增多。紫外(Ultra Violet, UV)光通常分为UVA(315~400nm)、UVB(280~315

nm)、UVC(200~280 nm)及 VUV(10~200 nm)^[44]。UVC 波段波长短、能量高,紫外光子的吸收导致 DNA 和 RNA 结构发生变化,失去复制能力,从而导致细胞死亡^[45],达到直接杀灭或抑制病原微生物繁殖的作用。UV-LED 是一种极具替代汞紫外线灯潜力的新型紫外光源,其具有不含汞、节能环保、寿命长、高速开关可控制、光源形状封装可定制、光输出角度小、形状易设计等特点,随着 UV-LED 外量子效率的不断提升,有望在生产中全面取代低压紫外杀菌汞灯。

2.2.1 UV 对养殖水体病原微生物的杀灭作用 传统 UV 辐射消毒光源可短时间有效杀灭细菌、病毒、霉菌、线虫卵等,且具有连续处理大量水体的能力,已被广泛应用于大规模的水产育苗和养殖生产中。用 UV 消毒处理养殖水环境,能使美国红鱼 *Sciaenops ocellatus* 育苗成活率由对照组的 28.1%提高到 32.7%^[46];用 253.7 nm 的紫外线杀菌灯照射 50 min,对中华鳖和乌鳢体表致病菌有较好的杀灭效果^[47];将 253.7 nm 的紫外线管灯安装在水处理工艺的后端,能使半滑舌鳎 *Cynoglossus semilaevis* 的特定增长率从对照组的 0.99% 提高到 21.71%,而且亚硝酸氮平均浓度降低 21.6%^[48];用剂量为 1188 J/m² 的 UV(253.7 nm)辐照水中大西洋鲑 *Salmo salar* 胰腺坏死病毒(IPNV),显示灭活量达到 3 log(减少量为 99.9%)^[49];用剂量约为 0.1 J/cm² 的 UV 辐照附着在鲑鱼体表的海虱,灭活率可达 99%^[50];使用 10 支 30 W 的“黑

光灯”,经 142 d 生产试验,池塘平均增产 820 kg/hm²^[51]。消毒作为水产养殖生产的必要水处理环节,UV 或 UV 结合臭氧已成为生产中对水体病原微生物进行杀灭的必要设备,如中科院海洋所和大连海洋大学分别为大西洋鲑、红鳍东方鲀的循环水养殖企业设计 78 套(120 W 汞灯,45 盏/套)、18 套封闭管道式系统(120 W 汞灯,18 盏/套),安装在生物滤池后端,系统运行和水体微生物杀灭效果均良好。

2.2.2 UV-LED 对养殖水体的消毒应用 用 UVA 波段灯光诱虫,增加鱼类饲料动物蛋白的研究报道较多,并且增产效益显著,但实际使用的都是紫外汞灯(波长 330~400 nm,俗称“黑光灯”)[52-53]。养殖基地大多在野外远离电网的偏僻地方,波长为 360~400 nm 的 UVA-LED,外量子效率与蓝光 LED 水平接近,达到 46%~76%^[54]。目前,国内尚未见 UVB 对水产动物新陈代谢机理影响的研究报道,国外报道显示,很少量的 UVB 可诱发剑尾鱼 *Xiphophorus hellerii* 皮质醇的反应^[55],UVB 水平的增加对三刺鱼 *Gasterosteus aculeatus* 雄鱼交配后适应度相关性状有影响^[56]。气体放电低压汞灯,其总气体压力为 100~1000 Pa,主发射波长为 UVC 波段 253.7 nm,功率为 5~100 W,辐射效率在 30%左右,寿命可接近 1 万 h^[57]。

2.3 LED 技术用于微藻培养

微藻是双壳贝类育苗的饵料,也是鱼虾

育苗生产中轮虫、卤虫等次级饵料的最初食物，还可用作饲料添加剂，提高水产动物免疫力，提升水产品品质。此外，微藻还具有移除水中氨氮、净化水质、提供氧气等重要作用，因此，微藻对维持优质养殖水环境、增加天然饵料供给、减少养殖尾水排放、构建生态健康养殖模式意义重大^[58]。

微藻培养经常受天气影响，因此，微藻生产需考虑人工补光。若将微藻生物质用作高价值产品(例如食物或饲料添加剂，如类胡萝卜素和多不饱和脂肪酸)时，人造光源在经济上也是可行的^[59]。人造光源可以更好地调节微藻生产中的光照强度、光周期和光谱，以提高微藻生物量产率和光合效率，目前主要微藻品种受光环境调控的研究进展如表 2 所示。作为最重要的人造光源，LED 将在微藻培养中得到广泛应用。应用 LED 光源时，理论上微藻光合效率可达 17%^[60]，但目前所能达到实际值还比较有限^[59,61]，是产业应用的重要瓶颈。究其原因，在于光能从供给侧(光源)到需求侧(微藻细胞)的传递过程中大部分以热的形式损失。

2.3.1 光照强度 微藻通过光合作用合成与呼吸作用消耗的物质达到平衡时的光照强度称为光补偿点(light compensation point, LCP)。超过光补偿点后，光合速率随光照强度线性增加，超过某个阈值，就会发生光饱和，此时光照强度即光饱和点(light saturation point, LSP)。光抑制是光能超过光合系统所能利用的数量时，光合功能下降

的现象，光抑制主要发生在光系统(photosystem I, PSI)，是微藻细胞本身的保护性反应^[62]。目前已有大量试验研究了光照强度对微藻光合作用及色素积累的影响，表明高光强可以诱导微藻中功能性色素的大量积累^[63-64]，同时，对微藻光合系统的高光强胁迫所导致活性氧的产生机制及防御与保护机制也进行了研究^[65]；此外，光照强度对碳分配和储能物质合成影响的研究表明，提高光强度可以增加微藻细胞中脂质含量^[66-67]。

2.3.2 光谱 不同微藻光合作用系统中含有不同色素，不同色素会吸收不同波长的光，而类胡萝卜素等色素会阻碍某一波长范围光的吸收，所以不同光谱光源造成不同的生物学效应，其影响机理非常复杂。已有试验表明，LED 不同光谱对微藻生长、形态、光合作用效率和次级代谢产物积累等均具有重要的调节作用：利用红色 LED 可使小球藻 *Chlorella vulgaris* 的光合效率提高 118%^[68]；通过增加红光比例，可将莱茵衣藻的光合效率提高 14%^[58]；微拟球藻在红光下的生物质产率是蓝光的 3 倍，但相比红光，在蓝光下脂质含量可以提高 20%^[69-70]；红光更能促进蔷薇藻 β -胡萝卜素的积累^[71]。目前，对多光谱的研究主要集中在红蓝单色光和红蓝双色混合光方面，对于包括紫外线在内的其他多谱光质的研究较少，而多谱混合光质可能产生协同作用，更有利于微藻的生长和物质合成^[72]。

表 2 主要微藻品种受光环境调控示例

Tab.2 Examples of light environment regulation of main microalgae species

门类 category	种类 species	光谱 light spectrum	光强/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) light intensity	光周期 light period	闪光频率 flash frequency	
绿藻门 Chlorophyta	隆顶栅藻 <i>Scenedesmus protuberans</i>	蓝光、红光、 白光	100	24L : 0D	—	白光 高光
	特氏杜氏藻 <i>Dunaliella tertiolecta</i>	红光、蓝光、 红蓝光组合	300	12L : 12D	—	蓝光 红光
	盐生杜氏藻 <i>Dunaliella salina</i>	白光	500	24L : 0D	50 Hz	白光
	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>	红光	255	24L : 0D	10 kHz	白光
	斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>	白光	500	16L : 8D、 14L : 10D、 12L : 12D	—	16L 高光
	莱茵衣藻 <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	红光、蓝光	220~252	24L : 0D	1、10、 100 Hz	白光
	雨生红球藻 <i>Haematococcus pluvialis</i>	蓝光	18	24L : 0D	1 Hz	白光
蓝藻门 Cyanophyta	螺旋藻 <i>Spirulina platensis</i>	红光	3000	24L : 0D	—	白光

2.3.3 频闪光 相比连续光照，高强度但照射时间极短的频闪光可以减少光在生物反应器中的衰减，而且可避免连续强光照引起的微藻光合作用系统损伤和抑制^[73]。频闪光可以减少光衰减，是提高光合效率的有力手段。相比连续光照，使用频闪光能使莱茵衣藻生物质产率提高40%^[58]，小球藻^[74]和螺旋藻^[75]中的生物质产率提高，栅藻中的生物量产率提高3倍^[75]；与连续光照相比，弱连续背景光加频闪光可使盐生杜氏藻光合效率增加85%^[76]，频闪光能使雨生红球藻最终虾青素含量和生物量浓度提高，将虾青素单位产量能耗降低70%^[77]；另有研究表明，在1 Hz频闪光下虾青素含量(干重)比连续光照高1.5倍^[78]。

频闪效应不仅可以通过改变光源实现，还可通过反应器中流体混合实现光暗循环，即微藻因为流体运动在反应器中实现光区和暗区的循环。研究表明，提高光暗循环

频率可以显著改善微藻生物质产率^[79]；在开放池内部增设挡板来提高其混合效果，可将光暗循环频率循环一次的时间从12 s提高到1 s(即1 Hz)，微藻生产效率提高了32.6%^[79]；在平板反应器中增设挡板，可将光暗循环频率循环一次的时间从17.8s提高到4.6s，相应生物质产率提高了70%^[80]；特殊设计的光生物反应器中，通过提高光暗循环频率最高可将生物质产率提高到原来的2倍，而且实现了高密度培养^[81]。以上研究初步显示了频闪LED在微藻培养方面的巨大潜力，但还有许多问题亟待解决，例如，理论上来说，把闪光频率提高到生物响应时间范围内，飞秒(fs)至皮秒(ps)级别，可能会极大提高光合效率，但由于技术原因，目前尚未能进行试验验证^[73,82]。

2.3.4 光周期 与其他生物一样，微藻也受生物钟调节，自然界中微藻很好地适应了光暗周期。如有些微藻细胞分裂生殖

发生在暗周期, 而细胞生长在光周期, 在细胞分裂过程中即使提供光照, 光能也被浪费, 导致光合作用效率降低^[83]。光暗周期还导致微藻细胞中蛋白质、碳水化合物、脂质等成分变化, 而这也会影响生物质产率^[81]。研究表明, 微拟球藻、三角褐指藻在 24 h 连续光照下生长最快, 但金藻在 18L : 6D 的光照模式下生长最快, 微拟球藻、三角褐指藻在连续光照条件下总脂肪酸含量最高, 而金藻在 18L : 6D 的光照模式下总脂肪酸含量最高^[84-85]; 在富油新绿藻的研究中, 14L : 10D 光照条件下光合效率是连续光照条件下的 2 倍, 但是不同光周期对细胞组成成分没有显著性影响^[83]; 在盐藻积累胡萝卜素的研究中, 发现 14L : 10D 的光暗周期且光强度遵循正弦波变化条件下, β -胡萝卜素的产量比连续光照提高 30%^[81]。

2.4 LED 技术在远洋捕捞渔业中的应用

2.4.1 不同种类鱼群的趋光性 光照是影响鱼类行为的重要环境因子之一。通过对视网膜组织研究发现, 鱼对各色光有辨别能力, 行为学试验进一步研究证明了鱼对不同光色的趋光特点。如通过测试 15 种海产鱼类对紫外光(337、368 nm)的反应, 结果发现有 11 种鱼有反应, 组织学分析显示, 鱼眼中央单锥状细胞对紫外光敏感^[88]; 鳊鱼苗对 5 种颜色光表现出不同程度的趋光性和选择性, 对黄色光和白光

的趋光反应最强, 趋光率分别为 89.75% 和 81.82%, 最大可达到 93.75% 和 90.91%^[89]; 眼斑拟石首鱼 *Sciaenops ocellatus* 和 曼氏无针乌贼 *Sepiella maindroni* 对光色和光强均有反应, 眼斑拟石首鱼对中强度的橙光和红光表现为正趋性, 对其他光强和光色均表现出负趋性, 而曼氏无针乌贼对光色和光强均表现出正趋性, 对于同一光强下的 4 种光照颜色, 曼氏无针乌贼对红光和绿光的趋光率较高^[90-91]; 奥利亚罗非鱼 *Oreochromis aureus* 在不同单色光同一照度下的趋光率差异显著, 在蓝光、绿光下的趋光率高于红光、黄光^[92]。

2.4.2 转染 pSIREN-hTERT 对 A2780 细胞增殖的影响 MTT 比色法描绘细胞生长曲线提示, 空白对照及转染 pSIREN-Con 对照质粒的 A2780 细胞生长速率相近, 而 pSIREN-hTERT 转染的 A2780 细胞生长速率明显降低, 后者分别与前两对照组比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$), 表明靶向 hTERT 的 shRNA 导入抑制了 A2780 细胞的增殖能力。见表 1。

2.4.3 不同灯具集鱼效果比较 新型 LED 集鱼灯具集鱼效果良好。通过对 3 种 LED 集鱼灯与 1 种传统金卤灯的生产对比试验发现, LED 集鱼灯的渔获率均高于金卤灯, 其中 LED 白光灯渔获率优势明显^[96]; 通过 LED 集鱼灯替代弧光集鱼灯的实船试验发现, LED 集鱼灯的经济效益较为可观

[97]。

3 存在问题及展望

3.1 LED 技术用于水产养殖生产

从经济成本角度出发, LED 光电转化率远高于传统光源, 且使用寿命更长, 从长远来看, 其成本更低, 且 LED 光源配合智能控制系统更加有利于光谱、光强、光周期的精准调控。未来随着工厂化养殖业的快速发展, 对光环境调控的需求将急速上升, LED 光源应用前景广阔。粗略估计, 中国 LED 灯具增长潜力约为 2.95 亿元/年。

水产养殖动物种类繁多, 对光照需求各异, LED 光源对养殖生物的作用和影响机制仍知之甚少。水产养殖车间(尤其是海水养殖车间)高盐高湿易腐蚀的环境特点极大地缩短了传统灯具的使用寿命, 而且灯具形状和功率也直接关系到养殖池光线明暗和均匀度, 因此, LED 技术在养殖生产中的应用需关注以下几个方面: (1) 主要养殖品种的光生物效应数据库、光照影响水生生物生长发育的途径与机理、光调控鱼类性腺发育和性别分化机制等基础性研究工作。(2) 水产专用 LED 灯具研发, 包括提高 LED 灯具的防水性和耐腐蚀性, 延长使用寿命。(3) 研发设计不同形状、用途的水产 LED 灯具, 以满足不同养殖时期和养殖操作的光照需求, 如苗种繁育期、养成期、促熟期等。(4) 光环境精准调控技术, 针对某一物种制定相应的专用灯具和光环境控制策略, 从而实现光生物环境效

应的精准调控。

3.2 LED 技术用于水产杀菌消毒

目前, UVC-LED 的外量子效率低, 普遍在 10%以下, 商业化大批量产品光效在 3%~5%^[98], 只有低压紫外汞灯的十分之一左右, 主要是材料限制了发光效率, 包括外延材料质量差、电注入效率低、光提取效率低等; 而单位电功率的价格为低压汞灯的几十倍, 所以要获得相同的辐射功率, 深紫外 LED 的成本目前还不能为市场接受。

针对上述 UVC-LED 存在的问题和水产业杀菌消毒方面的应用需要在以下几方面开展研究: (1)加强在氮化铝外延材料质量的制备攻关, 同时提升芯片透明电极、热管理、封装等各个方面的技术, 力争不久的将来紫外 LED 的外量子效率达到 25%, 期间寿命达到 1 万小时^[99]。(2)加强紫外剂量对水产病原微生物杀灭机理的研究; 开展水体颗粒物和可溶物形成的浊度条件下, 光的水体透射率的研究; 开展水体辐射剂量与透射率测定方法的研究。(3)加强 UV-LED 在微小环境的应用研发。据预测, UV-LED 的市场年增长率平均接近 30%, 并将加速增长^[99]。目前, 市场已经开发出便携移动式的碗橱、空气清新柜及扫地机器人等电子消毒器, 应加强在水产保鲜运输箱、运输车、销售柜、加工线等狭小空间的产品开发应用。

3.3 LED 技术用于微藻培养

尽管利用 LED 光源培养微藻方面的研究取得了很大进展, 但要实现产业上的大规模应用, 还有一些问题亟待解决。首先, 光源光照强度并不代表着微藻细胞微环境的光照强度, 光在反应器中是不断衰减的, 但目前研究主要考虑入射光源强度, 很少关心平均光强度, 而后者才是真正决定微藻利用光能效率的最直接因素, 因此, 需要有针对性地进行光强度优化。其次, 目前对于光谱影响微藻生长的分子机制还不明确, 而掌握不同光谱对微藻生长影响的具体分子机制可以对光谱与微藻生长及产物积累进行更精确调控。第三, 目前的研究很少将光谱与频闪光结合起来对微藻培养进行研究, 而这些研究将显著提高微藻的光合效率及经济效益。频闪光可以诱导微藻生产高含量色素、脂肪酸等代谢产物, 但诱导不同目标产物的最佳闪光灯设置参数尚不清楚, 其诱导机制也有待明确。而且, 培养过程中混合所造成的光暗循环是否能与频闪光实现叠加效应, 如果得以实现, 在多大程度上可以进一步提高光合作用效率, 这些都需进行深入研究和验证。另外, 目前研究光周期变化时, 整个光周期一般采取恒定光强度, 但在户外培养时太阳光强度遵循正弦波变化, 故室内试验结果难以有效指导户外大规模微藻培养。未来研究时, 可采用正弦波形式和光暗周期来模拟户外培养条件[83-84], 预期将对微藻培养进行人工补光提供重要指导。

针对目前研究和产业应用中存在的上

述问题, 需要在以下几方面开展研究: (1) 研发能模拟太阳光照射强度和完整光谱的 LED 光源, 详细研究各类微藻中各种色素含量, 并考察其光谱的应答情况, 从而深入解析光谱控制藻类生长和代谢的机制^[100], 确定不同微藻生长的最适光谱条件, 据此开发相应的理想光源。(2) 研究频闪光源频率、占空比、光照强度等因素对微藻生长和代谢影响, 针对不同微藻确定相应的理想条件, 为开发理想光源提供依据, 并进行实际验证和产业应用。(3) 优化光生物反应器结构和操作条件, 减少光传播损失, 提高光暗循环频率, 从而大幅度提高光的利用效率。(4) 研究光传递与反应器中微藻细胞的碳供应、温度等各要素之间的高效协同机制, 据此进行优化控制, 提高光合作用效率, 实现高密度微藻培养, 大幅度提高微藻生物质产率。(5) 结合光照周期、光谱、光强度等研究, 优化微藻培养 LED 人工补光方案, 并进行过程放大, 在水产饵料微藻培养中开展大规模示范研究。

3.4 LED 技术用于远洋捕捞渔业

近年来, 中国在大洋渔业方面建造了大量围网、秋刀鱼舷提网等光诱作业渔船, 由于企业间的盲目竞争, 造成渔船主机功率和灯光功率持续加大, 这使得生产成本大大提高, 而渔获量未有明显提升。LED 集鱼灯因其较好的节能效果, 具有良好的发展潜力, 建议在以下几方面开展研究工作: (1) 加强 LED 的水下光场特点和鱼类趋

光习性研究;加强LED集鱼灯的空间布置(灯架结构和安装角度)研究,在增大有效集鱼面积的同时在海水中形成稳定光场。(2)加大远洋渔业专用LED集鱼灯研发,目前生产中应用的LED集鱼灯,尚存在散热性不够好、稳定性不高等问题,通过科学的散热方式,降低LED灯的温度,减少在使用过程中的光衰,是目前LED集鱼灯能否取代金卤灯、白炽灯等现有光源的关键。

致谢:李贤、宋昌斌、迟占有、邢斌斌等老师参与了本文的写作!

(来源:大连海洋大学学报)

参考文献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会.2019中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2019.
- [2] 张云,吕镇城,徐良雄,等.LED红蓝光对植物生长发育和光合特性影响的研究进展[J].惠州学院学报,2019,39(6):33-40.
- [3] 徐永,林魁.LED光调控技术在设施农业中的应用研究进展[J].农业工程技术,2017,37(13):10-15,20.
- [4] 宋昌斌.LED灯具在工厂化水产养殖的应用情况[J].照明工程学报,2018,29(2):3-4.
- [5] 刘岩,敬刚,潘国顺.高性能大功率LED研究进展:973计划“高性能LED制造与装备中的关键基础问题研究”项目成果简介[J].中国基础科学,2016,18(4):1-17.
- [6] Villamizar N,Blanco-Vives B,Migaud H,et al.Effects of light during early larval development of some aquacultured teleosts:a review [J].Aquaculture, 2011, 315(1-2):86-94.
- [7] Wu Lele,Han Mingming,Song Zongcheng,et al.Effects of different light spectra on embryo development and the performance of newly hatched turbot (*Scophthalmus maximus*) larvae[J].Fish & Shellfish Immunology, 2019,90:328-337.
- [8] Yamanome T,Mizusawa K,Hasegawa E I,et al.Green light stimulates somatic growth in the barfin flounder *Verasper moseri*[J].Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology,2009,311(2):73-79.
- [9] Karakatsouli N,Papoutsoglou S E, Pizzonia G,et al.Effects of light spectrum on growth and physiological status of gilthead seabream *Sparus aurata* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under recirculating system conditions[J].Aquacultural Engineering, 2007,36(3):302-309.0.
- [10] Volpato G L,Duarte C R A,Luchiari A C.Environmental color affects Nile tilapia reproduction[J].Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 2004, 37(4):479-483.
- [11] Gao Xiaolong, Zhang Mo, Li Xian, et al. Effects of light quality and intensity on the growth,survival and metamorphosis of *Haliotis discus hannai* Ino larvae [J]. Aquaculture Research, 2017,48 (7): 3369-3382.
- [12] 左炳楠,李晓东,姜玉声,等.光色对红壳色中

- 华绒螯蟹生长、摄食及体色的影响[J].中国渔业质量与标准,2018,8(3):26-33.
- [13] Mark M D,Donner M,Eickelbeck D,et al.Visual tuning in the flashlight fish *Anomalops katoptron* to detect blue, bioluminescent light [J].PLoS One, 2018, 13(7):e0198765.
- [14] 马爱军,王新安,庄志猛,等.半滑舌鳎仔、稚鱼视网膜结构与视觉特性 [J]. 动物学报,2007,53(2):354-363.
- [15] Migaud H,Cowan M,Taylor J,et al.The effect of spectral composition and light intensity on melatonin, stress and retinal damage in post-smolt Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. Aquaculture, 2007, 270(1-4):390-404.
- [16] Wei Hui,Li Handong,Xia Yu,et al.Effects of light intensity on phototaxis, growth, antioxidant and stress of juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. Aquaculture,2019,501:39-47.
- [17] 高霄龙.光照对皱纹盘鲍生长、行为、生理的影响及其机制研究[D].青岛:中国科学院研究生院(海洋研究所),2016.
- [18] 王馨.光照对三疣梭子蟹行为、呼吸代谢和生长影响的研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [19] Peirson S N,Halford S,Foster R G.The evolution of irradiance detection: melanopsin and the non-visual opsins [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2009, 364(1531): 2849- 2865.
- [20] Vallone D,Lahiri K,Dickmeis T,et al.Start the clock!Circadian rhythms and development[J].Developmental Dynamics, 2007,236(1):142-155.
- [21] Downing G,Litvak M K.Effects of light intensity,spectral composition and photoperiod on development and hatching of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*)embryos[J].Aquaculture, 2002,213(1-4):265-278.
- [22] Trotter A J,Battaglione S C,Pankhurst P M.Effects of photoperiod and light intensity on initial swim bladder inflation,growth and post-inflation viability in cultured striped trumpeter (*Lateolabrax lineatus*) larvae [J]. Aquaculture, 2003, 224(1-4):141-158.
- [23] 吴志新,陈孝煊,刘小玲,等.不同光周期对红螯螯虾繁殖及生长的影响 [J]. 淡水渔业,2000,30(3):4-5.
- [24] Wu Lele,Wang Yunong,Han Mingming,et al.Growth, stress and non-specific immune responses of turbot (*Scophthalmus maximus*) larvae exposed to different light spectra [J]. Aquaculture,2020,520:734950.
- [25] Champalbert G,Le Direach-Boursier L.Influence of light and feeding conditions on swimming activity rhythms of larval and juvenile turbot: *Scophthalmus maximus* L.:an experimental study [J]. Journal of Sea Research, 1998, 40 (3-4):333-345.
- [26] Puvanendran V,Brown J A.Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensi-

- ties and photoperiods [J]. Aquaculture, 2002, 214(1-4): 131-151.
- [27] Imsland A K, Folkvord A, Stefansson S O. Growth, oxygen consumption and activity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) reared under different temperatures and photoperiods [J]. Netherlands Journal of Sea Research, 1995, 34(1-4): 149-159.
- [28] Karakatsouli N, Papoutsoglou E S, Sotiropoulos N, et al. Effects of light spectrum, rearing density and light intensity on growth performance of scaled and mirror common carp *Cyprinus carpio* reared under recirculating system conditions [J]. Aquacultural Engineering, 2010, 42(3): 121-127.
- [29] 陈凯, 乔振国. 光照条件和开口饵料对点带石斑鱼仔鱼培育成活率的影响[J]. 现代渔业信息, 2011, 26(2): 25-27.
- [30] 逯尚尉. 不同饵料、密度和光周期对点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)幼鱼的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [31] 魏平平, 李鑫, 费凡, 等. 光谱对红鳍东方鲀仔稚鱼生长及相关基因表达量的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(5): 668-673.
- [32] 魏平平, 李鑫, 刘鹰, 等. 光周期对红鳍东方鲀脑组织中 GH 和 SS 基因表达水平和昼夜表达模式的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(1): 108-113.
- [33] 周光正. 温度、光周期和换水率对黑鲷卵、鱼苗的影响[J]. 海洋信息, 1994(1): 21.
- [34] Choi J Y, Kim T H, Choi Y J, et al. Effects of various LED light spectra on antioxidant and immune response in juvenile rock bream, *Oplegnathus fasciatus* exposed to bisphenol A [J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2016, 45: 140-149.
- [35] Hou Zhishuai, Wen Haishen, Li Jifang, et al. Effects of photoperiod and light spectrum on growth performance, digestive enzymes, hepatic biochemistry and peripheral hormones in spotted sea bass (*Lateolabrax maculatus*) [J]. Aquaculture, 2019, 507: 419-427.
- [36] Villamizar N, García-Alcazar A, Sánchez-Vázquez F J. Effect of light spectrum and photoperiod on the growth, development and survival of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae [J]. Aquaculture, 2009, 292(1-2): 80-86.
- [37] 王吉桥, 李君峰, 康凯, 等. 不同温度和光周期对三疣子蟹幼体成活度的影响[J]. 北京水产, 2004(1): 8-10.
- [38] 秦菲. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)工厂化养殖光照环境优化技术研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2018.
- [39] Fei Fan, Liu Baoliang, Gao Xiaoqiang, et al. Effects of supplemental ultraviolet light on growth, oxidative stress responses, and apoptosis-related gene expression of the shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2020, 520: 735013.
- [40] 欧黄思, 梁华芳. 光照对凡纳滨对虾幼体变态发育的影响[J]. 海洋科学, 2017, 41(3): 55-60.
- [41] Sanudin N, Tuzan A D, Yong A S

- K.Feeding activity and growth performance of shrimp post larvae *Litopenaeus vannamei* under light and dark condition[J].Journal of Agricultural Science,2014,6(11):103-109.
- [42] 农业农村部渔业渔政管理局.2019 中国水生动物卫生状况报告[M].北京:中国农业出版社,2019.
- [43] 寇江泽.《关于汞的水俣公约》生效[N].人民日报海外版,2017-08-17(02).
- [44] Khan A, Balakrishnan K, Katona T.Ultraviolet light-emitting diodes based on group three nitrides [J]. Nature Photonics,2008,2(2):77-84.
- [45] Nyangaresi P O,Qin Yi,Chen Gguolong, et al.Comparison of the performance of pulsed and continuous UVC-LED irradiation in the inactivation of bacteria[J].Water Research,2019,157:218-227.
- [46] 颜润秋.紫外线水处理技术在水产苗种生产上的应用效果[J].北京水产,2002(4):10-11.
- [47] 金宏,金燮理,肖克宇,等.紫外线杀灭中华鳖和乌鳢体表 4 种致病菌的研究[J].内陆水产,1999(4):2-3,27.
- [48] 周游,黄滨,吴凡,等.紫外线位置对循环水养殖半滑舌鳎水环境及生长影响[J].中国工程科学,2014,16(9):78-85.
- [49] Øye A K,Rimstad E.Inactivation of infectious salmon anaemia virus,viral haemorrhagic septicaemia virus and infectious pancreatic necrosis virus in water using UVC irradiation[J].Diseases of Aquatic Organisms,2002,48(1):1-5.
- [50] Barrett L T,Bui S,Oppedal F,et al. Ultra-violet-C light suppresses reproduction of sea lice but has adverse effects on host salmon [J]. Aquaculture, 2020, 520: 734954.
- [51] 陈乃武.“黑光灯”诱虫喂鱼增产研究报告[J].渔业致富指南,2005(3):55-56.
- [52] 邢湘臣.“灯光诱虫”在渔业生产中的应用[J].水利渔业,1989(3):51.
- [53] 崔学贵,张立青,王建法,等.灯光诱虫及专用设备杀虫灯问题研究综述[J].现代农业科技,2011(23):224-226,231.
- [54] 薛斌,王军喜,曾一平,等.氮化物紫外 LED 研究与应用[J].照明工程学报,2020,31(1):1-7.
- [55] Contreras A J,Boswell M,Downs K P,et al.Cortisol release in response to UVB exposure in Xiphophorus fish [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C:Toxicology & Pharmacology, 2014,163:95-101.
- [56] Vitt S,Mehlis-Rick M,Bakker T C M,et al.Enhanced ambient UVB radiation affects post-mating,but not pre-mating sexual traits in a fish [J]. Oecologia, 2019,190(2):355-366.
- [57] Masschelein W J.紫外光在水和废水处理中的应用[M].张彭义,译.北京:机械工业出版社,2014:11-13.
- [58] Blanken W,Cuaresma M,Wijffels R H,et al.Cultivation of microalgae on artificial light comes at a cost[J].Algal Research,2013,2(4):333-340.
- [59] Carvalho A P,Silva S O,Baptista J M,et al.Light requirements in microalgal photobioreactors:an overview of bio-

- photonic aspects[J].Applied Microbiology and Biotechnology, 2011, 89 (5): 1275-1288.
- [60] Schulze P S C,Barreira L A,Pereira H G C,et al.Light emitting diodes (LEDs) applied to microalgal production[J].Trends in Biotechnology,2014,32(8):422-430.
- [61] Zhao Yongjun,Wang Juan,Zhang Hui,et al.Effects of various LED light wavelengths and intensities on microalgae-based simultaneous biogas upgrading and digestate nutrient reduction process[J].Bioresource Technology,2013,136:461-468.
- [62] Kong Bo,Shanks J V,Vigil R D.Enhanced algal growth rate in a Taylor vortex reactor[J].Biotechnology and Bioengineering,2013,110(8):2140-2149.
- [63] Yang Zongbo,Cheng Jun,Xu Xiaodan,et al.Enhanced solution velocity between dark and light areas with horizontal tubes and triangular prism baffles to improve microalgal growth in a flat-panel photo-bioreactor [J]. Bioresource Technology,2016,211:519-526.
- [64] Cheng Jun,Yang Zongbo,Ye Qing,et al.Enhanced flashing light effect with up-down chute baffles to improve microalgal growth in a raceway pond [J]. Bioresource Technology, 2015, 190: 29-35.
- [65] de Winter L,Cabanelas I T D,Martens D E,et al.The influence of day/night cycles on biomass yield and composition of *Neochloris oleoabundans* [J]. Biotechnology for Biofuels,2017,10:104.
- [66] Goold H D,Cuin é S,Legeret B,et al.Saturating light induces sustained accumulation of oil in plastidal lipid droplets in *Chlamydomonas reinhardtii*[J].Plant Physiology, 2016, 171(4): 2406-2417.
- [67] Lamers P P,Janssen M,de Vos R C H,et al.Exploring and exploiting carotenoid accumulation in *Dunaliella salina* for cell-factory applications[J].Trends in Biotechnology,2008,26(11):631-638.
- [68] Fu Wenqi,Gudmundsson O,Feist A M,et al.Maximizing biomass productivity and cell density of *Chlorella vulgaris* by using light-emitting diode-based photobioreactor[J].Journal of Biotechnology,2012,161(3):242-249.
- [69] Das P,Lei Wang,Aziz S S,et al.Enhanced algae growth in both phototrophic and mixotrophic culture under blue light [J]. Bioresource Technology, 2011, 102 (4): 3883-3887.
- [70] Lee C G,Palsson B Ø.High-density algal photobioreactors using light-emitting diodes[J].Biotechnology and Bioengineering,1994,44(10):1161-1167.
- [71] Cuaresma M,Janssen M,Vílchez C,et al.Horizontal or vertical photobioreactors? How to improve microalgae photosynthetic efficiency[J].Bioresource Technology,2011,102(8):5129-5137.
- [72] Abu-Ghosh S,Fixler D,Dubinsky Z,et

- al.Continuous background light significantly increases flashing-light enhancement of photosynthesis and growth of microalgae[J].Bioresource Technology,2015,187:144-148.
- [73] Vejrazka C,Janssen M,Streefland M,et al.Photosynthetic efficiency of *Chlamydomonas reinhardtii* in attenuated, flashing light [J].Biotechnology and Bioengineering,2012,109(10): 2567-2574.
- [74] Vadiveloo A,Moheimani N R,Kosterink N R,et al.Photosynthetic performance of two *Nannochloropsis* spp. under different filtered light spectra[J].Algal Research,2016,19:168-177.
- [75] McGee D,Archer L,Fleming G T A,et al.Influence of spectral intensity and quality of LED lighting on photoacclimation,carbon allocation and highvalue pigments in microalgae [J]. Photosynthesis Research, 2020, 143(1): 67-80.
- [76] Abu-Ghosh S,Fixler D,Dubinsky Z,et al.Flashing light in microalgae biotechnology[J].Bioresource Technology, 2016,203:357-363.
- [77] Katsuda T,Shiraishi H,Ishizu N,et al.Effect of light intensity and frequency of flashing light from blue light emitting diodes on astaxanthin production by *Haematococcus pluvialis*[J].Journal of Bioscience and Bioengineering, 2008, 105(3):216-220.
- [78] Katsuda T,Shimahara K,Shiraishi H,et al.Effect of flashing light from blue light emitting diodes on cell growth and astaxanthin production of *Haematococcus pluvialis*[J].Journal of Bioscience and Bioengineering,2006,102(5):442-446.
- [79] Liao Qiang,Li Lin,Chen Rong,et al.A novel photobioreactor generating the light/dark cycle to improve microalgae cultivation[J].Bioresource Technology, 2014,161:186-191.
- [80] Schulze P S C,Guerra R,Pereira H,et al.Flashing LEDs for microalgal production[J].Trends in Biotechnology, 2017, 35(11):1088-1101.
- [81] Nwoba E G,Parlevliet D A,Laird D W,et al.Light management technologies for increasing algal photobioreactor efficiency[J].Algal Research, 2019, 39: 101433.
- [82] Vadiveloo A,Moheimani N R,Cosgrove J J,et al.Effect of different light spectra on the growth and productivity of acclimated *Nannochloropsis* sp. (*Eustigmatophyceae*)[J].Algal Research, 2015, 8:121-127.
- [83] Glemser M,Heining M,Schmidt J,et al.Application of light-emitting diodes (LEDs) in cultivation of phototrophic microalgae:current state and perspectives[J].Applied Microbiology and Biotechnology,2016,100(3):1077-1088.
- [84] He Qiaoning,Yang Haijian,Wu Lei,et al.Effect of light intensity on physiological changes,carbon allocation and neutral lipid accumulation in oleagin-

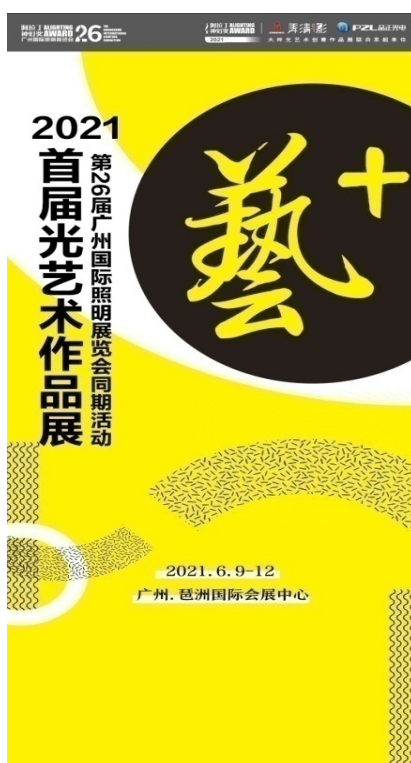
- ous microalgae[J].Bioresource Technology,2015,191:219-228.
- [85] Mettler T,Mühlhaus T,Hemme D,et al.Systems analysis of the response of photosynthesis,metabolism,and growth to an increase in irradiance in the photosynthetic model organism *Chlamydomonas reinhardtii* [J]. Plant Cell, 2014, 26(6):2310-2350.
- [86] Pereira S,Otero A.Effect of light quality on carotenogenic and non- carotenogenic species of the genus *Dunaliella* under nitrogen deficiency[J].Algal Research,2019,44:101725.
- [87] Yoshioka M,Yago T,Yoshie-Stark Y,et al.Effect of high frequency of intermittent light on the growth and fatty acid profile of *Isochrysis galbana* [J]. Aquaculture,2012,338-341:111-117.
- [88] Miyagi M,Kawamura G.L-response to UV stimulus and UV sensitive cones in marine fishes[J].Nippon Suisan Gakkai-shi,2000,66(2):195-199.
- [89] 魏开建,张海明,张桂蓉.鳊鱼苗在光场中反应行为的初步研究 [J]. 水利渔业,2001,21(1):4-6.
- [90] 王萍,吴常文,童懿宏.光照对曼氏无针乌贼行为习性的影响[J].河北渔业,2009(11):3-6.
- [91] 王萍,桂福坤,吴常文,等.光照对眼斑拟石首鱼行为和摄食的影响 [J]. 南方水产,2009,5(5):57-62.
- [92] 肖炜,李大宇,杨弘,等.奥利亚罗非鱼在光场中的行为反应研究 [J]. 中国农学通报,2012,28(26):105-109.
- [93] 李好,郑伟波,崔钊.通过 LED 集鱼灯光效标准确定最佳光色 [J]. 湖北农业科学,2017,56(13):2536-2539.
- [94] 陈清香,熊正烨,谭中明,等.2 种 LED 灯光诱蓝圆鲈和竹筴鱼的渔获比较[J].南方水产科学,2013,9(3):80-84.
- [95] 钱卫国,陈新军,钱雪龙,等.300 W 型 LED 集鱼灯光学特性及其节能效果分析[J].海洋渔业,2011,33(1):99-105.
- [96] 李杰,晏磊,杨炳忠,等.4 种集鱼灯在灯光罩网作业中的渔获效果分析[J].上海海洋大学学报,2018,27(5):773-780.
- [97] 张伟信,崔雪亮.LED 集鱼灯替代弧光集鱼灯的实船试验 [J]. 中国水运,2013,13(5):9-10,27.
- [98] 闫建昌,孙莉莉,王军喜,等.紫外发光二极管发展现状及展望 [J]. 照明工程学报,2017,28(1):2-4.
- [99] 宋昌斌,仇登高,王军喜,等.LED 光源在封闭循环水养殖业的应用分析[J].照明工程学报,2013,24(S1):127-132.
- [100] León-Saiki G M,Martí T G,van der Veen D,et al.The impact of day length on cell division and efficiency of light use in a starchless mutant of *Tetradismus obliquus* [J]. Algal Research, 2018,31:387-394.

省照明学会两位照明设计大师被邀请参加“大师光 艺术创意作品展”

2021年6月9—12日，第26届广州国际照明展览会期间，将举办首届“大师光艺术创意作品展”。省照明学会会员单位江苏品正光电科技有限公司是发起单位之一，江苏胡洪浪、陈晓广两位大师被邀请参加此次活动。

“大师光艺术创意作品展”隶属于阿拉丁神灯奖—创新融合奖系列。将定向邀约行业领先创意设计大师参与活动，挖掘各种具有视觉冲击力，文化底蕴深厚、设计震撼的作品，促进光艺术产业创新发展，为广大行业观众演绎光艺术设计下的独特魅力。

“大师光艺术创意作品展”将联合设计大师及灯具品牌力量，利用不同的载体和新材料，对光艺术创意作品予以实现，结合光亚展同期举办的文旅生态展进行全面现场展示，以创新设计引领文旅生态产业的未来。



学会动态 | ZIES News

省照明学会树超聘为“江苏省报废机动车回收资质认定现场验收评审专家”

根据《报废机动车回收管理办法》（国务院令 第715号）及其《实施细则》、《江苏省报废机动车回收管理实施办法》（苏商规〔2020〕1号），根据《江苏省报废机动车回收资质认定现场验收评审专家库和专家管理规定》（苏商建〔2020〕358号），省工业和信息化厅、生态环境厅、交通运输厅、市场监管局等部门共同确定22人为江苏省报废机动车回收资质认定现场验收评审专家并于2月3日举行了评审专家聘任仪式。

省照明学会会员树超是此次聘任专家之一。

江苏省商务厅

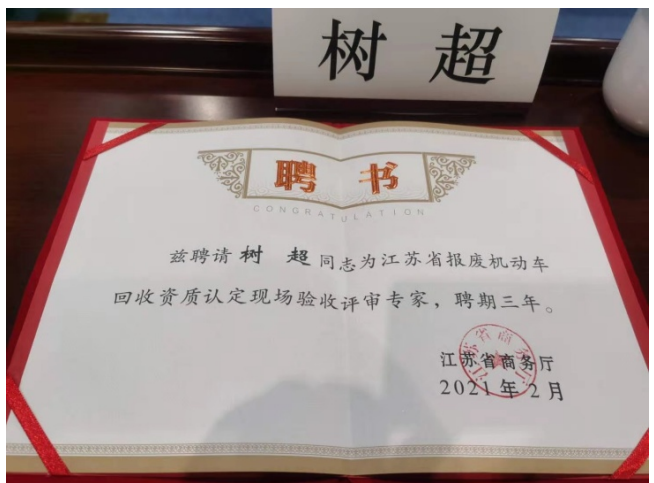
关于举行全省报废机动车回收资质认定 现场验收评审专家聘任仪式的通知

各位专家：

根据《江苏省报废机动车回收资质认定现场验收评审专家库和专家管理规定》，我厅定于2月3日下午14时30分，在商务厅118会议室，举行报废机动车回收资质认定现场验收评审专家聘任仪式，特邀请您拨冗参加。因疫情防控需要，1月20日至2月3日间，如有过省外或中风险以上地区行程的，可不参加聘任仪式，我们将把聘书快递给您。

能否参加请于1月31日前反馈商务厅市建处。联系人：赵雨存

附：江苏省报废机动车回收资质认定现场验收评审专家汇总表





江苏省照明学会

Jiangsu Illuminating Engineering Society



**THE JIANGSU
ELECTRIC LIGHTING
FIRST QUARTER 2021**
2021 年 03 月 15 日出版