电气照明

江苏省照明学会主办

THE JIANGSU ELECTRIC LIGHTING FIRST QUARTER 2020

1 2020 季刊

常州市福兴电器有限公司
CHANGZHOU FUXING ELECTRICAL APPLIANCE CO.,LTD
www.wuj-fuxing.com

RN LED
复古新型装饰灯

www.wj-fuxing.com
地址：江苏省常州市武进经济开发区西太湖大道288号
电话：+86-519-83665888
邮箱：sales01@wj-fuxing.com

電氣照明

ELECTRIC LIGHTING

季 刊

2020年第1期（总第116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 杨宇峰 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
杨宇锋 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 王莹莹

平面设计 王莹莹

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 210009

电 话 （025）58806897

邮 箱 jszmxh@126.com

出版日期 2020年3月1日

目 录

技术交流 Technical Communication

02 皮肤治疗灯用窄谱中波紫外荧光粉的研究进展
..... 张 娜 朱月华 卓宁泽 蒋利华 王海波

10 深紫外光源技术及其应用
..... 吕家东

17 Pr^{3+}掺杂磷酸钇紫外荧光粉的制备方法及其性能分析
..... 肖勇强 张 娜 朱月华 卓宁泽 陈鹏 王海波

标准解读 Standard Interpretation

24 《江苏城市照明智慧灯杆建设指南》

行业分析 Industry Analysis

62 从后新冠时期关键词瞻望最具潜力的相关产业（兼谈文旅照明行业前景）
..... 钱宗明

科普宣传 Popular Science Propaganda

64 UVC紫外杀毒，剂量与计量是关键

学会动态 JSIES News

67 古建照明优秀项目暨品正文创产品鉴赏智库峰会在宁召开

72 江苏省照明学会喜获“典赞•2019科技江苏年度科学传播活动”称号

73 智慧照明专委会“新春送温暖、服务到企业”
———— 南京站

75 智慧照明专委会“新春送温暖、服务到企业”
———— 常州站

声明：本期刊为江苏省照明学会内刊，仅供内部交流使用，版权归原作者或原期刊所有，如有侵权请联系本期刊编辑部

皮肤治疗灯用窄谱中波紫外荧光粉的研究进展

张 娜 朱月华 卓宁泽 蒋利华 王海波
南京工业大学电光源材料研究所，江苏 南京 210015

摘要：

介绍皮肤治疗灯用的窄谱中波紫外荧光粉的研究进展及其制备方法。重点介绍氟化物基质、磷酸盐基质、硼酸盐基质以及其他基质的窄谱中波紫外荧光粉。

关键词：

皮肤治疗灯；窄谱中波紫外荧光粉；制备方法

中图分类号：TM923.59 **文献标识码：**A **DOI：**10.3969/j.issn.1002-6150.2016.07.003

Research Progress of Narrow Band Ultraviolet B Phosphors for Skin Treatment Lamps

ZHANG Na ZHU Yuehua ZHUO Ningze JIANG Lihua WANG Haibo
(The Research Institute of Electric Light Source Materials, Nanjing Tech University, Nanjing 210015, China)

Abstract: The research progress of narrow-band ultraviolet B (NB-UVB) phosphors for skin treatment lamps and preparation methods are reviewed. The fl uoridematrix, phosphate matrix, borate matrix and other matrix narrow band ultraviolet B phosphors are mainly introduced.

Key words: skin treatment lamps; narrow-band ultraviolet B phosphors; preparation

前言

皮肤是人体的第1道生理防线和最大的器官，时刻参与机体的功能活动，维持着机体和自然环境的对立统一，机体的异常情况也可以通过皮肤表面反映出来。而皮肤病是严重影响人民健康的常见病、多发病之一，我国人口众多，皮肤病患者也较多，且发病率逐年升高，严重影响患者的生活质量。

目前对皮肤病的治疗使用最多的是外用药，如果外用药选择或使用不当，往往无效，甚至使病情加重。物理治疗也是目前皮肤病常用的治疗方法，主要有光疗法、电疗法、激光法、微波疗法、冷冻疗法、放射疗法等，其中的紫外线光疗越来越成为治疗皮肤病的重要手段。窄谱中波紫外线（narrowbandultravioletB，NB-UVB）波长310~315nm、峰值312nm左右，广泛应用于多种皮肤病的治疗，并取得了显著的效果[1]。

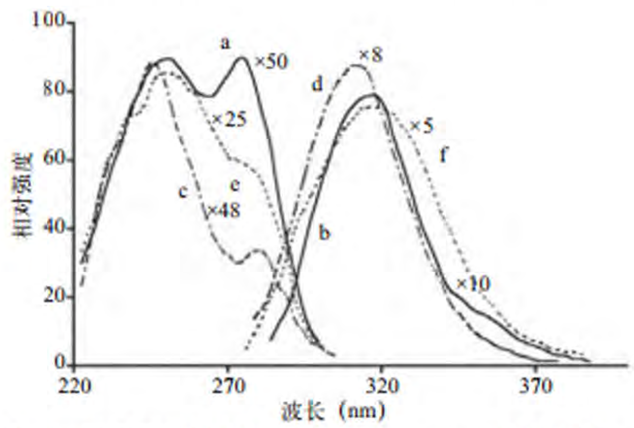
紫外线光疗法始于1997年，Westerhof等

首次报道应用NB-UVB治疗白癜风，并发现其疗效优于PUVA（补骨脂素（Psoralen，一种光敏感性药物）联合使用A波段紫外线的暴露疗法）。此后，紫外光疗法引起了科研工作者的大量关注。除治疗白癜风，Grundmann-Kollmann等[3]应用311nm的UVB（PhillipsTL01灯管）治疗5例中重度的特应性皮炎（AD），Gathers等[4]应用NB-UVB治疗24例早期蕈样肉芽肿（MF）患者，Nishida等[5]采用扁平式荧光灯成功治愈了6名日本银屑病患者。NB-UVB可治疗约40余种皮肤病，且已部分替代PUVA治疗白癜风等皮肤病。与PUVA相比，NB-UVB具有诸多优势：其峰值在312nm左右，避开了皮肤中DNA的吸光主峰265nm，不易引起DNA突变，降低了致癌性，使连续性治疗更安全；NBUVB对皮肤穿透性较UVB强，由于避开了易致红斑297nm的波段，红斑效应相对较小；NB-UVB治疗前无需使用光敏剂，避免了光敏剂引起的恶心、头昏等光毒性不良反应，对患者无过多的行为限制；操作简单，起效快、治疗时间较短，不良反应少，经济费用低，患者依从性好[6]。目前用于治疗皮肤病的NB-UVB器件如TL01灯管，已应用于临床，NB-UVB治疗法在欧美应用较广，美国也逐渐增加，在美国，该法治疗皮肤病每年就节约一半的花费大约为10亿美元[7]。但我国应用较少，为推动我国皮肤病的治疗，并降低治疗成本，迫切要求我国自主研发出属于自己的NB-UVB器件。目前该产品的研发主要是在低压Hg蒸汽中涂覆发射波长为310~315nm的窄谱中波紫外荧光粉，该紫外荧光粉是皮肤治疗灯用器件中重要的关键原材料。而对该荧光粉的研究还主要集中在国外，近两年研究量也在逐渐增多，主要以氟化物基质、磷酸盐基质以及硼酸盐基质为主，本文通过详细的文献调研，介绍了窄谱中波紫外荧光粉的研究情况，这将对我国自主研发皮肤治疗器件起到重要作用。

1 窄谱中波紫外荧光粉

1.1 氟化物基质荧光粉

由于氟化物的高活性，其晶体生长困难，且氟化物易于水解，因此晶型大都只能在新制备的粉末中得到。采用稀土激活剂，可大大提高荧光粉的发光效率。在稀土元素中，当Ce^{3+}掺杂到合适的晶格中，由于其内构型的d-f跃迁，可提高紫外发射强度。氟化物因其为刚性基质，产生的斯托克斯位移低，Ce^{3+}的紫外发射峰可以预测，即通过Ce^{3+}将能 量传递到其他激活剂，可能起到发射光谱微调的作用。Belsare等[8]报道了几种采用湿化学法一步合成 的Ce^{3+}激活的紫外氟化物荧光粉，其中氟铝基质荧光粉发射峰值在310~315nm，图1为Ce^{3+}掺杂的含铝氟化物荧光粉光谱图，Ce^{3+}的掺杂浓度均为5%。由图可知，激发光谱在250nm、276nm处均有强的宽吸收带，发射光谱相对较宽，是Ce^{3+}的典型发射峰形。而要得到皮肤治疗用的窄谱，则要将Ce^{3+}作为敏化剂。文中还指出Ce^{3+}-Gd^{3+}可能在$SrAlF_5$、Na_2LiAlF_6、$Li_{2-}NaAlF_6$、$K_5Li_2LaF_{10}$和LaF_3基质中存在能量转移，Gd^{3+}的^6P_j能级与宽带发射峰匹配较好，因此，在这些基质中有望得到NB-UVB荧光粉。



b，d，f为监测波长在254 nm的发射光谱；a，c，e是激发光谱。
a和b：$CaAlF_5$；c和d：$SrAlF_5$；e和f：Li_3AlF_6；
曲线上数字为调整相对强度的倍数。

图1 Ce^{3+}激活的氟铝基荧光粉光谱图

余宪恩在其所著的书中提到氟磷酸盐荧光粉，该荧光粉采用高温固相法合成，以Pb和Gd为激活剂，分子式为$Ba_5(PO_4)_3F$:Pb，Gd，该荧光粉属六方晶系，在253.7nm紫外线激发下发出峰值波长为312nm的窄谱紫外光，可应用于皮肤治疗器件[9]。

1.2 磷酸盐基质荧光粉

因皮肤治疗用荧光粉发射波长在312nm左右，而Gd^{3+}的$^6P_{7/2}\rightarrow{}^8S$跃迁刚好可产生该处发射峰，因此$Gd^{3+}$常用作激活剂，而稀土元素的f-f跃迁为宇称禁戒跃迁，相对较弱，要得到高效

的发射光谱就需要加入敏化剂。Gd^{3+}可被上面提到的Ce^{3+}、Pb^{2+}敏化，此外，还可以被Bi^{3+}、Pr^{3+}等离子敏化。Okamoto等[10]研究了Pr^{3+}敏化$LaPO_4:Gd^{3+}$荧光粉的发光性能，在172nm的光激发下，Pr^{3+}离子的5d能级可能发生能量转移至Gd^{3+}离子。$LaPO_4:Gd^{3+}$，Pr^{3+}荧光粉在312nm处表现出强的紫外发射峰，当浓度Gd=35mot1%、Pr=5mol%时，峰强达到最大值。在172nm激发下，$(La_{0.65}Gd_{0.35})_{0.95}Pr_{0.05}PO_4$荧光粉的发射强度是典型的真空紫外灯用荧光粉$Gd^{3+}$激活的$Y_{0.75}Gd_{0.25}Al_3(BO_3)_4$荧光粉强度的1.6倍，结果表明，该荧光粉可作为氙灯用UV-B紫外荧光粉。同时，该文还研究了该窄谱中波UV-B荧光粉发射光对pUV18DNA的辐射损伤，结果表明其效果与UV-A辐射效果相当。

Mokoena等[11]以羟基磷灰石为基质，以Gd^{3+}为激活剂，Pr^{3+}为敏化剂，采用共沉淀法合成了$Ca_5(PO_4)_3OH:Gd^{3+}$，Pr^{3+}荧光粉，该荧光粉具有六方晶相，激发峰位于245nm、254nm以及275nm处，分别由Gd^{3+}的$^8S_{7/2}\rightarrow{}^6D_j$、$^8S_{7/2}\rightarrow{}^6I_j$以及$^8S_{7/2}\rightarrow{}^6G_j$跃迁引起，发射峰位于313nm。未掺杂$Gd^{3+}$的Ca5(PO4)3OH：$Pr^{3+}$荧光粉，$Pr^{3+}$的跃迁与其在其他无机固体基质一样，监测到的发射波长位于603nm而非313nm。通过共掺Pr^{3+}，该荧光粉在313nm处的发射峰强度增强，当Gd^{3+}与Pr^{3+}摩尔比为10:2时，峰强达到最佳状态。该共掺荧光粉只有1个发射峰位于313nm处，即由Gd^{3+}的$^8S_{7/2}\rightarrow{}^6G_j$跃迁引起，而由$Pr^{3+}$的$^3P_0\rightarrow{}^3H_4$跃迁引起的603nm发射峰则被压制，这意味着$Pr^{3+}$到$Gd^{3+}$的能量转移速率要快于$Pr^{3+}$的辐射发射。同时，该研究团队其还研究了$Ca_3(PO_4)_2:Gd^{3+}$，$Pr^{3+}$荧光粉，该荧光粉分别采用微波辅助法[12]与尿素辅助燃烧法[13]合成得到。采用微波辅助法得到的$Ca_3(PO_4)_2:Gd^{3+}$，Pr^{3+}荧光粉为纳米微粒，粒径约为99nm，该文将单掺与共掺荧光粉体系的发射光谱进行了比较如图2所示。共掺荧光粉体系的发射强度是单掺Gd^{3+}的5倍之多，同时在400~700nm无Pr^{3+}的发射峰。此外，该文还研究了$Ca_3(PO_4)_2:Gd^{3+}$，Pr^{3+}荧光粉粉末在温度为500~1000℃下煅烧2h的激发和发射光谱。结果表明，随着煅烧温度的提高，荧光粉的发射光谱强度增强，这可能是由于无辐射重组效应如淬灭点或缺陷降低引起的。图3比较了已制备的荧光粉与在1000℃下煅烧后荧光粉的激发和发射光谱谱图比较，由图可见，已制备的荧光粉光谱曲线几乎平直，由此可推断煅烧后的荧光粉光谱强度至少是其100倍。说明将该共掺荧光粉进行煅烧将显著提升其发光强度。

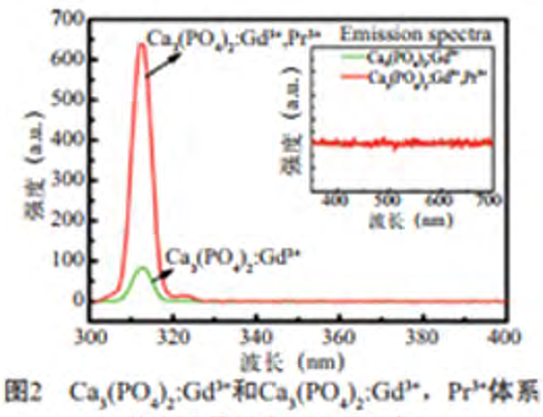


图2 $Ca_3(PO_4)_2:Gd^{3+}$和$Ca_3(PO_4)_2:Gd^{3+}$，Pr^{3+}体系荧光粉最佳发射强度比较

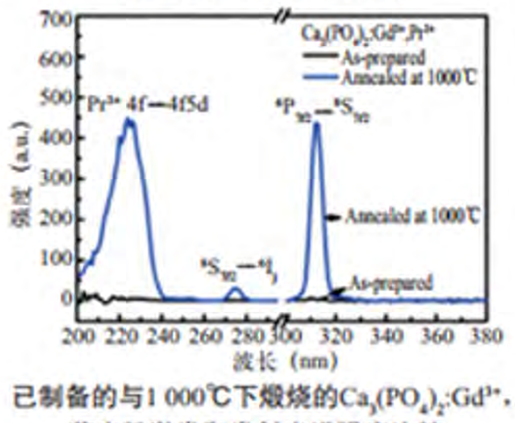


图3 已制备的与1 000℃下煅烧的$Ca_3(PO_4)_2:Gd^{3+}$，Pr^{3+}荧光粉激发和发射光谱强度比较

复旦大学的Taoli等[14]采用高温固相法分别研究了Sb^{3+}和Gd^{3+}单掺和共掺的YPO_4荧光粉，YPO_4作为荧光粉主体，为四角锆石结构，只有1个结晶位可被三价离子占用，在此之前，还没有以Sb^{3+}敏化Gd^{3+}的YPO_4荧光粉发光性能方面的报道。该文研究结果表明，在共掺中，Sb^{3+}可敏化Gd^{3+}，使荧光粉可被短波紫外线（220~260nm）激发，在253.7nm激发下，共掺荧光粉在312nm处有强的发射峰，发射峰强度随Sb^{3+}和Gd^{3+}浓度的改变而改变。在最佳掺杂浓度即该荧光粉组成为$Y_{0.77}PO_4:Sb^{3+}_{0.07}$，$Gd^{3+}_{0.16}$，煅烧温度为1400℃时，与市售的$LaPO_4$:Ce荧光粉（UVB-315）在253.7nm激发下，发射光谱比较如图4所示。从光谱图上可知，其有望应用于低压Hg蒸气交换UV-B灯上；而从该荧光粉的颗粒尺寸（4~5μm）、形貌以及Sb^{3+}的掺杂浓度来看，该YPO_4:Sb，Gd荧光粉要成为实际应用产品还需要在提高物理性能和发光强度上进

一步做大量工作。

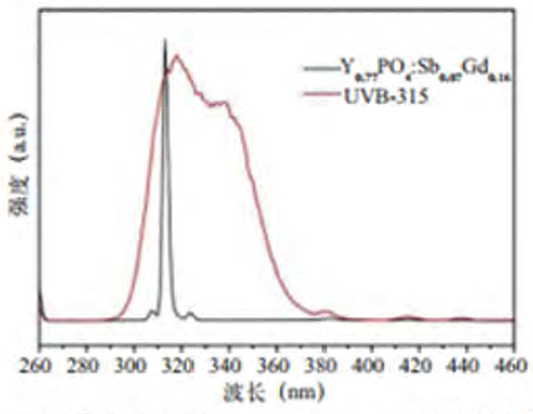


图4 1 400℃煅烧下的$Y_{0.77}PO_4:Sb^{3+}_{0.07}$，$Gd^{3+}_{0.16}$荧光粉与市售UVB-315荧光粉在253.7 nm激发下的发射光谱图

1.3 硼酸盐基质荧光粉

以硼酸盐为基质研制NB-UVB紫外荧光粉的较多。1982年美国Philips公司就有相关专利，其保护的荧光粉公式为$(Y，La)_{1-x-y-z}Ce_xG-d_yTbz(Mg，Zn)_{1-\rho}Mn_\rho B_5O_1O$，该荧光粉可应用于低压Hg蒸气灯中，专利指出激活剂的浓度要在适当的范围，低于或高于该范围都会出现浓度淬灭；同时专利还指出，Y或La，Mg或Zn，亦或都存在，对硼酸盐发光特性基本没影响[15]。

1984年，ZHIRAN等[16]以GdB_3O_6为基质，以Sb^{3+}、Bi^{3+}和Ce^{3+}作为Gd^{3+}可能的敏化剂，Tb^{3+}和Eu^{3+}作为激活剂；同时，以LaB_3O_6作为参照基质晶格，因为La^{3+}在该位没有能级，故不存在能量转移，该文系统地研究了各离子之间的能量传递。结果表明，GdB_3O_6是很好的基质晶格，可以得到高效的发光性能材料；而通过Gd^{3+}晶格，敏化剂将能量转移到激活剂，即能量传递过程为敏化剂→Gd(→Gd)n→激活剂。即如果添加适当的敏化剂和激活剂，GdB_3O_6基质可作为较高效的发光性能材料。

Sonekar等[17]采用燃烧法合成了窄谱UVB硼酸盐荧光粉，其对已知的LaB_3O_6:Bi，Gd荧光粉进行了研究，研究发现，该荧光粉在254nm处的宽激发峰是由于Bi^{3+}的吸收（$^1S_0$→$^3P_1$跃迁）引起的，通过研究Bi^{3+}与Gd^{3+}的浓度比发现，在Gd^{3+}浓度大于10%时，出现浓度淬灭效应，最佳的浓度比为Bi^{3+}浓度为2%、Gd^{3+}浓度为10%。此外，该文还研究了Pr^{3+}作为敏化剂，掺杂到正硼酸盐$LaBO_3$、YBO_3和五硼酸盐LaB_5O_9基质中，最佳的浓度依然是Pr^{3+}为2%、Gd^{3+}为10%，由于Gd^{3+}的^6P_j→$^8S_{7/2}$跃迁，在312nm处产生窄带发射峰，且由于Pr^{3+}→Gd^{3+}能量传递，使发射峰强度增加，几种荧光粉发射光谱比较如图5所示，其中LaB_5O_9：Pr，Gd荧光强度最强，可作为LaB_3O_6:Bi，Gd荧光粉的替代品应用于低压Hg灯中。

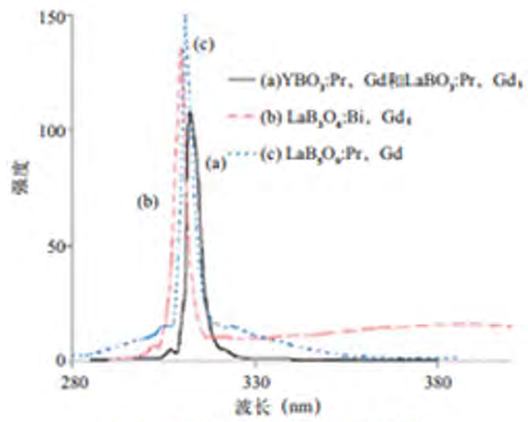


图5 硼酸盐荧光粉发射光谱比较

Nagpure等[18]采用新型的微调溶液燃烧技术法，研究稀土离子（Ce^{3+}，Eu^{3+}）和添加敏化离子（Pr^{3+}-Gd^{3+}和Bi^{3+}-Gd^{3+}）的Gd^{3+}激活LaB_5O_9荧光粉的发光性能。文中指出LaB509:Ce在317nm有宽的紫外发射峰，LaB_5O_9:Eu^{3+}发射橘红光，LaB_5O_9:Pr^{3+}，Gd^{3+}和LaB_5O_9:Bi^{3+}，Gd^{3+}荧光粉在窄谱UVB紫外区310nm处有较高的发光效率，说明Gd^{3+}可通过共掺有效地被Bi^{3+}或Pr^{3+}敏化，其中材料$(La_{0.5}Pr_{0.4})B_5O_9:Gd_{0.1}$在310nm处有最佳的窄谱UVB发射峰，有望应用于UVB光治疗灯上。该研究团队还研究了紫外及真空紫外激发的$Na_2La_2B_2O_7$:RE(RE=Eu，Tb，Ce，Sm，Gd)荧光粉的发光性能，激发和发射光谱显示，在254nm激发下，$Na_2La_2B_2O_7$:Eu发射峰位于591nm和615nm，$Na_2La_2B_2O_7$:Ce主发射峰位于387nm，$Na_2La_2B_2O_7$:Tb发射峰位于493，544，593和620nm，而$Na_2La_2B_2O_7$:Sm在405nm激发下，发射峰波长为566和604nm，$Na_2La_2B_2O_7$:Gd在274nm激发下，发射峰位于312nm，该荧光粉可应用于治疗皮肤病[19]。此外，该研究团队还研究了$SrZr(BO_3)_2$，$Al_4B_2O_9$和$LaMgB_5O_{10}$硼酸盐基质荧光粉，$Al_4B_2O_9$:Ce荧光粉在270nm激发下，发射出波长为356nm的窄谱发射峰；$La_{0.99}Ce_{0.01}MgB_5O_{10}$荧光粉在373nm激发下发射波长为440nm。而只有$SrZr(BO_3)_2$:Pr-Gd由于Pr^{3+}→Gd^{3+}的能量传递作用，其发射光谱与市售的（PhilipsTL/01）灯用荧光粉相似。当该荧光粉组成为$SrZr_{0.95}Pr_{0.03}Gd_{0.02}(BO_3)_2$时，在230nm

激发下，发射峰位于313nm，可应用于光疗器件中[20]。

Gawande等[21]也研究了$LaB_5O_9:Pr^{3+}$，Gd^{3+}荧光粉，指出该荧光粉在200~400nm的宽紫外区有强吸收，在254nm紫外线激发下，发射峰位于窄谱UVB区域的311nm处，Pr^{3+}和Gd^{3+}的最佳浓度分别为2%和10%。此外，该研究团队还采用溶液燃烧法成功地合成了$(Sr_{1-x}Pr_x)_2Mg(BO_3)_2$；$(Sr_{1-2x}Pr_xM_x)_2Mg(BO_3)_2$，(M=Li，Na，K)；$(Sr_{1-x}Gd_x)_2Mg(BO_3)_2$；$(Sr_{1-2x}Gd_xM_x)2Mg(BO_3)_2$，(M=Li，Na，K)和$(Sr_{1-4x}Pr_xGd_xNa_2x)_2Mg(BO_3)_2$荧光粉。其中$(Sr_{1-x}Pr_x)_2Mg(BO_3)_2$荧光粉在248nm激发下，发射峰位于278nm和317nm，该荧光粉激发光谱与Hg线253.7nm能很好地重叠，Pr^{3+}的最佳浓度为0.005mol。以Li^+，Na^+，K^+作为电荷补偿剂，可使$Sr_2Mg(BO_3)_2:Pr^{3+}$荧光粉发光强度增强，其中，Na+是最佳的电荷补偿剂；而$(Sr_{1-2x}Pr_xM_x)_2Mg(BO_3)_2$在276nm激发下，发射峰波长为313nm和375nm；在$(Sr_{1-2x}Pr_xM_x)_2Mg(BO_3)_2$荧光粉中存在$Pr^{3+}\rightarrow Gd^{3+}$能量传递，这也使其发光强度增强[22]；该研究团队同样采用燃烧合成法合成了$LaB_3O_6:Bi$，Gd和$YBaB_9O_{16}:Bi$，Gd荧光粉，两种样品均具有Gd^{3+}离子（$^6P_j\rightarrow{}^8S_{7/2}$）特征窄谱UVB发射峰，其中，$LaB_3O_6:Bi$，Gd荧光粉是市售荧光材料，在254nm激发下，发射波长位于311nm，而在同样激发波长下，$YBaB_9O_{16}:Bi$，Gd荧光粉的发射波长向长波方向偏移1nm，这种偏移可能是受基质晶型影响所致。在两种荧光粉的Bi^{3+}与Gd^{3+}浓度分别一致时，激发与发射光谱比较如图6所示。$YBaB_9O_{16}:Bi_{0.02}$，$Gd_{0.1}$荧光粉的发射强度大约是市售$LaB_3O_6:Bi_{0.02}$，$Gd_{0.1}$荧光粉的两倍，且该荧光粉的激发光谱与Hg线253.7nm高度重合，该荧光粉材料可用于皮肤治疗器件[23]。

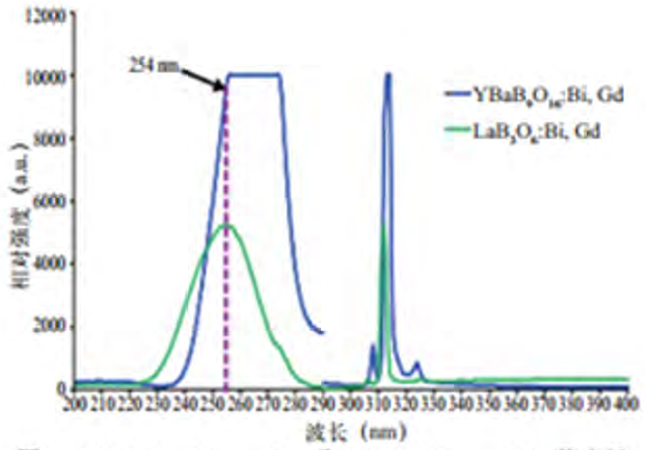


图6 $YBaB_9O_{16}:Bi_{0.02}$，$Gd_{0.1}$和$LaB_3O_6:Bi_{0.02}$，$Gd_{0.1}$荧光粉激发和发射光谱图

Bhagat等[24]研究了以Pb^{2+}为敏化剂的$Sr_2Mg(BO_3)_2:Pb^{2+}$，Gd^{3+}荧光粉的发光性能，该荧光粉在230~270nm有宽的激发带，且激发中心约在254nm处，在254nmHg线激发下，发射出主峰在313nm（由Gd^{3+}的$^6P_j\rightarrow{}^8S_{7/2}$跃迁引起）和次峰在330nm（$Pb^{2+}$的$^3P_1\rightarrow{}^1S_0$跃迁引起）的紫外光，且随着$Pb^{2+}$和$Gd^{3+}$离子浓度的改变，发光强度也随之变化，当Gd3+离子浓度为0.015mol，Pb^{2+}离子浓度为0.015mol时，发光强度最佳，当超过此值时，发光强度降低，这主要是由浓度淬灭效应引起的。该发射峰位于UVB区域，可作为治疗皮肤病的灯用荧光粉。

1.4 其他基质荧光粉

Singh等采用燃烧法合成了Gd激活的$MgAl_2O_4$荧光粉，在273nm紫外激发下，有两个发射峰，分别是位于306nm的弱峰（$^6P_{5/2}\rightarrow{}^8S_{7/2}$）和312nm的主峰（$^6P_{7/2}\rightarrow{}^8S_{7/2}$）[25]。此外，该研究团队还采用燃烧法合成了$Gd^{3+}$激活的$Y_4Zr_3O_{12}$荧光粉，该荧光粉在274nm激发下，在313nm处存在尖锐发射峰，在307nm处有1个弱峰[26]。其还研究了Gd^{3+}掺杂的$La_2Zr_2O_7$荧光粉，该荧光粉在274nm激发下，发射出峰位在312.5nm的强的尖锐峰[27]。Shinde等研究了Gd^{3+}激活的M_2O_2S（M =La，Y）荧光粉，采用固相反应法研究了Gd^{3+}不同掺杂浓度对光谱的影响，同时还指出Gd^{3+}激活的La_2O_2S荧光粉在275nm激发下，发射出位于314nm的尖锐峰，而Gd^{3+}激活的Y_2O_2S荧光粉在272nm激发下，发射出位于316nm的尖锐峰[28]，这两种荧光材料也可用于光疗器件中以治疗皮肤病。

2 窄谱中波紫外荧光粉的制备方法

目前荧光粉的合成方法主要有高温固相法、燃烧法、溶胶-凝胶法、水热合成法、共沉淀法、微波法以及喷雾热解法等。而用于合成窄谱中波紫外荧光粉的方法主要有共沉淀法、高温固相法以及燃烧法。共沉淀法是指在计量的参数下，实现多种阳离子同时沉

体，Mokoena等制备的$Ca_5(PO_4)_3OH:Gd^{3+}•Pr^{3+}$荧光粉即采用了该种方法[11]，该方法制备的荧光粉粒度小且分散均匀。高温固相法是最传统的用于制备发光材料的1种方法，其应用也最多，制备流程是将高纯度的各种固体粉末原料进行研磨，将原料充分混匀，干燥等预处理后，在一定温度、环境气氛和时间条件下进行煅烧，然后冷却、粉碎、过筛，即得目标荧光粉产物。复旦大学的Taoli等采用高温固相法分别研究了Sb^{3+}和Gd^{3+}单掺和共掺的YPO_4荧光粉[14]。该方法制备的荧光粉产生的晶格缺陷少，故被广泛应用。燃烧法是指通过前驱体材料的燃烧而获得目标产物的方法。该法具有安全、产物分散性好等优点，也是合成窄谱中波紫外荧光粉最常用的1种方法。但其在合成荧光粉中也存在一些问题，如在引燃前可能出现沉淀、热处理温度不均匀、得到的荧光粉形貌不规则以及燃烧中有气体逸出污染环境等问题。

3 展望

尽管目前对NB-UVB紫外荧光粉研究日趋增多，但其发射光谱基本在300~320nm，而研究发现用于治疗皮肤病的最有效的窄带UVB发射中心约在312nm，且312nm的光可允许患者有最长的治疗时间，不产生红斑，而当前研究的荧光粉发射峰位于312nm的荧光粉并不多，还存在稳定性差（所提到的氟化物基质荧光粉），或制备所用原料具有毒性（如以Pb或Bi作为敏化剂等），这就迫切需要研究出1种稳定性好、无毒的且发射峰位于312nm的窄谱中波紫外荧光粉。该荧光粉的研制，将为我国皮肤病患者带来巨大益处；同时，也降低了皮肤病治疗成本，具有广阔的发展应用前景。

参考文献

[1] 潘玉明，殷致宇，张昕等.窄谱中波紫外线治疗银屑病的研究进展[J].中国激光医学杂志，2011，20（4）：264-267.

[2] WesterhofW,Nieuweboer-KrobotovaL.Treatment of vaL.Treatment of vitiligo with UV-B radiation vs topical psoralen plus UV-A[J]. Archives of dermatology，1997，133（12）：1525-1528.

[3] Grundmann-Kollmann M， Behrens S，Podda M，et al. Phototherapy for atopic eczema with narrow-band UVB[J]. Journal of the American Academy of Dermatology，1999， 40（6）：995-997.

[4] Gathers R C，Scherschun L，Malick F，et al. Narrowband UVB phototherapy for early-stage mycosis fungoides[J]. Journal of the American Academy of Dermatology，2002， 47（2）：191-197.

[5] Nishida E，Furuhashi T，Kato H，et al.Successful treatmentof psoriasis vulgaris with targeted narrow-band ultraviolet B therapy using a new fl at-type fl uorescent lamp[J]. Photodermatology，Photoimmunology& Photomedicine，2011，27（5）：248-250.

[6] 李巧玲，李利. 窄谱中波紫外线在皮肤科的应用进展[J].实用医院临床杂志，2013，10（1）：52-55.

[7] Hemne P S，Dhobale S V. Gd^{3+} Phosphors in treatment of psoriasis and vitiligo[J]. International Journal of Luminescence and Applications，2012，1（II）：100-102.

[8] Belsare P D，Joshi C P，Moharil S V，et al. Preparation of Ce^{3+} -activated UV-emitting fl uoride phosphors[J]. Radiation Effects & Defects in Solids，2009，164（3）：197-203.

[9] 余宪恩. 实用发光材料[M]. 北京：中国轻工业出版社，2008.

[10] Okamoto S，Uchino R，Kobayashi K，et al. Luminescent properties of Pr^{3+}-sensitized $LaPO_4:Gd^{3+}$ ultraviolet-B phosphor under vacuum-ultraviolet light excitation[J]. Journal of Applied Physics，2009，106（1）：013522 - 013522-5.

[11] M okoena P P, Nagpure I M, Kumar V, e t a l. Enhanced UVB emission and analysis of chemical states of $Ca_5(PO_4)_3OH$: Gd^{3+},Pr^{3+} phosphor prepared by coprecipitation[J]. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 2014, 75 (8) : 998-1003.

[12] Mokoena P P, Gohain M, Bezuidenhoudt BCB, et al. Luminescent properties and particle morphology of $Ca_3(PO_4)$: Gd^{3+}, Pr^{3+} phosphor powder prepared by microwave assisted synthesis[J]. Journal of Luminescence 2014, 155: 288-292.

[13] Mokoena P P, Gohain M, Kumar V, et al. TOF SIMS analysis and enhanced UVB photoluminescence by energy transfer from Pr^{3+} to Gd^{3+} in $Ca_3(PO_4)_2$:Gd^{3+},Pr^{3+} phosphor prepared by urea assisted combustion[J]. Journal of Alloys &Compounds, 2014, 595 (15) : 33-38.

[14] Taoli D, Shirun Y A N, Jianguo H U. A novel narrow band UV-B emitting phosphor-YPO_4: Sb^{3+}, Gd^{3+}[J]. Journal of Rare Earths, 2016, 34 (2) : 137-142.

[15] Looye B, De Hair J T W, Bakker C. Lumincent Screen: CA, EP0023068 A1[P].1982-05-05.Hao Z, Blasse G. Energy transfer phenomenain

[16] luminescent materials based on GdB306[J]. Materials Chemistry & Physics, 1985, 12 (3) : 257-274.

[17] Sonekar R P, Omanwar S K, Moharil S V, et al. Combustion synthesis of narrow UVB emitting rare earth borate phosphors[J].Optical Materials, 2007, 30 (4) : 622-625.

[18] Nagpure P A, BajajNS, Sonekar R P, et al. Synthesis and luminescence studies of novel rare earth activated lanthanum pentaborate[J]. Indian Journal of Pure and Applied Physics, 2011, 49 (12) : 799-802.

[19] Nagpure P A, OmanwarS K. Synthesisand photoluminescence study of rare earth activated phosphor $Na_2La_2B_2O_7$[J]. Journal of Luminescence, 2012, 132 (8) : 2088-2091.

[20] Nagpure P A, Omanwar S K. UV emitting borate phosphors for phototherapy lamps[J]. Indian Journal of Pure & Applied Physics, 2015, 53 (2) : 77-81.

[21] Gawande A B, Sonekar R P, Inglez J T, et al. Synthesis of narrow band UVB phototheropy phosphor LaB_5O_9: Pr-Gd[J]. International Journal of Basic and Applied Research, 2012 (special issue) : 39-41.

[22] Gawande A B, Sonekar R P, Omanwar S K. Luminescence improvement in Pr^{3+} and Gd^{3+} activated $Sr_2Mg(BO_3)_2$ inorganic phosphor[J]. Materials Research Bulletin, 2014, 60: 285-291.

[23] Gawande A B, Sonekar R P, Omanwar S K. Combustion synthesis of narrow band UVB emitting borate phosphors LaB_3O_6:Bi,Gd,& $YBaB_9O_{16}$:Bi,Gd for phototherapy applications[J]. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2016, 127 (8) : 3925-3927.

[24] Bhagat S P , Gawande A B , O m a n w a r SK . Photoluminescence study of a novel UV emitting phosphor $Sr_2Mg(BO_3)_2$:Pb^{2+},Gd^{3+}[J]. Optical Materials, 2014, 40: 36-40.

[25] Singh V, Sivaramaiah G, Rao J L, et al. Luminescence and electron paramagnetic resonance investigation on ultraviolet emitting Gd doped MgAl2O4 phosphors[J]. Journal of Luminescence, 2013, 143 (6) : 162-168

[26] Singh V, Sivaramaiah G, Rao J L, et al. Investigation of new UV-emitting, Gd-activated Y4Zr3O12 phosphors prepared via combustion method[J]. Journal of Luminescence , 2015, 157: 82-87.

[27] Singh V, Sivaramaiah G, Rao J L, et al. Luminescence and EPR studies of ultraviolet light emitting $La_2Zr_2O_7$:Gd^{3+} phosphor

powder[J]. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2015, 26 (7): 5195-5201.

[28] Shinde V V, Kunghatkar R G, Dhoble S J. UVB-emitting Gd^{3+}-activated M_2O_2S (where M = La, Y) for phototherapy lamp phosphors[J]. Luminescence, 2015, 30 (8) :1257-1262.

《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，以便联系有关事宜；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

投稿信箱：jszmxh@126.com

联系电话：025-58806897、18061464118

联 系 人：王莹莹

深紫外光源技术及其应用

吕家东
东南大学电光源研究中心, 南京210096

摘要：

波长≤280nm的深紫外光源有两大类，气压放电紫外光源和深紫外发光二极管。低气压放电紫外光源材料、制造技术相对成熟，占据应用市场的主导地位，大功率紫外灯开发及其提高和保持紫外辐射强度的研究值得期待。深紫外发光二极管在外延材料和结构、内外量子效率提升等方面的研究取得了突破性进展，接近应用化程度，将会逐步取代气体放电紫外光而成为应用领域的主流。

关键词：

低气压紫外灯；深紫外发光二极管；辐射强度；杀菌消毒；A1GaN基；高A1组分，内/外量子效率

前言

紫外光源根据其发光机理有气体放电类紫外光源和固体类紫外发光二极管。汞灯、氙灯等气体放电紫外光源光谱成分复杂，其特征谱线强度和位置会随着材料和制灯工艺的不同而发生变化。而紫外发光二极管UV-LED特征谱线相对单一，依据光谱峰值波长一般划分为：长波紫外UVA(315＜λ≤400nm)、中波紫外UVB(280＜λ≤315nm)、短波（深）紫外UVC(200＜λ≤280nm)。其中深紫外光因其在激发光源、杀菌消毒、净化环境等诸多超越照明应用领域的应用而备受关注，各种新型应用产品市场规模和影响力逐步扩大。目前UVC-LED的效率和功率还很低，难以大量在商业化上得到应用，气体放电紫外光源仍然占据市场主导地位，但是三元化合物A1GaN基紫外LED有着长寿命、低电压、谱线单一、无汞环保、坚固耐震、体积小重量轻诸多优点，随着技术的进步，将逐步取代气体放电紫外光源而成为应用领域的主流。

1 低气压放电紫外光源

1.1灯用材料及结构

低压汞蒸汽被激发后发射253.7nm波长和185nm波长的特征谱线，该波长紫外线不能透过日光灯和节能灯使用钠钙玻璃和低（无）铅玻璃，紫外光源需要采用分子量较小的氧化物所组成的透紫玻璃，石英玻璃由于紫外线透过率高达90%，是气体放电紫外光源的最佳玻壳材料，还有一些透紫外线的玻璃，如硼酸盐玻璃和磷酸盐玻璃，这类玻璃的成本相比石英玻璃要低很多，但紫外透过率只有石英玻璃的60%，紫外光强衰减也快，点灯数百小时后其紫外光强度就大幅下降到初始值的50%-70%，而石英玻壳紫外灯光衰在点灯3000小时后，仍可以维持初始值的80%，所以气体放电紫外光源采用石英玻璃作为玻壳首选材料。气体放电紫外光源有热阴极、冷阴极2种灯丝结构。它们的差异有：1）工作原理不同。冷阴极采用正离子轰击高纯金属阴极产生电子维持放电，

阴极电流主要由正离子贡献，电流较小；热阴极电流主要靠阴极表面涂层电子粉的热电子发射所提供，电流可达到数百毫安。2）阴极材料不同。热阴极紫外线灯使用钨丝做阴极主体，其表面涂敷低逸出功金属氧化物，灯丝寿命很大部分影响灯的寿命，一般为数千小时。冷阴极紫外线灯阴极由纯金属片做成，因此其寿命比热阴极灯提高5～10倍。3）抗振性能不同。热阴极灯的钨灯丝在高温中再结晶，成颗粒状结晶后变脆易断，不耐振动。冷阴极无此问题，适合有强振的环境中使用。4）灯的形状不同。由于冷阴极紫外线灯管直径小，就可以加工成U型、M型或盘香型等，体积变小便于使用和保管。

1.2 紫外灯制造技术

气体放电紫外灯制造工艺流程如图1-1所示

图1-1气体放电紫外灯制造工艺流程

涂保护膜工艺一般用于大功率或管径较细管璧负载较大的紫外灯，石英玻璃存在碱金属等杂质，在高温下与汞生成汞齐，加速石英玻璃失透，透紫外光的能力减低，当紫外光强度衰减达到30%，按行业标准YY/T0160-94规定，灯的有效寿命已到。将γ-A1203 等氧化物粉体、分散剂、粘结剂经超细研磨，按一定比例和时间顺序分散于水中配制成保护膜，并涂覆在灯管内表面，在一定程度上阻止了汞与玻璃内碱金属的结合，从而减缓石英玻璃失透。烤管是将保护膜中粘结剂经高温分解，对于中小功率的紫外灯可不采用涂保护膜和烤管工序。灯管压封是将融溶的石英管与装架好的电极上钼片压封在一起，石英玻璃融溶温度高，冷却快，这使得紫外灯在夹封工序的自动化程度要低于荧光灯，此外，对火头的结构形式、火头冷却、夹具冷却、氮气保护等方面都要有特别的考虑，石英玻璃在高温中有硅析出并吸附在玻璃表面，影响透光率，灯管压封工艺中要有去硅粉的技术手段。紫外灯排气由于灯管长度远大于其内径，靠泵的大抽速来提高灯管极限真空度是困难的，且成本也高，故采用Ar气冲洗与抽真空相结合的办法来降低灯内杂质气体的分压强。紫外灯的绝对真空度要达到10-2Pa，机械真空泵已不能满足其要求，应选择分子泵或扩散泵，由于园排车动静盘靠油密封不能达到10-2Pa的真空要求，紫外灯宜采用排气台，虽效率不如园排车，但真空度可得到保障。由于采用石英玻璃作为玻壳，排气烘烤温度可达900℃，远高于荧光灯，烘烤温度越高对去除杂质气体越有帮助。阴极分解电流和激活电流采用直流恒流源，不同功率的灯分解电流差别很大，尤其大功率灯管分解电流很大，电源要充分留有余量。

1.3紫外灯应用及影响因素

汞蒸汽被激发后发射254nm波长和185nm波长的紫外线，当灯管冷端温度为40℃时汞蒸汽达到最佳，其254nm紫外辐射效率约占灯总功率的35%，185nm辐射效率约占灯总功率5%。细菌紫外吸收光谱与汞灯的杀菌作用光谱（图1-2）几乎完全吻合，波长254nm的紫外线被脱氧核糖核酸（DNA）中的碱基对吸收，引起遗传物质发生变异，使细菌当即死亡或不能繁殖后代，达到杀菌的目的。而波长185nm的紫外

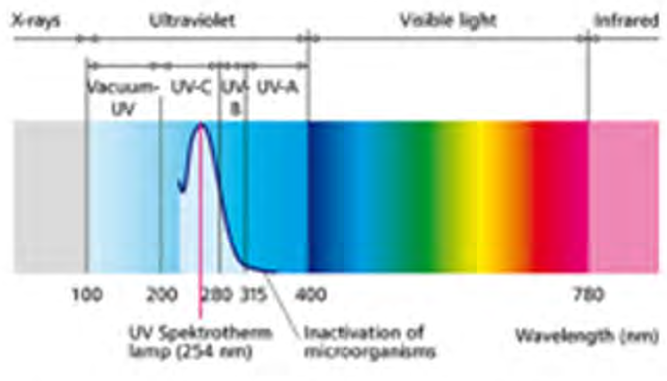


图 1-2 不同波长紫外线杀菌效果图（网络版）

线与空气作用产生有强氧化作用的臭氧，能有效杀灭细菌。

流动空气的杀菌一般使用过滤、静电除尘、紫外线灭菌三种方法。过滤是通过滤料捕集截留空气中的悬浮尘埃粒子和微生物，以达到空气洁净度要求。静电除尘菌是通过静电吸附

达到杀菌目的。紫外线是以辐射紫外线光波对细菌和病毒进行杀灭。近年来紫外光在分解氧化净化有机废气处理中得到成功应用，波长 254 nm 、185nm 紫外线光子能量分别为 472 kJ/mol 和 647 kJ/mol，比大多数有机废气气体的分子结合键能高，可以将分子能量较低的有机废气气体化学键断裂，氧化降解为低分子物质、水和二氧化碳。

水处理消毒中通常使用254nm辐射的紫外灯，与传统氯消毒相比，紫外消毒杀菌具有无消毒副产物、消毒时间短的优点。考虑到水的流量大流速快，采用的紫外灯功率较大，一般要达到数百瓦以上。光催化净化技术在废水处理方面也有巨大潜力，以TiO_2为代表的半导体光催化剂，当吸收高于跃迁阈值的紫外光子能量时,半导体价带电子跃迁到导带，从而产生光生电子(e-)和空穴(h+)，吸附在纳米颗粒表面的溶解氧俘获电子形成超氧负离子，而空穴吸附在催化剂表面的氢氧根离子和水氧化成羟基自由基，超氧负离子和羟基自由基具有很强的氧化性，能将绝大多数的有机物氧化至CO_2和H_2O。

紫外灭菌在食品领域中多采用波长254nm低压汞灯对食品表面和包装材料进行消毒，消毒后的食物具有更长的保质期。辐射灭菌的方法除了紫外线(UV)外，还有微波、脉冲强光、X射线和γ射线等方式。它们通过物理或化学方式控制微生物生长或杀死微生物。例如微波通过热产生杀死微生物的作用；脉冲强光照射是通过高能量紫外线使DNA分子中相邻的嘧啶短时间形成嘧啶二聚体，抑制DNA复制与转录，X射线和γ射线直接作用于生物分子，打断氢键使双键氧化，破坏和改变生物大分子的结构，从而抑制或杀死微生物。

影响紫外杀菌效率的因素比较复杂，不同的细菌种类对紫外线的吸收峰值亦不尽相同。杀菌效果通常用紫外剂量来表征，紫外剂量可以表示为紫外辐射强度与照射时间的的乘积，紫外剂量越大，杀菌效果越好，在紫外剂量相同时，可采用高强度、短时间或或低强度、长时间的照射方式达到杀菌目的。实验表明，当紫外辐射强度低于40uw/cm2时，照射时间再长都没有杀菌效果，国家标准规定当紫外灯辐射强度低于70uw/cm2时，就需要更新灯管。

DNA、大肠杆菌的最大吸收波长均为265 nm，而隐孢子菌、噬菌体的最大吸收波长分别为261nm和271nm ，杀灭螺旋杆菌和大肠杆菌所需的紫外剂量较小，杀灭孢子所需的紫外剂量较高，在采用同样紫外辐射强度的消毒系统时，所需杀菌时间有差别，一般是以抗紫外能力强细菌所需的紫外剂量为选择依据。紫外杀菌效率由高到低依次为原虫、细菌、病毒，即紫外线对病毒尤其是腺病毒和轮状病毒的杀灭效果最差，而传统氯气消毒效率的次序正好相反，依次为病毒、细菌、原虫，一些场合采用紫外杀菌和传统消毒结合效果更好。

低压紫外线灯的光效与汞蒸气压密切相关，而汞蒸气压与温度相关，温度变化会引起紫外输出的变化，5一10℃的温度偏差就可能使紫外输出下降50%。图1-3所示为灯管直径分别12mm和8mm的紫外灯采用液汞时温度变化特性。图1-4中为不同材料固态汞齐光输出

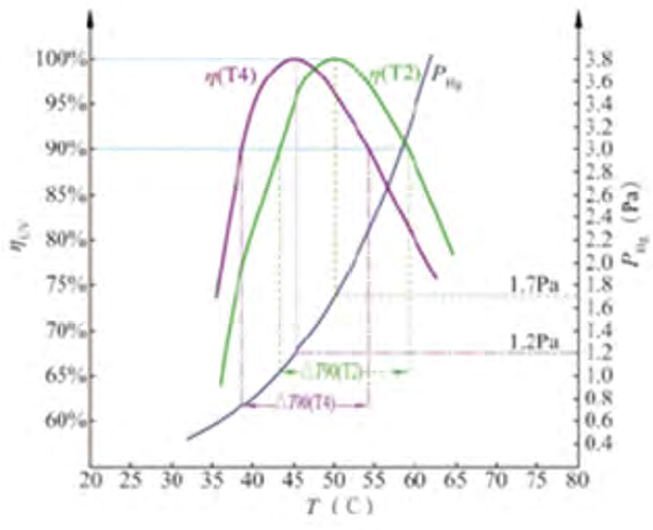


图1-2不同波长紫外线杀菌效果图（网络版）

效率随温度变化特性，可见，汞蒸气压的变化将大幅影响紫外输出效率。通过改进灯设计来提高紫外辐射的稳定性，在紫外线灯管加一个与外界空气气密的透紫外套管（图1-5），外套管与紫外灯管之间抽真空或充惰性气体，惰性气体一般选用热导损失较低的氪气 (Kr)、氙气 (Xe}，填充的气压低于1个

气压，使对流和热导损失减小，从而提高紫外灯光输出的稳定性。

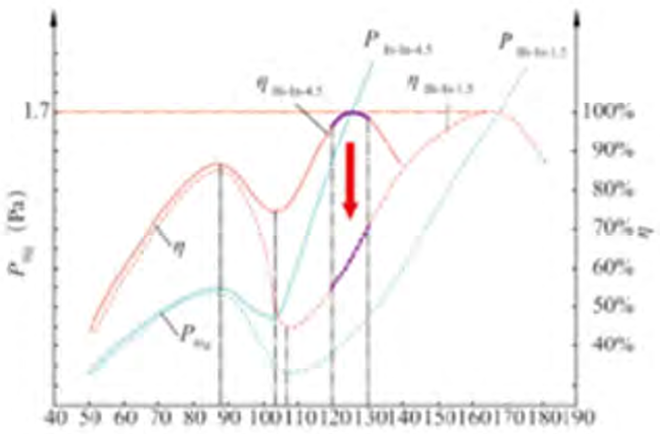


图 1-4 采用固汞的紫外灯温度特性曲线〔22〕〔23〕

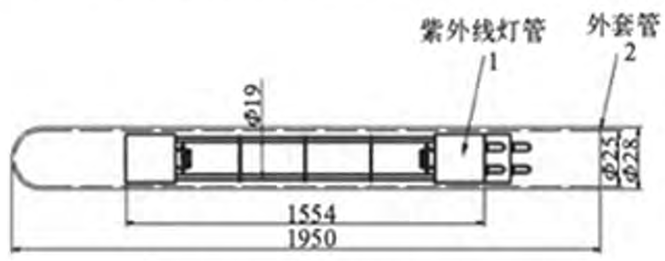


图 1-5 采用外套管的紫外灯结构图〔22〕〔23〕

2 AlGaN 基深紫外发光二极管

2.1 DUV-LED 衬底材料

在蓝光外延研究的基础上，深紫外光外延也选用蓝宝石(Sapphire),碳化硅(SiC)、硅 (Si)异质衬底以及GaN和A1N同质衬底作为研究对象。表2-1列出了高A1组分A1GaN材料与不同衬底的晶格常数、热膨胀系数和晶格失配度。表中显示蓝宝石衬底与A1GaN材料的晶格失配和热失配大，传热性差，但它有不吸收深紫外光的特性，蓝宝石上的氮化物外延制备工艺也相对成熟，因此目前深紫外光外延研究大都是基于蓝宝石衬底。

表 2-1〔20〕

衬底	晶格常数(Å)	热膨胀系数 (10^{-6}/K)	晶格失配 (%)	热膨胀失配 (%)
AlN	a=3.112 c=4.982	$\Delta a/a$=4.2 $\Delta c/c$=5.3	–	–
GaN	a=3.189 c=5.186	$\Delta a/a$=5.59 $\Delta c/c$=3.17	-0.24	-0.25
蓝宝石	a=4.758 c=12.991 a_{et}=2.747	$\Delta a/a$=7.5 $\Delta c/c$=8.57	-34.6 13.3	-44
6H-SiC	a=3.0817 c=15.1123	$\Delta a/a$=4.2 $\Delta c/c$=4.68	0.98	0
Si(111)	a=5.4301 a_{et}=3.843	$\Delta a/a$=3.59	42.7 -19	17

SiC衬底与A1GaN的晶格失配只有不到1%，同时SiC衬底具备良好的导电性和热传导率，易于实现大功率UV LED器件。SiC衬底会吸收波长短于360nm的紫外光，影响到深紫外光提取效率 (Light Extraction Efficiency, LEE)，有蓝宝石衬底和SiC衬底对于UV LED光提取效率的对比实验也证明了这一点，所以基于SiC衬底的UV LED研究集中在UVA波段。

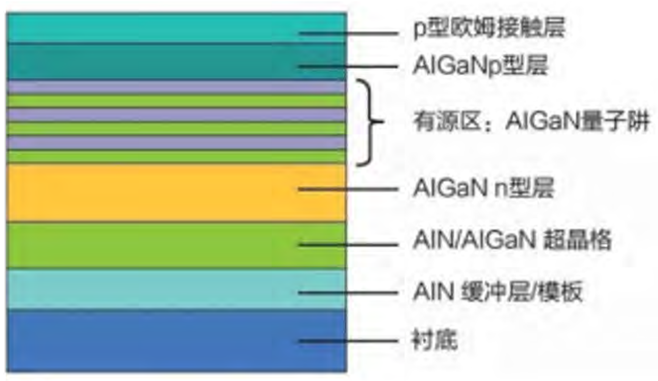
Si衬底与A1GaN存在显著的晶格失配和热失配，同时也吸收短波紫外光，为解决这些难题，有研究人员在Si衬底上采用高温外延300-360nm AlN，并刻蚀成条状沟槽图形，再通过侧向外延(Epitaxial Lateral Over-growth, ELO)技术进一步外延A1N模板，以减少应力产生的裂纹。为解决Si衬底吸收光的问题，采用倒装焊技术将 UV LED键合于A1N基板上,再将Si衬底腐蚀去除掉。采用ELO二次外延一定程度上提升了Si衬底外延A1N材料的质量，但是与蓝宝石衬底上相同结构DUV LED相比还有很大差距，A1GaN外延的应力控制和减少裂纹仍是Si基UV LED研究的难题。

AlN、GaN作为三族氮化物材料同质衬底，具备晶格失配和热失配小的特性,有助于实现高质量的A1GaN外延层。A1N同质衬底不吸收波长220nm以上的紫外光，具有其他衬底材料不可相比的优越性，是理想的DUV LED 的衬底材料。A1N衬底最大的问题在于制备技术不成熟，高质量衬底不易获得，价格昂贵，远未到应用层面。GaN衬底上同样可获得晶体质量很高的外延层，位错密度低于106/cm^2,内量子效率(Internal Quantum Efficiency,IQE)高达80%，但由于GaN衬底对紫外光的显著吸收,其外量子效率仅有1%,GaN衬底光提取效率难题是限制应用的主要原因。

2.2 提升DUV-LED内量子效率研究

图2-1为氮化物DUVLED典型外延结构，DUV LED的n型层、P型层和量子阱区均A_1GaN材料，研究人员模拟计算了280nmUVLED的内量子效率与位错密度的关系，研究结果表明,当位错密度>1010/cm^{2}时，内量子效率只有百分之几,当位错密度<109/cm^{2}量级时，280nmUV LED的内量子效率会提高到10%-40%，而要将内量子效率提高到40%以上，位错密度则要低于108/cm^2。A_1GaN材料外延质量与DUVLED的发光效率密切相关。

蓝宝石衬底上异质外延氮化物材料时存在较大的晶格失配，人们想到采用A1N或GaN作为缓冲层来降低外延材料位错密度。鉴于蓝宝石衬底上外延GaN材料制备技术相对成熟，人们首先开展了基于GaN模板外延A1GaN材料的研究，获得的A1GaN晶体质量比在蓝宝石衬底上直接外延A1GaN材料要好很多，但是GaN材料对于有源区发出的波长小于360nm的紫外光有强烈的吸收，导致DUV LED器件的光



提取效率很低，GaN模板并不是DUV LED的最好选择。而A1N模板对小于360nm的紫外光是透明的，不存在吸收紫外光的问题，因此基于蓝宝石衬底的A1N模板上高温外延高A1组分A1GaN材料成为DUV LED器件制备的首选。

各国研究人员探索尝试了各种制备技技以提升A1N和A1GaN外延材料质量。Khan的研究小组采用脉冲原子层外延(Pulsed Atomic Layer Epitaxy,PALE) 技术外延生长出高质量的A1GaN,实现了228nm-280nm的UVC波段的紫外发光。Hirayama等人通过NH3脉冲多层生长A1N缓冲层技术在蓝宝石衬底上获得低缺陷密度的A1N和A1GaN外延层，实现231-261nm,226-273nm和222-261nm波段的A1GaN基深紫外。Banal等人采用迁移增强外延(Migration Enhanced Epitaxy,MEE)和改进的MEE(Modified-MEE)技术优化A1N成核过程，获得了高质量的A1GaN/A1N量子阱（MQWs），其内量子效率达到36%。还有研究小组采用GaN材料中侧向外延（ELO）技术，在微米级沟槽型A1N/蓝宝石模板上，侧向外延ELO-A1N和ELO-A1GaN，其位错密度低于107/cm^2，显著提高了内量子效率（EQE）。我国中科院半导体所研究团队通过纳米图形蓝宝石衬底(Nano-Patterned Sapphire Substrate NPSS)外延，使A1N模板表面达到原子级平整度，在A1N模板上外延的283nmDUV量子阱与普通平面蓝宝石衬底(FSS)上外延的A1N材料相比，结晶质量显著提升，内量子效率提升43%。

与GaN材料的掺杂相比，高A1组分的A1GaN的禁带宽度增大，需要提高掺杂元素浓度来增加载流子浓度，这导致空位及其复合物、杂质、位错等密度增大，晶体质量变差，使掺杂A1GaN外延层的电导率下降，影响UV LED的掺杂效率和发光效率。A1GaN的n型掺杂常采用Si素来提高A1GaN的n型掺杂效率，而Si掺杂效率随着A1GaN中的A1组分增加而降。有研究人员使用分子束外延技术(Molecular Beam Epitaxy,MBE)制备Si掺杂,50%高A1组分A1GaN的电子浓度可达1.25x1020/cm^3。Khan等人通过采用A1N/A1GaN超晶格减少n型A1GaN层中的缺陷密度，提高了50%A1组分为n型A1GaN薄膜电子霍尔迁移率。有研究人员在A1N同质衬底上生长出的A1组分为80%的A1GaN材料，掺杂浓度达到6x1018/cm^3，载流子浓度为1x1018/cm^{3}提供了波长250-260nm的DUV LEDn型电导A1GaN的p型掺杂常采用Mg元素,A1GaN材料中Mg的激活能高达510-600meV，因此Mg的激活效率远低于n型A1GaN，国内外研究人员研究探索了普通均匀Mg掺杂、Mg-δ掺杂法、超晶格掺杂、共掺杂、极化诱导掺杂等诸多方法来减低位错密度，增加空穴浓度，提高A1GaN的p型电导率。

2.3 DUV-LED 光提取技术研究

如何提高光提取效率即外量子效率（EQE）也是A1GaN基DUV LED芯片的一个重要研究内容。DUV LED外延材料的自吸收、内部全反射及偏振特性导致了光提取率非常低。上节所述p型A1GaN的掺杂非常困难，DUV LED器件的p型层经常使用载流子浓度更高、晶体质量更好的p-GaN材料作为p型欧姆接触层，问题是p-GaN的禁带宽度窄，小于280nm波长的深紫外光子会被p-GaN强烈吸收，使得深紫外发光器件的光提取效率很低，研究人员通过采用对280nm

紫外光透明的p型A1GaN层来减小pGaN层厚度，将p型层的吸收率从105/cm降低1000/cm以下，p型层的透光率从5%提升到60%,大幅度提升光提取效率。为提高光提取率，一般深紫外发光器件采用倒装结构，让更多的深紫外光从透明的蓝宝石衬底散发出来。

受限于A1N材料的外延复杂困难，尚未达到应用化的程度，目前DUV LED都采用平面蓝宝石衬底上外延A1GaN，氮化物材料较高的折射率使量子阱发出的光反射严重，大量的光限制在LED内部并被外延材料吸收，造成平面蓝宝石衬底上外延A1GaN材料光提取效率非常低。研究人员借鉴GaN基蓝光LED的光提取经验，在提高UV LED的P型层透光率、减少外延层自吸收的基础上，结合图形衬底、表而粗化及电极反射镜等技术来进一步提高DUV LED的LEE和EQE。美国、日本、韩国和中国的研究人员通过在蓝宝石衬底背面制作微透镜、motheye、纳米柱结构、纳米图形衬底等技术，使DUV LED的光输出功率提高了50%-100%。

3 小结

气体放电类深紫外光源在材料、制造工艺相对成熟，在深紫外LED的效率和功率还无法满足商业化应用的情况下，气体放电紫外光源仍在一段时间内占据市场主导地位，深紫外LED取代气体放电类深紫外光源的时间表取决于深紫外LED技术发展的速度。气体放电紫外光源在提高功率，提升紫外辐射效率，保持紫外辐射强度的稳定性，提高自动化生产水平仍有许多工作值得去做。

近十年，随着A1N, A1GaN材料外延技术、材料质量和制备水平的提高，氮化物基DUV LED的研究已实现了重大进展，器件内/外量子效率取得了量级式的提升，外量子效率已达10%，初步达到了应用化的水平，A1GaN基紫外LED在杀菌消毒、生物分析等领域应用也见报道，随着第三代半导体材料和制备技术的开展，DUV LED的IQE/EQE有望进一步提升，器件寿命更长，在市场获得更广泛的应用。

参考文献

[1] Kneissl M, Kolbe T, Chua C, et al. Advances in group III-nitride-based deep UV light-emitting diodetechnology. Semicond Sci Teclmol,2011 26 014036

[2] K, Yamamoto J, Takeda K, et al. Internal quantum efficiency of whole-composition-range A1GaN multiquantum wells. Appl Phys Express, 2011, 4: 052101

[3] Khan M A, Kuznia J N, Skogmn R A, et al.Low-pressure metalorganic chemical vapor-deposition of A1N over sapphire substrates. Appl Phys Lett, 1992, G1: 2539-2541

[4] Khan M A, Skogman R A, Vanhove J M, et al.-Atomic layer epitaxy of GaN over sapphire using switched metalorganic chemical vapor-deposition. Appl Phys Lett, 1992, G0: 13GG-1368

[5] Khan M A, Kuzna J N, Olson D T, et al. GaN/A1N digital alloy short-period superlattices by switched atomic layer metalorganic chemical-vapor-deposition. Appl Phys Lett, 1993, G3: 3470-3472

[6] Zhang J P, Khan M A, Sun W H, et al. Pulsed atomic-layer epitaxy of ultrahigh-quality A1GaN structures for deep ultraviolet emissions below 230mu. Appl Phys Lett, 2002, 81: 4392-4394

[7] Wang H M, Zhang J P, Chen C Q, et al. A1N/A1GaN superlattices as dislocation filter for low-threading-dislocation thick A1GaN layers on sapphire. Appl Phys Lett, 2002, 81: G04-GOG

[8] Zhang J P,Wang H M,Gaevski M E, et al. Crack-free thick A1GaN grown on sapphire using A1N/A1GaN superlattices for strain management. Appl Phys Lett, 2002, 80 : 3542-3544

[9] Hirayama H, Yatabe T, Noguchi N, et al. 226-273mm A1GaN deep-ultraviolet light-emitting diodes fabricated on multilayer A1N

buffers on sapphire. Phys Status Solidi C, 2008, 5: 2969-2971

[10] Hirayama H, Yatabe T, Noguchi N, et al. 231-261mm A1GaN deep-ultraviolet light-emittingdiodes fabricated on A1N multilayer buffers grown by ammonia pulse-flow method on sapphire. Appl Pbys Lett, 2007, 91:071901

[11] Hirayama H, Fujikawa S, Noguchi N, et al. 222-282 mm A1GaN and InA1GaN-based deep-UV LEDs fabricated on high-quality A1N on sapphire. Phys Status Solidi A, 2009, 20G: 1176-1182

[12] Yan J, Wang J, Liu N, et al. High quality A1GaN grown on a high temperature A1N template by MOCVD. J Semicond, 2009, 10: 103001

[13] Dong P, Yan J, Zhang Y, et al.A1GaN-based deep ultraviolet light-emitting diodes grown on nanopatterned sapphire substrates with significant improvement in internal quantum efficiency. J Cryst Growth, 2014, 395:9-13

[14] Zhang J P, Wang H M, Sun W H, et al. High-quality A1GaN layers over pulsed atom-ic-layer epitaxially grown A1N templates for deep ultraviolet light-emitting diodes. J Electron Mater, 2003, 32: 364-370

[15] Zhang L, Ding K, Yan J C, et al. Three-di-mensional hole gas induced by polarization in (0001)-oriented metal-face III-nitride structure Appl Phys Lett, 2010, 97:0G2103

[16] Zhang L, Ding K, Liu N X, et al. Theoreti-cal study of polarization-doped GaN-based light-emitting diodes.Appl Phys Lett, 2011, 98 101110

[17] Shatalov M, Sun W, Lunev A, et al. A1GaN deepultraviolet light-emitting diodes with external quantum efficiency above 10%. Appl Phys Express, 2012, 5: 082101

[18] Kneissl M, Kolbe T, Chua C, et al. Advances in group III-stride-based deep U V light -emitting diode technology.Semicond Sci Tech,2011,2G:01403G

[19] Dong P , Yan J, Wang J, et al.282nm A1GaN based deep ultraviolet light-emitting diodes with improved performance on nano-patterned sapphire substrates. Appl Phys Lett, 2013, 102: 241113

[20] 王军喜等 . 氮化物深紫外 LED 研究新进展 . 中国科学 : 物理学力学天文学 , 2015 年 , 第 45 卷 , 第 6期

[21] 吕家东等 . 大功率紫外杀菌灯生产技术及关键设备的研制 . 电气照明， 2011 年，第 6 期

[22] 何志明等 . 低压高强紫外线灯温度特性及在水处理中的应用 . 中国照明电器，2015 年，第 2 期

[23] 付志敏等 . 污水处理紫外消毒提标升级技术方案研究 . 中国照明电器，2017 年，第 1 期

[24] 丁有生 . 紫外杀菌灯技术与应用的发展 . 灯与照明，2015.6，第 39 卷第 2 期

Pr^{3+}掺杂磷酸钇紫外荧光粉的制备方法及其性能分析

肖勇强 张 娜 朱月华 卓宁泽 陈鹏 王海波
南京工业大学电光源材料研究所，江苏 南京 210015

摘要：

采用共沉淀法合成了一系列$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}UVC杀菌用荧光粉，并用XRD、SEM以及发射光谱对荧光粉进行了表征。实验结果表明，样品为四方锆石晶体结构，Pr^{3+}的掺杂并没有改变样品的晶型;与高温固相法相比，在相同条件下，共沉淀法得到的样品形貌较好，发光强度更高;在227nm的激发光谱下，Pr^{3+}的最佳掺杂摩尔浓度为0.01，最佳烧结温度为1150℃，烧结时间为2h。样品的发射波段在UVC区域，最佳的发射波长为241nm，特别适用于紫外杀菌。

中图分类号：O482．31　　**文献标识码：**ADOI:10．3969/j．issn．1002-6150．2019．12．001

Synthesis and Luminescent Properties of Pr^{3+} - Doped YPO_4 UV Phosphors

XIAO Yongqiang　ZHANG Na　ZHU Yuehua　ZHUO Ningze　CHEN Peng　WANG Haibo
(The Research Institute of Electric Light Source Materials, Nanjing Tech University, Nanjing 210015, China)

Abstract: A series of $Y_{1-x}PO_4$: xPr^{3+}UVC phosphors were synthesized by coprecipitation method and characterized by XRD, SEM and emission spectrum. The results show that the samples are tetragonal zircon crystal structure, and the doping of Pr^{3+} does not change the crystal form of the samples; compared with high temperature solid state method, the samples obtained by coprecipitation method have better morphology and higher luminescence intensity under the same conditions; under the excitation spectrum of 227 nm, the optimum doping molar concentration of Pr^{3+} is 0.01, and the optimum firing temperature is 1150℃ and the sintering time is 2h. The emission band of the samples are in the UVC region, and the best emission wavelength is 241 nm, which is especially suitable for UV sterilization.

Key words: UVC; phosphors; sterilization; coprecipitation method; high temperature solid state method; Pr^{3+}

前言

目前常见的杀菌消毒方法主要有辐射消毒(如紫外线、伽马射线)、卤素消毒(如氯气、二氧化氯)、氧化剂消毒(如臭氧、过氧乙酸)[1]。传统的杀菌法主要采用的是二氧化氯、臭氧或氯之类的化学法，不仅存在化学残留，还产生副作用，危害人体健康。紫外线消毒，安全方便，避免药物残留，具有杀菌速度快，杀菌效率高的特点，是一种安全、卫生、环保的杀菌方式。

紫外线杀菌是利用其波长在微生物的吸收峰之内，可快速破坏微生物的脱氧核糖核酸(DNA)结构，达到杀死病毒和细菌的目的，其中杀菌作用最强的是UVC(200～280nm)波段，而UVA(320～400nm)和UVB(280～320nm)波段在微生物吸收峰外，起不到杀菌作用[2]。目前杀菌紫外线光源主要是汞灯[3]，Zuzana Bohrerova等[4]研究了不同紫外光源对大肠杆菌、噬菌体T4、噬菌体T7的平均灭活作用，低压汞灯和中压汞灯对这3种菌类的灭活作用接近，脉冲紫外灯的灭活作用最佳，波长大于295nm的紫外灯灭活作用较差。市场上较多的是低压汞灯，杀菌单一，而杀菌较好的中压汞灯，功率大，转换效率低，杀菌也不理想[5]。不仅如此，金属汞有毒，在空气中很容易挥发，会通过呼吸道和皮肤，进入人体内，从而造成人体神经系统的永久损伤[6-7]。开发出能够替代传统含汞紫外灯的无汞紫外光源，减少对人体和环境的危害，成为目前关注的重要问题[8-11]。

采用电子束激发荧光粉，使荧光粉受到激发，进而发出紫外线，这样的紫外光源制造技术正在得到大量的研究。TJüstel[2]研究了紫外发射荧光粉的最新进展，研究了Nd^{3+}激活的氟化物基质在VUV的发光情况、Pb^{2+}，Pr^{3+}，Bi^{3+}激活的磷酸盐和硼酸盐在UVC的发光情况、Gd^{3+}，Bi^{3+}，Pr^{3+}，Ce^{3+}激活的硼酸盐和硅酸盐在UVB的发光情况以及Tm^{3+}，Pb^{2+}，Ce^{3+}激活的硅酸盐和铝酸盐在UVC的发光情况，研究表明Pr^{3+}，Bi^{3+}激活的磷酸盐有良好的UVC发光效率，并有良好的紫外杀菌效果。T Jüstel等[12]制备了YPO_4：Ln(Ln=Ce，Pr，Nd)和YPO_4：Bi荧光粉，并研究了这几种荧光粉的发光性能和温度的关系，随着温度升高，发射光谱变宽，并且出现强烈的温度衰减现象。

基于此，本文主要研究了$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}杀菌荧光粉。通过选用高纯原料和优化的工艺配方，分别采用共沉淀法和高温固相法合成，经过球磨工艺得到合适粒径的荧光粉，比较两种方法的优劣，同时研究了Pr^{3+}的掺杂量、反应时间以及反应温度对结晶性能与光谱性能的影响，从中找出最佳的合成方法和反应条件。

1 实验部分

1.1 主要试剂和仪器

主要试剂:氧化钇(Y_2O_3，济宁天亿新材料有限公司);氧化镨(Pr6011，赣州稀土矿业有限公司);磷酸二氢铵($NH_4H_2PO_4$，AR，南京化学试剂股份有限公司);硝酸(HNO_3，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Cu－Kα，λ=0.15406nm，工作电压:40kV，工作电流:40mA，扫描范围:10≤2θ≤90°);荧光分光光度计(RF－6000，日本岛津公司)，测试光谱扫描范围:200～700nm，激发和发射狭缝宽度:d=1.0nm);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

1.2.1 共沉淀法

将化学计量比的Y_2O_3，Pr_6O_{11}在搅拌下缓慢溶于硝酸，加水稀释并加热至沸腾，在不断搅拌下将一定比例的磷酸二氢铵溶液缓慢加入其中，得到浅绿色沉淀。将沉淀物水洗至上层清液至pH=7，抽滤并在120℃烘10h。加入一定比例的Li_2CO_3作为助熔剂，再经高温烧结，得到样品。

1．2．2 高温固相法

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是不同Pr^{3+}掺杂浓度的$Y^{1-x}PO_4$：xPr^{3+}的XRD图和YPO_4的标准JCPDS卡，其中(a)～(e)是采用共沉淀法制备而成，(f)是高温固相法制备而成。图2是$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}在(200)面上的放大XRD图。从图1中可看出两种方法制备出的样品的衍射峰均与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Pr^{3+}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$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}荧光粉中较小的Y^{3+}(离子半径为0.090nm)位被较大尺寸的Pr^{3+}(离子半径为0.113nm)所取代而引起的晶格增强。这也进一步说明了掺杂Pr^{3+}可取代进入Y^{3+}位，而不生成任何附加相。

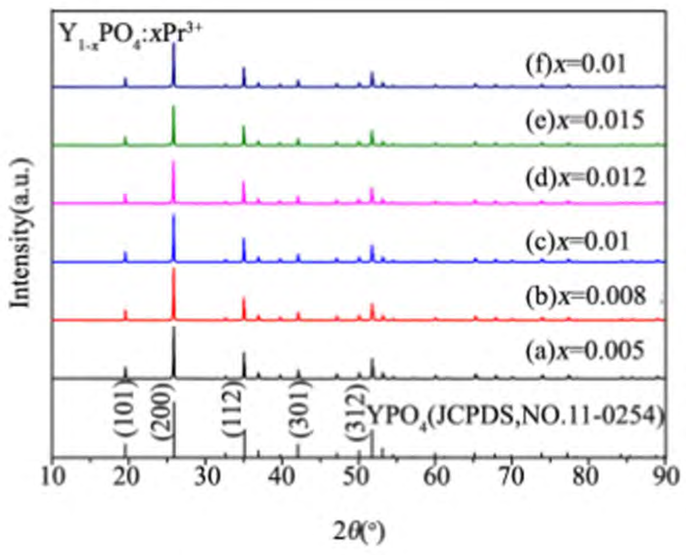


图1不同Pr^{3+}掺杂浓度的$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}的XRD图和YPO_4的标准XRD图，其中:(a)～(e)是采用共沉淀法制备;(f)为高温固相法制备Fig. 1 XRD diagram of $Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+} with different Pr^{3+}doping concentration and standard XRD diagram of YPO_4, (a)－(e)was prepared by coprecipitation method;(f)was prepared by high temperature solid phase method

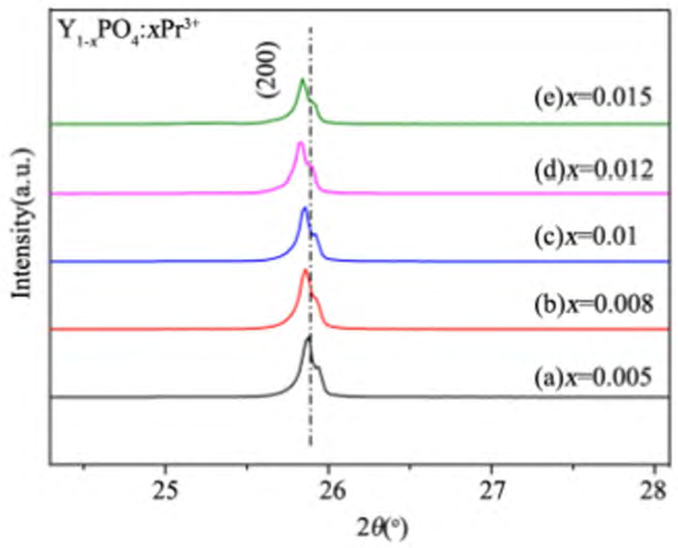


图2$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}在(200)面上的放大XRD图Fig. 2The enlarged XRD diagram of $Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}on (200) plane

2．2 $Y_{0.99}PO_4$：$0.01Pr^{3+}$的形貌分析

图3是$Y_{0.99}PO_4$：$0.01Pr^{3+}$的SEM图，其中

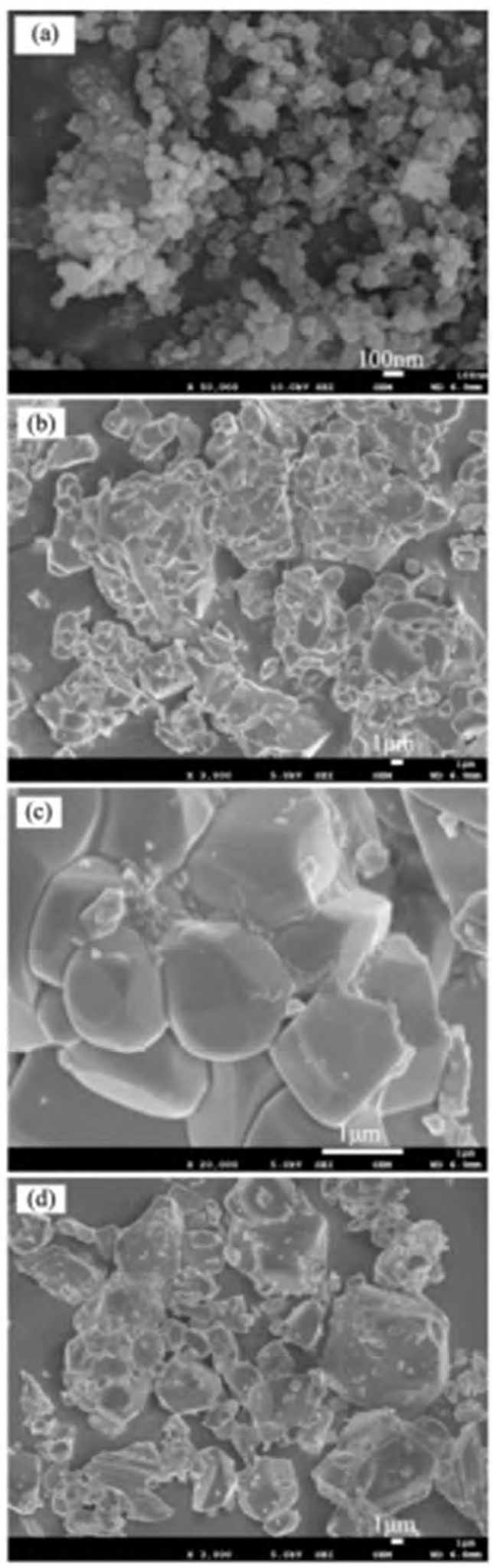


图3 $Y_{0.99}PO_4$：$_{0.01}Pr^{3+}$的SEM图

(a) 共沉淀法得到的前驱体;

(b) 放大 3000 倍时采用共沉淀法制备的样品;

(c) 放大 20000 倍时采用共沉淀法制备的样品;

(d) 放大 3000 倍时高温固相法制备的样品

Fig. 3 SEM diagram of $Y_{0.99}PO_4$：$_{0.01}Pr^{3+}$, in which

(a) precursor obtained by coprecipitation method;

(b) sample prepared by coprecipitation method were amplified by 3000 times;

(c) sample prepared bycoprecipitation method were amplified by 20000 times;

(d) sample prepared by high temperature solid — state method were amplified by 3000 times

(a)是共沉淀法得到的前驱体，可以看出未经烧结的前驱体粒径较小，形状规则均匀;将前驱体在一定温度下煅烧得到放大3000倍和20000倍时的样品(b)和(c)，从图中可看出，经过烧结，样品颗粒分散均匀，大小一致，晶型较好，晶体表面相对光滑，说明该样品结晶性较好。(d)是放大3000倍时高温固相法制备的样品，从图中可以看出，样品有规则晶型，但大小不一致，表面没有(b)光滑，这也可能说明在同样条件下(d)样品的发光性能可能不如(b)，即采用共沉淀法制备有利于样品得到较好的晶型，从而提高其发光性能。

2.1 结晶性能研究

图4是YPO_4：Pr^{3+}的激发光谱图，不论是原料处理和不处理两种方法，所得到的激发光谱峰位均相同，故实验方法并不影响光谱峰位峰形。因受光谱仪测试范围限制，这里从200nm开始读数，从图中可看出在监测波长为241nm时，激发光谱是由1个从200nm延伸到238nm的短波UV区的谱带，主要峰位在227nm处，这主要是对应于$^3H_4(4f_2)$基态→$4f^15d^1$态的吸收跃迁；此外，在211nm处还观察到1个次峰，这应该是Pr^{3+}的$^3H_4$→$^1S_0$跃迁。由于$^3H_4$→$^1S_0$跃迁是宇称禁止跃迁，所以$^3H_4$→$^1S_0$跃迁远弱于$4f^15d^1$吸收，所以$^3H_4$→$^1S_0$跃迁一般不明显，也不容易被观测到[13]。

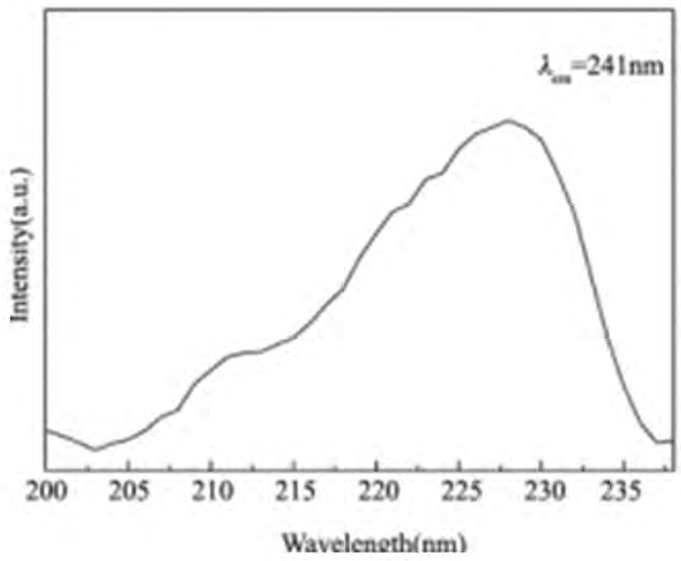


图 4 YPO_4：Pr^{3+}的激发光谱图

Fig. 4 Excitation spectra of YPO_4：Pr^{3+}

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

图5是高温固相法制备的Pr^{3+}掺杂浓度不同时的$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}的发射光谱图，图6是在激发波长为227nm时，激活离子Pr^{3+}掺杂浓度不同时的$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}的发射光谱图，其中(a)～(e)是采用共沉淀法制备的样品，(f)为高温固相法制备的样品。从图中可以看出，虽然制备方法不同，但是发射光谱峰位一致，且都在掺杂离子摩尔浓度在0.01时,光谱强度达到最大值，且在掺杂浓度(x=0.01)相同时，共沉淀法制备的样品光谱强度稍高，这与SEM结论相一致。$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}在200～300nm之间有发射峰带，其中共有4个发射峰，分别位于231nm、241nm、259nm以及270nm处，这主要是由于低态$4f^15d^1$分别到$^3H_4$、$^3H_5$、$^3H_6$和$^3F_2$多重态跃迁的结果[13]。在着浓度的增加，样品的发射强度明显增大，而在0.01～0.015这个范围时，随浓度变化，样品的发射强度呈下降趋势。这主要是由于随着Pr^{3+}浓度增加，Pr^{3+}离子之间的作用增强，激发能在Pr^{3+}离子之间迁移，当能量传递到陷阱、猝灭杂质以及猝灭中心时，Pr^{3+}离子发生猝灭，进而导致光谱强度降低。(a)～(e)中，光谱强度随掺杂浓度的化而出现强度变化，在Pr^{3+}掺杂摩尔浓度在 0.005～0.01时，随着浓度的增加，样品的发射强度明显增大，而在0.01～0.015这个范围时，随浓度变化，样品的发射强度呈下降趋势。这主要是由于随着Pr^{3+}浓度增加，Pr^{3+}离子之间的作用增强，激发能在

Pr^{3+}离子之间迁移，当能量传递到陷阱、猝灭杂质以及猝灭中心时，Pr^{3+}离子发生猝灭，进而导致光谱强度降低。

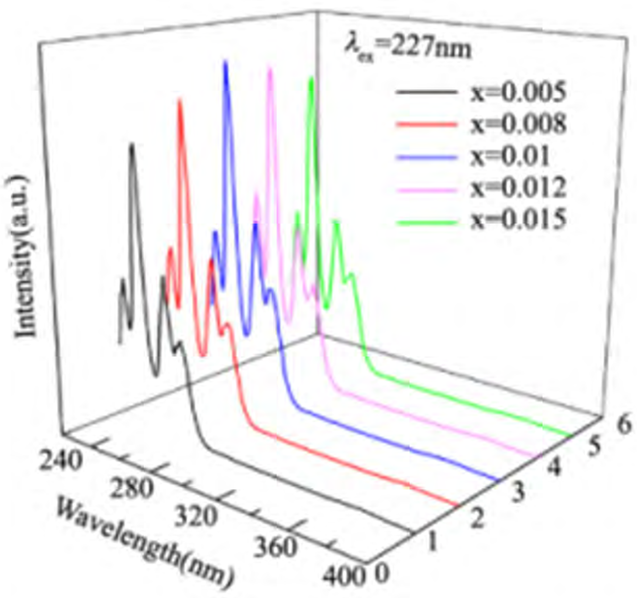


图5Pr^{3+}掺杂浓度不同时，采用高温固相法制备的$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}的发射光谱图

Fig. 5 Emission Spectra of $Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}prepared by high temperature solid — state method with different doping concentration of Pr^{3+}

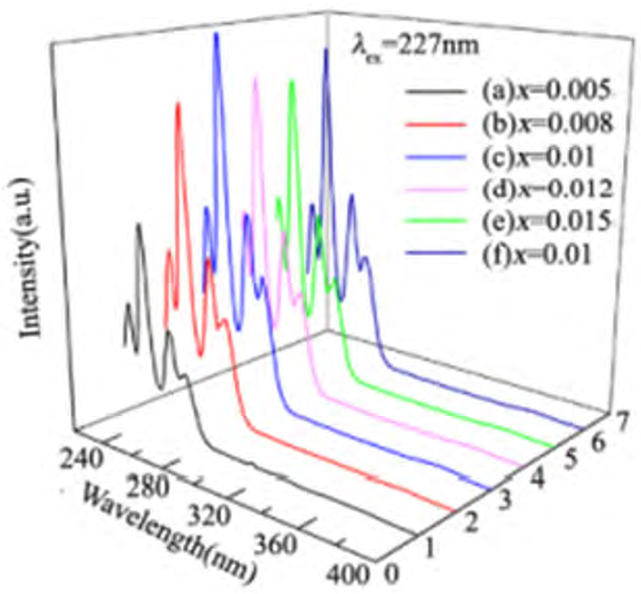


图6Pr^{3+}掺杂浓度不同时的$Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+}的发射光谱图，其中:(a)～(e)是采用共沉淀法制备的样品;

(f) 是高温固相法制备的样品

Fig. 6 The emission spectra of $Y_{1-x}PO_4$：xPr^{3+} with different doping concentration of Pr^{3+};in which:

(a)－(e) were prepared by coprecipitation method;

(f) was prepared by high temperature solid phase method

2.5 煅烧温度不同对$Y_{0.99}PO_4$：$_{0.01}Pr^{3+}$的发光性能的影响

图7是在激发波长为227nm时，煅烧温度不同时的$Y_{0.99}PO_4$：$_{0.01}Pr^{3+}$的发射光谱图，其中(a)～(e)是采用共沉淀法制备的样品，(f)为高温固相法制备的样品。该样品对煅烧温度较为敏感，故温度的变化范围影响其发光强度，当煅烧温度高于1200℃时，样品成块状，并很难研磨，不利于其使用，故本实验最终选择研究范围为1100～1200℃。从图中可以看出，在同等煅烧温度下，对原料进行处理后烧结的样品光谱强度稍高。在(a)～(e)中，可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1150℃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;而当温度继续升高时，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。

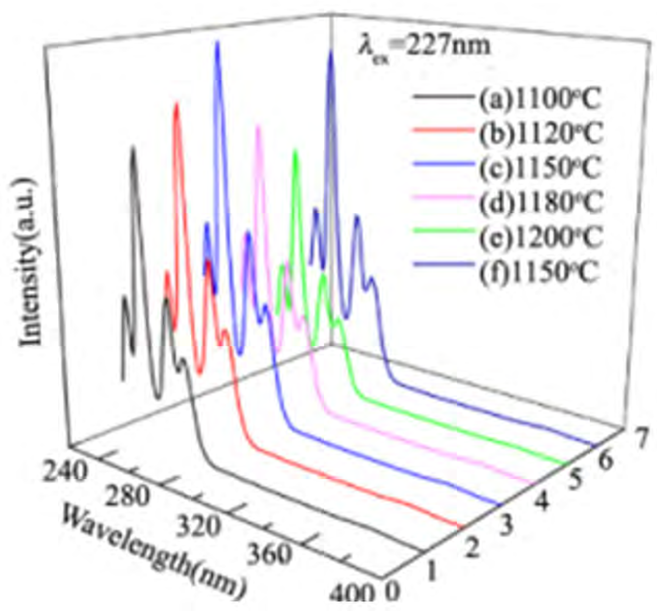


图7煅烧温度不同时的$Y_{0.99}PO4$：$_{0.01}Pr^{3+}$的发射光谱图，其中:(a)～(e)是采用共沉淀法制备的样品;(f)为高温固相法制备的样品

Fig. 7 Emission spectra of $Y_{0.99}PO4$：$_{0.01}Pr^{3+}$ at different calcination temperatures, in which:(a)－(e) were prepared by coprecipitation method;(f) was prepared by high temperature solid phase method

2.6 煅烧时间不同对$Y_{0.99}PO_4$：$_{0.01}Pr^{3+}$的发光性能的影响

图8是在激发波长为227nm，煅烧温度1150℃下，煅烧时间不同时的$Y_{0.99}PO_4$：$_{0.01}Pr^{3+}$的发射光谱图，其中(a)～(e)是采用共沉淀法制备的样品，(f)为高温固相法制备的样品。从图中可以看出，在同等煅烧时间下，对原料进行处理后烧结的样品光谱强度稍高。在(a)～(e)中，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，这可能是由于出现过烧而导致强度有所下降。由此可见，$Y_{0.99}PO_4$：$_{0.01}Pr^{3+}$的最佳煅烧时间为2 h。

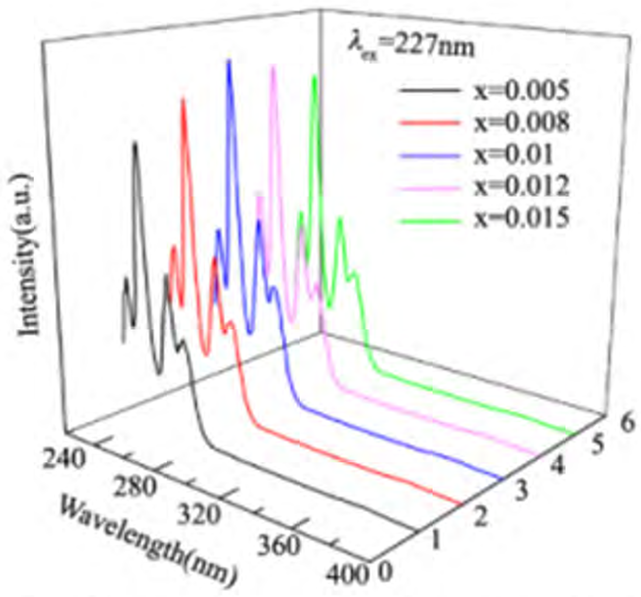


图8煅烧时间不同时的$Y_{0.99}PO_4$：$0.01Pr^{3+}$的发射光谱图，其中:(a)～(e)是采用共沉淀法制备的样品;

(f) 为高温固相法制备的样品

Fig. 8 The emission spectra of $Y_{0.99}PO_4$：$0.01Pr^{3+}$ at different calcination times, in which:(a)-(e)were prepared by coprecipitation method;(f) was prepared by high temperature solid phase method

3 结论

本实验通过两种方法即共沉淀法和高温固相法制备了可用于紫外杀菌的YPO_4：Pr荧光粉。经实验研究，结果表明，共沉淀法制备的样品晶型及发光性能都较高温固相法要好。XRD结果表明样品为四方锆石结构晶体，Pr^{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:Pr^{3+}的最佳掺杂摩尔浓度为0.01，最佳烧结温度为1150℃，烧结时间为2h。在227nm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。

参考文献

[1] 冯娜. 节能型紫外线杀菌水处理器的研究 [D]. 北京: 北京工业大学，2005.

[2] Thomas Jüstel. Recent developments on UV emitting phosphors [C] / 8th Phosphor Global Summit. San Diego，CA，2010.

[3] 刘文君. 高度重视饮用水微生物学安全性，强化紫外线消毒技术研究与应用 [J]. 给水排水，2011，47(8):1－5.

[4] Zuzana Bohrerova，Hilla Shemer，Robert Lantis，et al. Comparative disinfection efficiency of pulsed and continuous－wave UV irradiation technologies [J]. Water Research，2008，42 (12):2975－2982.

[5] Cairns W L，McKee J. New advances in ultraviolet light disinfection technology [C] / WEAO Technical Symposium and OPCEA Tradeshow. Toronto，Ontario，Canada，1996.

[6] CLEAR R，BERMANB S. Environmental and health aspects of lighting: mercury [J]. Journal of the Illuminating Engineering Society，1994，23(2):138－156.

[7] BORN M. Physics of mercury－free high－pressure discharge lamps [J]. Plasma Sources Science and Technology，2002，11(3A):A5－A63.

[8] LAPATOVICH W P，GIBBS G R，PROUD J M. Compact mercury－free fluorescent lamp: US4480213 [P]. 1984－10－30.

[9] DOUGHTY D A，SOMINERER T J. Mercury－free ultraviolet discharge source: US5866984 [P]. 1999－02－02.

[10] SEO I W，JUNG J C，OH B J，et al. Improvement of luminance and luminous efficacy of mercury－free，flat fluorescent lamp by optimizing phosphor profile [J]. IEEE Transactions on Plasma Science，2010，38(5):1097－1100.

[11] UHRLANDT D，BUSSIAHN R，GORCHAKOV S，et al. Low－pressure mercury－free plasma light sources: experimental and theoretical perspectives [J]. Journal of Physics D:Applied Physics，2005，38(17):3318－3325.

[3] Jüstel T, Huppertz P, Mayr W, et al.Temperature—dependent spectra of YPO_4:Me(Me=Ce, Pr, Nd, Bi) [J]. Journal of Luminescence, 2004, 106(3):225 — 233.

南京理控物联技术有限公司

理控物联/理工科技公司，是江苏省照明学会智慧照明专委会主任单位，具备国家建筑业企业电子与智能化、城市及道路照明专业承包资质，为国家高新技术企业、南京市重合同守信用和AAA资信等级企业，拥有商标、软件著作权和专利等全部的知识产权，室外照明控制产品为省级自主创新和高新技术产品。公司投资4000万元，在国家级南京江宁开发区建有占地25亩的智慧照明基地。

公司注重技术研发，全新推出的智慧照明2.0版全品类产品集中体现了先进的物联网和云平台技术的研发成果的应用，包括OLC云平台、OLM中心站软件、OLA手机APP、SLC1/2/3系列单灯控制器、TLC4系列照度控制器/采集器、LSC6/7/8系列照明控制器和SLL系列智能灯具，完美地融合了GPRS/CDMA/4G公网、WiFi无线局域网、NB-IoT窄带物联网和电力线载波等各种通信方式，实现了室外照明设施的全覆盖和大集成。为积极参与当前方兴未艾的智慧城市建设，推出的SLP系列智慧灯杆和以路灯为载体的智慧城市解决方案。这些原创设计的全新产品不仅颜值高，品质更高，技术更先进，必将引领智慧照明2.0（物联网+云平台）的发展方向。

公司拥有一百五十多个城市照明用户和众多区域照明用户，分布在北至满洲里、南至三亚的全国各地，涵盖北京、南京、广州、重庆、长春、武汉、福州、杭州、成都、太原、呼和浩特、乌鲁木齐、拉萨等城区，为全国各城市、各区域的照明管理、美化亮化、节能减排上水平、上台阶作出了积极的贡献，社会效益和经济效益明显。

24小时服务热线：400-008-9186

《江苏省城市照明智慧灯杆建设指南》

江苏省城市照明智慧灯杆建设指南

Guidelines for Building Smart Lighting Poles

in Jiangsu Province

江苏省住房和城乡建设厅

2019 年 12 月

目　　次

前言……II
1　范围……1
2　规范性引用文件……1
3　术语和定义……5
4　总体规划与设计……8
5　杆件及灯具……10
6　挂载设备……14
7　平台、网关及通信……19
8　布设与供电……22
9　施工与验收……27
10　运行与维护……31

前　言

城市照明灯杆具有覆盖面广、分布规律和天然地理坐标特性，能够为一些公共服务终端载体提供良好的基础条件。随着 5G、人工智能、物联网、大数据、车联网等技术的快速发展，为开放城市照明灯杆资源并打造成“一杆多用”的“智慧灯杆”奠定了基础。

为积极有序推动我省城市照明灯杆综合利用并努力打造与智慧城市建设相呼应的“智慧灯杆”，深入规范和指导智慧灯杆规划、建设和运维，美化城市道路环境，优化城市空间结构，合理运行维护成本，促进城市高质量发展，特制定《江苏省城市照明智慧灯杆建设指南》（以下简称指南）。

本指南按 GB/T 1.1《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》的规定编制。

本指南由江苏省住房和城乡建设厅提出并归口。

主编单位：江苏省住房和城乡建设厅、南京工业大学

江苏省城市照明智慧灯杆建设指南

1　范围

本指南规定了城市照明智慧灯杆的总体规划与设计、杆件及灯具、挂载设备、平台、网关及通信、布设与供电、施工与验收、运行与维护等要求。

本指南适用于江苏省内新建、改建、扩建城市照明智慧灯杆的立项、规划、设计、施工、验收、运行及维护。

智慧灯杆的立项、规划、设计、施工、验收、运行及维护应符合本指南要求外，且应符合国家、行业及地方现行有关标准规范的规定。

2　规范性引用文件

以下是本指南引用文件，凡标注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件；凡未标注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

CJ/T 527　道路照明灯杆技术条件

CJ/T 457　高杆照明设施技术条件

GB 50017　钢结构设计标准

GB 50007　地基基础设计规范

GB 50135　高耸结构设计规范

JGJ 94　建筑桩基技术规范

CJJ 45　城市道路照明设计标准

GB/T 699　优质碳素结构钢

GB/T 18592　金属覆盖层 钢铁制品热浸镀铝 技术条件

QB 1551　灯具油漆涂层

JT/T 495　公路交通安全设施质量检验抽样方法

GB 50068　建筑结构可靠性设计统一标准

GB 50009　建筑结构荷载规范

GB 50260　电力设施抗震设计规范

GB/T 7000.1　灯具 第1部分：一般安全要求与试验

GB/T 7000.203　灯具 第2-3部分：特殊要求 道路与街路照明灯具

GB/T 31832　LED城市道路照明应用技术要求

GB/T 24827　道路与街路照明灯具性能要求

GB/T 31897.1　灯具性能 第1部分：一般要求

GB/T 31897.201　灯具性能 第2-1部分：LED灯具特殊要求

江苏省道路照明LED应用技术指南

GB/T 34923.1　路灯控制管理系统 第1部分：总则

GB/T 34923.4　路灯控制管理系统 第4部分：路灯控制器技术规范

GB/T 34923.6　路灯控制管理系统 第6部分：通信协议技术规范

GB/T 17626　电磁兼容 试验和测量技术系列标准

CJJ/T 227　城市照明自动控制系统技术规范

GB/T 25724　公共安全视频监控数字视音频编解码技术要求

GB/T 28181　公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求

GB 50395　视频安防监控系统工程设计规范

GB 50068　建筑结构可靠性设计统一标准

GB 51038　城市道路交通标志和标线设置规范

GB 14886　道路交通信号灯设置与安装规范

GB 14887　道路交通信号灯

GB 25280　道路交通信号控制机

GB/T 33697　公路交通气象监测设施技术要求

SJ/T 11141　发光二极管（LED）显示屏通用规范

GB 50526　公共广播系统工程技术规范

GB 8898　音频、视频及类似电子设备 安全要求

GB 4943.1　信息技术设备 安全 第 1 部分：通用要求

GB/T 18487.1　电动汽车传导充电系统 第1部分：通用要求

GB/T 20234.1　电动汽车传导充电用连接装置 第1部分：通用要求

GB/T 20234.2　电动汽车传导充电用连接装置 第2部分：交流充电接口

GB/T 20234.3　电动汽车传导充电用连接装置 第3部分：直流充电接口

GB/T 5080.7　设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证

试验方案

YD/T 5230　移动通信基站工程技术规范

DL/T 375　户外配电箱通用技术条件

GB 50052　供配电系统设计规范

GB 50054　低压配电设计规范

GB/T 18802.12　低压电涌保护器（SPD） 第 12 部分 低压配电系统的电涌保护器 选择和使用导则

GB/T 13955　剩余电流动作保护装置安装和运行

GB 50057　建筑物防雷设计规范

GB 50689　通信局（站）防雷与接地工程设计规范

YD/T 1429　通信局（站）在用防雷系统的技术要求和检测方法

GB 50217　电力工程电缆设计标准

GB 50289　城市工程管线综合规划规范

GB 50838　城市综合管廊工程技术规范

CJJ 89　城市道路照明工程施工及验收规程

GB 50168　电气装置安装工程 电缆线路施工及验收标准

GB 50169　电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范

GB 50254　电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范

GB 50348　安全防范工程技术标准

GB 14886　道路交通信号灯设置与安装规范

GB/T 50374　通信管道工程施工及验收标准

YD 5201　通信建设工程安全生产操作规范

GB 50252　工业安装工程施工质量验收统一标准

GB 51120　通信局(站)防雷与接地工程验收规范

GB 50374　通信管道工程施工及验收标准

GB 50204　混凝土结构工程施工质量验收规范

YD/T 5132　移动通信工程钢塔桅结构验收规范

GB 51171　通信线路工程验收规范

GB/T 25000.1　软件工程 软件产品质量要求与评价

DBJ/T 15-164　智慧灯杆技术规范（广东省）

DB4403/T 30　多功能智能杆系统设计与工程建设规范（深圳市）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南。

3.1

智慧灯杆 smart lighting pole

通过挂载的各类设备，并与系统平台进行联网，提供智能照明、视频监控、交通指示、交通监控、环境/气象监测、5G通信、信息发布、公共广播、公共WLAN、紧急求助、信息交互、充电服务等功能的智能化灯杆。

3.2

智能照明 smart lighting

对城市照明设施（配电柜、灯具）进行精细化、智能化管控，实现“遥测、遥控、遥信、遥调、遥视”等功能，包括集中控制系统和单灯控制系统。

3.3

视频监控 video surveillance

由前端视频摄像机、传输链路和视频监控平台所组成，主要用于安防监控和交通监控。

3.4

交通指示 traffic indication

包括各类交通标志牌、交通信号灯（指示屏）、路名牌和导向标志。

3.5

交通监控 traffic monitoring

包括交通流量检测、道路监控和电子警察，可实时监测车流量、车速和道路的通行状态，也可对交通违法行为进行抓拍和记录。

3.6

环境/气象监测 environmental or meteorological monitoring

通过安装各类传感器，远程监测城市各点位的环境或气象数据，如温度、湿度、照度、气压、风向、风速、噪声、PM2.5和PM10等。

3.7

5G通信 5th generation mobile communication

第5代移动通信系统，简称5G通信，而5G基站将是智慧灯杆最重要的挂载设备之一。

3.8

信息发布　information display

可按区域或功能通过LED显示屏远程发布图像或视频信息，如时政新闻、天气预报、环境数据、交通信息和公益广告等。

3.9

公共广播　public broadcasting

可按区域和功能提供音频广播，可远程控制播放内容，如政府公告、应急指挥信息、背景音乐等。

3.10

公共WLAN　public WLAN

使用高速、宽带无线技术，提供可随时随地接入的无线网络，为市民提供互联网服务。

3.11

紧急求助　emergency call

一键式紧急呼叫，与系统平台联网，快速传递报警或求助信息，可双向通话或视频。

3.12

信息交互　information interaction

通过触摸显示屏，提供现场信息查询、参数设置等服务。

3.13

充电服务　charging service

为各类电动汽车提供交流或直流充电服务。

3.14

设备舱　equipment cabin

位于智慧灯杆的底部，为灯杆上挂载的各类设备提供配电、通信和监控服务的专用机箱。

3.15

单灯控制器　street light controller

对路灯灯具进行远程开关、调光和电量监测的控制装置，采用有线或无线通信方式与集中控制器、网关或系统平台进行通信。

3.16

平台　platform

平台即系统管理软件，是智慧灯杆系统的中枢和大脑，它通过智慧灯杆网关对挂载的设备进行通信和管理，实现远程控制、数据采集、视频监控、信息发布、公共服务和指挥调度等功能。

3.17

网关 gateway

智慧灯杆网关是安装在设备舱内的核心数据交换设备，集路由、交换及协议栈等功能于一体，上行与平台进行网络通信，下行与挂载设备进行网络或串行通信。

4 总体规划与设计

4.1 基本要求

智慧灯杆系统涉及住建、城管、规划、交通、公安、通信、供电等多个政府职能部门和使用单位，涉及规划、设计、建设、运维等全生命周期管理的各个环节。各地应针对智慧灯杆编制专项规划，具体项目的建设应严格按照规划进行设计。相关各方应进行充分的沟通与交流，确保总体设计满足要求。

4.2 系统组成

智慧灯杆系统由前端分布在城市各路段和区域的智慧灯杆和后端的平台软件组成，可自成系统独立运行。而智慧灯杆系统也可作为智慧城市的重要节点和组成部分，接入各地智慧城市管理大平台。

4.2.1 智慧灯杆

智慧灯杆应包括杆体、设备舱、智能灯具、挂载设备以及配套设施等，其中挂载设备和搭载功能宜根据各地需求和应用场景进行选配。智慧灯杆的具体组成如下：

a） 杆体：竖杆、悬臂和安装组件。智慧灯杆上根据规划设计需要须预留各种接口，可扩展新的功能设备。

b） 设备舱：杆体的底座箱体，可分舱集成配电、通信、防雷和接地等功能模块，包括多路输出的工业级开关电源、智慧灯杆网关、光纤收发器等；

c） 智能灯具：LED灯具和单灯控制器；

d） 挂载设备：包括但不限于以下功能设备：视频摄像机、交通指示设备、交通监控设备、环境/气象传感器、5G基站、LED显示屏、网络音柱、无线WiFi、一键呼叫设备、信息触摸屏、充电桩等。

e） 配套设施：为满足智慧灯杆正常使用而配套建设的各种基础性、服务性设施，如照明配电柜（房）、通信机柜（房）、电力管线、通信管线及土建基础等。

4.2.2 平台软件

平台软件是智慧灯杆系统的中枢和大脑,它通过智慧灯杆网关对挂载的设备进行通信和管理，实现远程控制、数据采集、视频监控、信息发布、公共服务和指挥调度等功能。

平台软件既可部署在智慧灯杆运维单位的监控中心，也可部署在云端。平台软件宜采用B/S架构，宜支持手机APP。

4.3 主要功能

智慧灯杆的各种功能应用是通过挂载在灯杆上的各类设备、系统平台和通信来实现的，其主要功能包括但不限于以下功能：

a） 智能照明；

b） 视频监控；

c） 交通指示；

d） 交通监控；

e） 环境/气象监测；

f） 5G通信；

g） 信息发布；

h） 公共广播；

i） 公共WLAN；

j） 紧急求助；

k） 信息交互；

l） 充电服务；

……

5 杆件及灯具

5.1 杆体形式、高度及材质

5.1.1 智慧灯杆的基本形式

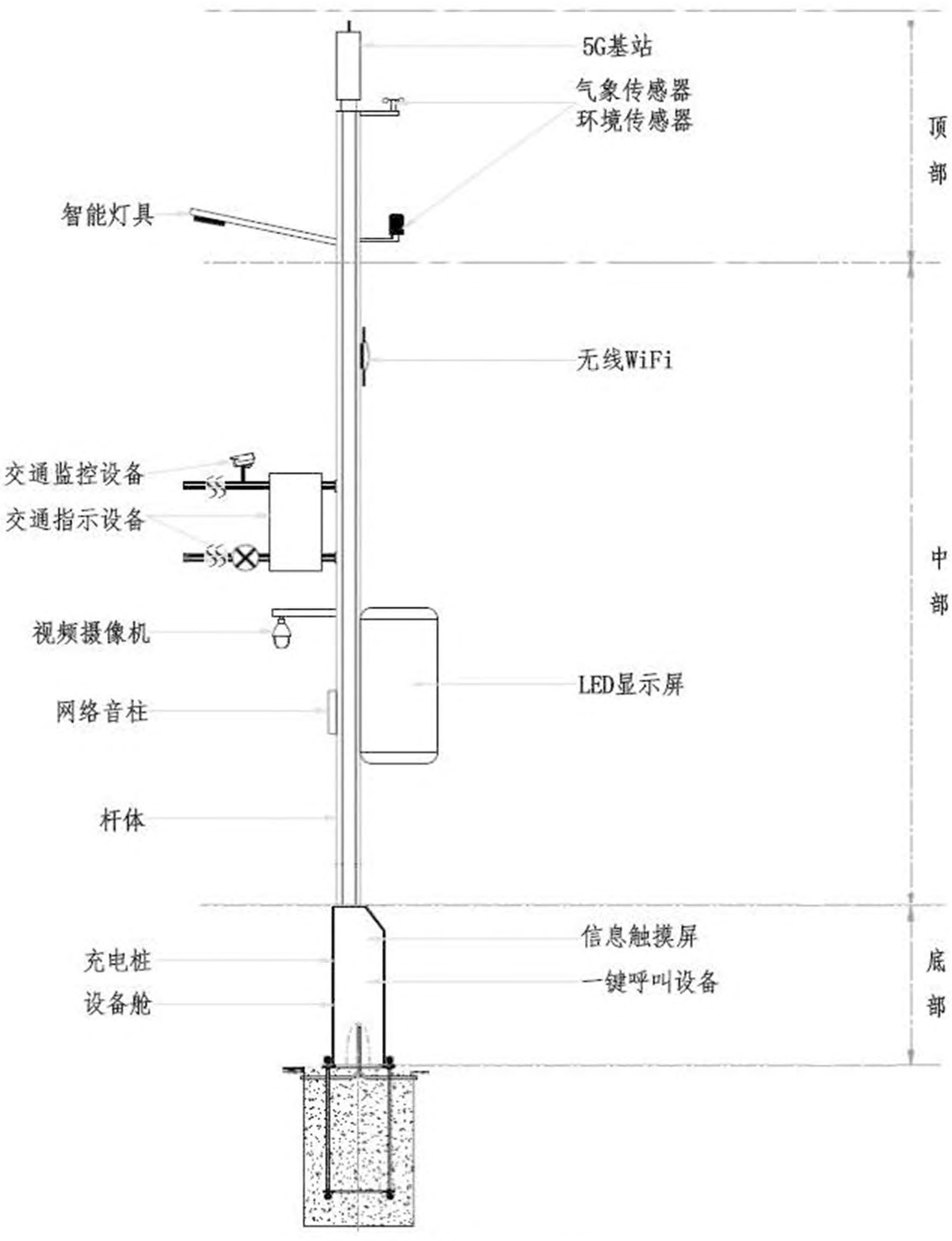


图 1 智慧灯杆示意图

智慧灯杆宜采用杆体与箱体底座（设备舱）的组合设计，特殊情况下可采用杆体和设备舱分离的设计。智慧灯杆的示意图见图1，宜采用以下三个层次进行分层设计：

a） 底部设备舱：适用一键呼叫设备、信息触摸屏、充电桩等挂载设备以及舱内设备、

检修门、接地线等；

b） 中部杆体（含悬臂）：适用视频摄像机、LED显示屏、网络音柱、无线WiFi、交通指示和交通监控设备等；

c） 顶部杆体：适用智能灯具以及5G基站、环境和气象传感器等挂载设备，按需预留避雷针安装位置。

智慧灯杆的杆体样式宜采用圆形杆、方形杆、多棱杆和组合杆，宜采用滑槽、法兰或抱箍的形式为挂载设备提供安装接口，并满足将来扩展的需求，应符合CJ/T 527、CJ/T 457的要求。智慧灯杆的杆件宜采用模块化、标准化、系列化设计。

智慧灯杆杆体结构上要满足挂载设备后的荷载、抗风、防震等安全要求，挂载设备的安装位置应根据其设备功能需求进行规划设计。

智慧灯杆杆体结构设计时应同步设计底部设备舱，以便对挂载设备进行集中配电、通信和监控。宜对强、弱电和不同使用单位的专用设备进行分层舱位设计，设计应充分考虑预留与各设备使用单位的对接接口以及系统安全。分层舱位宜具备对各使用单位的设备箱门禁的管理功能，具备开启鉴权及非法开门（箱）报警功能。

杆体、设备舱、杆顶和预留孔应进行防水、防尘、防腐设计。设备舱的防护等级应不低于 IP55，宜采用散热和防潮设计，保证舱内设备的正常工作。

钢结构设计应符合 GB 50017 中的相关规定，杆体基础设计应符合 GB 50007、GB 50135 和 JGJ 94 中的相关规定。

5.1.2 现有杆件的改造

在智慧灯杆的建设中，应按照专项规划进行设计，提倡改造、利用现有杆件，实现节约资源、节省投资、缩短工期的目的。现有杆件使用前须按照新杆建设要求，与挂载设备的使用单位进行充分的沟通，满足计划搭载设备的功能和布设要求，进行荷载设计，达到本《指南》要求后，方可投入使用。

5.1.3 杆体高度

智慧灯杆的高度应符合CJJ 45的相关规定，还应综合考虑景观、功能及挂载设备安装高度等要求进行设计，以达到功能性和景观性的协调统一。同一应用场景下的智慧灯杆的高度应保持一致，各典型应用场景推荐的智慧灯杆高度如下（特殊情况可按需设计）：

a） 高速公路、城市快速路宜为10～15m；

b） 城市道路主干道、次干道宜为10～12m；

c） 高架、桥梁、立交互通宜为10～12m；

d） 城市道路支路宜为8～10m；

e） 商业步行街、公园、小区、人行道、小型汽车道宜为3～6m；

f） 道路口、广场宜为15～30m。

5.1.4 杆体材质

智慧灯杆杆体应采用优质高强度钢材，宜采用优质碳素结构钢，性能应符合GB/T 699中的相关规定。在满足设计、结构、安全及使用年限要求的前提下，也可采用铝合金或不锈钢等材料。

设备舱应采用钢结构框架，箱体离地高度宜不超过1.5m，应满足智慧灯杆整体荷载需要，外表宜进行防粘贴处理。

杆体、设备舱的黑色金属部分应采用热浸镀锌进行防腐处理，根据需要可再喷漆或喷塑。热浸镀锌应符合GB/T 18592中的相关规定，喷漆、喷塑应分别符合QB 1551、JT/T 495中的相关规定。

杆体、设备舱材质及颜色应能提升城市环境品质，同一道路或区域内，智慧灯杆的杆体颜色宜与普通灯杆协调一致。

5.2 荷载设计

智慧灯杆的杆体、悬臂、设备舱及其连接配件的设计应符合GB 50068、GB 50009、GB 50017中相关规定，使用年限应不低于20年，安全等级符合二级标准。

智慧灯杆的设计应充分考虑外在荷载对结构稳定性的影响，依据其外形尺寸进行力学模型分析，核定悬臂和立柱的根部等危险部位的安全可靠性，确保杆体在满负荷情况下的安全性及稳定性。

挂载交通指示、交通监控等设备的悬臂的荷载设计应符合现行标准中的相关规定。

智慧灯杆的抗风设计应根据GB 50009中的相关规定进行，各地基本风压值按50年重现期选取，但不得小于0.35kN/m²。杆体、悬臂、设备舱、挂载设备及其连接配件等在风压组合值作用下的最大应力，应小于材料强度标准值。

智慧灯杆的抗震性应符合GB 50260中的相关规定。

当智慧灯杆及挂件水平方向面积较大时，应考虑雪荷载。

除集成现有功能设备的荷载外，杆体荷载还应考虑冗余设计，保证后期功能扩展的需求。

5.3 智能灯具

智能灯具包括LED灯具与单灯控制器，能够实现远程集中管理和单灯控制、调光，并支持灯具运行状态和电量监测、故障报警。

5.3.1 LED 灯具

LED灯具应符合以下要求：

a） LED灯具的安全性应符合GB/T 7000.1、GB/T 7000.203中的相关规定；

b） 工程设计应符合CJJ 45、《江苏省道路照明LED应用技术指南》中的相关规定；

c） LED灯具的性能应符合GB/T 31832、GB/T 24827、GB/T 31897.1、GB/T 31897.201中的相关规定。

5.3.2 单灯控制器

单灯控制器应符合以下要求：

a） 应符合GB/T 34923.1、GB/T 34923.4、GB/T 34923.6、GB/T 17626系列、CJJ/T 227中的相关规定；

b）应具备开关灯（自主/受控）、调光（0～10V/PWM）、监测（电压、电流、功率）和故障报警等功能；

c） 响应时间≤5s；

d） 应兼容RS-485（与智慧灯杆网关之间）、NB-IoT/GPRS/CDMA/4G/5G（与管理平台之间）、PLC/ZigBee/LoRa(与单灯集中器之间)等通信方式，宜支持双模通信方式；

e） 宜具备状态指示灯（电源/运行、开关、通信）；

f） 宜具备软件远程升级功能。

6 挂载设备

6.1 一般要求

智慧灯杆的挂载设备是指除杆体、智能灯具和设备舱以外挂载在智慧灯杆上实现各种功能的智能化设备，如视频摄像机、交通指示设备（信号灯、标志牌、指示屏）、交通监控设备（流量检测器、道路监控摄像机、电子警察）、环境传感器、气象传感器、5G 基站、LED 显示屏、网络音柱、无线 WiFi、一键呼叫设备、信息触摸屏、充电桩等。

智慧灯杆上的挂载设备应符合以下要求：

a） 挂载设备的选配应满足智慧灯杆应用场景和功能的需求；

b） 安装位置应能满足功能覆盖范围的要求；

c） 挂载设备的外观、颜色应尽量与杆体、智能灯具和设备舱的设计风格协调一致、美观大方，并做到小型化、轻量化、减量化；

d） 应达到 IP65 的防护等级，应能满足江苏地区长年户外使用的气象条件要求；

e） 挂载设备的性能指标应符合相关标准、规范的要求；

f） 挂载设备的布局应避免设备之间相互影响和电磁干扰，保证各设备的正常运行以及数据采集、信号传输的准确度和安全性；

g） 挂载设备宜采用滑槽、法兰或抱箍的形式与杆体连接，做到安全、稳固，连接件应采用不锈钢或经过防腐处理的材质；

h） 宜在杆体的相应位置预留出线孔，方便挂载设备的供电和通信走线，出线孔应采用塞子封堵；

i） 宜在智慧灯杆的设备舱安装多路输出的工业级开关电源，为直流供电的挂载设备提供 5V、12V、24V 和 48V 电源；

j） 配置交通指示（信号灯、标志牌、指示屏）、交通监控（流量检测器、道路监控摄像机、电子警察）、安防监控摄像机等挂载设备的悬臂半径及荷载应符合现行标准的相关规定。

6.2 功能配置

智慧灯杆挂载设备的配置应综合考虑实际应用场景、功能需求及可扩展性，典型应用场景及推荐性配置可参考表 1。

挂载设备 / 应用场景	视频摄像机	交通指示设备	交通监控设备	环境传感器	气象传感器	5G基站	LED显示屏	网络音柱	无线WiFi	一键呼叫设备	信息触摸屏	充电桩
快速路	●	●	●	○	○	●	—	○	—	○	—	—
主干路	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○	—	—
次干路	●	●	●	○	○	●	●	○	○	○	○	○
支路	●	●	●	○	○	●	●	○	○	○	○	○
立交节点	●	●	●	●	●	●	—	—	—	—	—	—
桥梁	●	●	●	○	○	●	—	—	—	—	—	—
停车场	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○	○	●
广场、学校、公园	●	○	—	●	●	●	○	○	○	○	○	○
商业步行街	●	●	—	○	○	●	●	○	○	○	○	○
景区	●	○	—	●	●	●	●	○	○	○	○	○
注：● 建议配置；○ 可选配置；—不宜配置												

表 1　智慧灯杆挂载设备的配置参考表

6.3　常用的挂载设备

6.3.1　视频摄像机

智慧灯杆宜选配户外球形或枪形高清网络摄像机，不宜低于 200 万像素,可根据使用单位的具体需求和应用场景选配红外夜视、SD 卡存储、外置拾音器、人脸识别、违章抓拍、流量统计等功能。视频摄像机宜通过支架或吊杆安装固定在悬臂或法兰盘上，采用 12～24V DC 供电，通过 RJ-45 网口与智慧灯杆网关连接，或直接与公安、城管等部门的专线连接。

视频摄像机应符合 GB/T 25724、GB/T 28181、GB 50395 中的相关规定。用于安防监控的视频摄像机在智慧灯杆上的安装高度不宜低于 3.5m。

6.3.2　交通指示与交通监控设备

现有的交通设备，如交通标志牌、交通信号灯（指示屏）、交通流量检测器、道路监控摄像机、电子警察（交通执法设备）等，宜视具体情况合杆到智慧灯杆上。

各类交通标志、路名牌、导向标志的设置应符合GB 51038中的相关规定，应通过相关

主管部门的批准，应采用附着固定的方式，避免遮挡。

交通信号灯（指示屏）的设置应符合GB 14886、GB 14887和GB 28250中的相关规定，由交通信号控制机实行统一控制，宜采用智慧灯杆统一供电。

在智慧灯杆上挂载的交通流量检测器和道路监控摄像机可实时监测车流量、车速和道路的通行状态，通过专线与交通管理部门的平台联网。在智慧灯杆上挂载电子警察（交通执法设备）可实时抓拍车辆、行人的交通违法行为，通过专线与交警部门的平台联网，实现非现场的交通执法。

应根据各地使用单位的具体需求、应用场景和监控区域合理选装交通流量检测器、道路监控摄像机和电子警察，设备的选型应符合相关标准、规范，宜采用智慧灯杆统一供电。

6.3.3 环境/气象传感器

环境/气象传感器采集的数据包括但不限于温度、湿度、照度、气压、风向、风速、噪声、PM2.5 和 PM10 等，应根据各地使用单位的具体需求、应用场景和周边环境合理选配需监测的环境/气象要素，宜选用多合一设计的环境/气象传感器。环境/气象传感器采用 12V DC 供电，宜采用 RS-485 串口与智慧灯杆网关连接,应安装在智慧灯杆的顶部。

气象传感器应符合 GB/T 33697 中的相关规定。

6.3.4 5G 基站

6.3.4.1 5G 基站

目前，已公开的 5G 基站主要由有源天线单元 AAU 和室内基带处理单元 BBU 组成，AAU 挂载在灯杆上，BBU 安装在通信机柜（房）内，AAU 与 BBU 之间采用光纤连接。AAU 既可采用法兰盘固定的方式安装在灯杆的顶端，也可采用传统的抱箍方式安装在灯杆的中部，天线辐射主要方向应无金属物体阻挡，满足规定的覆盖范围要求。目前，各 5G 设备厂家已公开的 AAU 主要参数如下：

a） 供　　电：-48V DC，引自通信机柜（房）；

b） 最大功耗：≤1400w；

c） 重　　量：≤50kg；

d） 外形尺寸：≤900×500×220mm。

6.3.4.2 5G 微基站

智慧灯杆上将会大量挂载 5G 微基站，5G 微基站的组成形式、供电方式和主要参数还有待各 5G 设备厂家正式定型发布后才能逐步确定。

6.3.5 LED 显示屏

智慧灯杆的信息显示屏宜选用户外 LED 全彩显示屏，它主要由采用 SMD 小间距的 LED 显示模组、电源、控制器和箱体组成，分为单面屏和双面屏。户外 LED 显示屏的像素中心间距宜为 P3、P4 或 P5，通过 RJ-45 网口与智慧灯杆网关连接。LED 显示屏安装的中心高度离地不宜超过智慧灯杆杆高的二分之一，底端离地宜大于 2.2m。

LED 显示屏应符合 SJ/T 11141 中的相关规定，其主要参数如下：

a） 供　　电：220V AC；

b） 峰值功耗：≤1000w（单面）；

c） 重　　量：≤50kg（单面）；

d） 显示尺寸：≤800×1600mm，可定制；

e） 亮　　度：≥5000cd/m²，且能根据环境光自动调节。

6.3.6 网络音柱

网络音柱是数字化的公共广播设备，采用 24V DC 或 220V AC 供电，通过 RJ-45 网口与智慧灯杆网关连接，平台侧可配备直接广播的网络寻呼话筒。网络音柱应符合 GB 50526 和 GB 8898 中的相关规定，可通过滑槽或法兰安装在智慧灯杆的杆体中部。

6.3.7 无线 WiFi

智慧灯杆上挂载的无线 WiFi 设备主要提供公众无线局域网 WLAN，为市民提供上网服务。无线 WiFi 设备应支持 AP、STA 和 Repeater 模式，应支持 2.4G/5G 双频工作，采用 12～48V DC 或 PoE 供电，采用 100/1000M WAN 口接入，可实现上网管理和流量统计等功能。

无线 WiFi 设备应符合公众无线局域网接入点（AP）设备认证技术规范、IEEE 802.11 系列标准和 GB 4943.1 中的相关规定。

6.3.8 一键呼叫设备

一键呼叫设备分为智慧灯杆侧的一键呼叫（可视）终端和平台侧的网络寻呼话筒，可实现应急呼叫及应答，方便市民求助。一键呼叫（可视）终端采用 12V DC 供电，通过 RJ-45 网口与智慧灯杆网关连接，宜嵌入式安装在智慧灯杆的设备舱的外壳上，中心位置离地宜不超过 1.2m，宜采用预防非报警操作的措施。

6.3.9 信息触摸屏

智慧灯杆上挂载的信息触摸屏又称多媒体交互终端，宜采用电容式 LCD 触摸屏，通过文字、声音和图像等方式，实现信息查询、发布和人机交互。信息触摸屏的分辨率应不低于

800×600，亮度宜不低于 1000cd/m²，采用 5V/12V DC 供电，通过 RJ-45 网口与智慧灯杆网关连接，宜嵌入式安装在智慧灯杆底部的设备舱的外壳上，中心位置离地宜不超过 1.2m。

6.3.10 充电桩

电动汽车充电设备包括交流充电桩和直流充电机，前者用于交流慢充场景，宜在智慧灯杆的设备舱采用壁挂式或嵌入式安装；后者用于直流快充场景，宜采用独立的一体柜落地安装方式。

充电桩的供电线路应与智慧灯杆的供电线路分开单独铺设，交流充电桩采用 220V AC 单相或 380V AC 三相供电，最大功耗不超过 9.5kw；直流充电桩采用 380V AC 三相供电，最大功耗不超过 120kw。充电桩采用 RJ-45 网口与智慧灯杆网关连接，也可通过光纤、4G/5G 与管理平台或收费系统直连。

充电桩的选址应考虑充电专用停车位的规划、设置，须具备紧急停止按钮,应具备各种报警、保护措施，应自带显示器、键盘或触摸屏等人机交互功能，应支持刷卡缴费或移动支付。充电桩应符合 GB/T 18487.1、GB/T 20234.1、GB/T 20234.2、GB/T 20234.3 以及各地充电桩地方标准、规范中的相关规定。

7 平台、网关及通信

7.1 平台软件设计

为实现城市照明智慧灯杆的集中监控和统一管理，宜采用基于 Jave EE 体系的多层架构和物联网、SOA/WebService、GIS、大数据分析等技术，构建一个先进、成熟、可扩展性强的集基础架构、数据融合、应用集成和服务个性化于一体的统一平台，实现挂载设备的远程控制、故障报警、运行监测和数据分析等功能，为智慧城市/智慧园区的运行管理提供决策依据。

智慧灯杆上挂载的 5G 基站、交通信号灯、环境/气象传感器、充电桩或涉密的视频摄像机可分别由使用单位的专用平台直接进行监控和管理。

通过智慧灯杆的挂载设备（如 LED 显示屏、网络音柱）发布相关信息给社会公众，拟发布的信息须经过相应主管部门审核、审批后才能对外发布，以确保信息安全、合规。

平台应支持 Linux、Windows 等操作系统下部署，并且支持 SQL Server、MySQL、Oracle 等主流的数据库系统。

平台应遵循软件开发、维护及信息安全相关标准规范的要求。

平台应提供应用或数据接口给上级或同级政府主管部门和使用单位。

平台建设时应考虑与现有相关城市照明智能化系统（如集中控制系统、单灯控制系统）的对接，最大程度地保护已建资源；同时应考虑今后的平滑升级与无缝扩展。

平台软件应支持运维单位的私有安装部署和云端安装部署，宜提供相应的手机 APP。平台软件宜满足以下要求:

a） 采用统一的账号和权限管理机制；

b） 支持弹性扩展；

c） 支持新增特性的快速上线、发布；

d） 支持在线升级、回退和扩容。

7.2 网关

智慧灯杆网关（简称网关）是智慧灯杆的核心数据交换设备，集路由、交换及协议栈等功能于一体，上行与平台进行网络通信，下行与挂载设备进行网络或串行通信，应支持 TCP/UDP、HTTP、Modbus、OPC、MQTT等网络和串行通信协议，应具备透明传输和协议

转换的功能。

网关应同时具备以太网WAN口和4G/5G无线模块，以便通过有线或无线方式接入平台；应同时具备多路以太网LAN口和多路RS-485/232、USB串口，方便与各种挂载设备进行对接；应具备开关量I/O接口，可对选定的挂载设备或设备舱的装置（如遥控电子锁）进行开关控制，并可反馈设备状态或告警。

网关应支持远程配置、调试、诊断和升级；宜自带时钟芯片，并支持网络校时；宜具备数据存储和边缘计算功能，当上行链路断开后，可按计划或策略自主运行，并缓存连续采集的数据；宜自带WiFi芯片，支持AP、STA和Repeater模式。

网关应采用金属外壳，紧凑型工业级设计，易于安装、部署。

网关还应符合以下要求：

a） 工作温度：-30～+70℃；

b） 相对湿度：95%RH 以下（+25℃）；

c） 供电电压：12～24V DC，宜采用多路输出的工业级开关电源统一供电；

d） 应符合 GB 4943.1、GB/T 5080.7、GB/T17626 系列中的相关规定，试验过程中产品不应出现损坏或复位现象，试验后产品功能应正常。

7.3 网关与平台的通信

网关与平台之间的上行通信是基于 TCP/IP 的广域网或局域网通信，其物理层可以采用有线的光纤传输，也可以采用 4G/5G 无线传输。

7.3.1 光纤传输

采用光纤传输时，应符合以下要求：

a） 根据各地实际需求，应考虑为专用或涉密链路的设备（如 5G 基站、安防监控摄像机等）预留足够的光纤芯数，考虑备份光纤；并在设备舱中预留光缆的成端空间；

b） 为提高系统可靠性，宜采用光纤环网组网；

c） 可在通信机柜（房）增加光纤汇聚设备以节省主干光纤；

d） 光纤部署困难时，应考虑无线传输技术；

e） 应采用工业级的光纤收发器。

7.3.2 无线传输

采用无线传输时，应符合以下要求：

a） 应选择在当地 4G/5G 信号充分覆盖的运营商；

b） 为确保数据安全、可靠，宜向运营商申请开通 VPN 专网服务。

7.4 网关与挂载设备的通信

网关与挂载设备之间的下行通信应采用基于 TCP/IP 的局域网通信或基于 RS-485/232、USB 的串口通信，其物理层分别为 5 类/超 5 类网线或双绞线。

智慧灯杆上挂载的 5G 基站、充电桩、交通信号灯、涉密的视频摄像机可不经由网关，分别采用专用的传输线路自组网。

7.4.1 局域网通信

网关宜采用 5 类/超 5 类网线与以下挂载设备进行网络通信:

a） 视频摄像机；

b） 流量检测器；

c） LED 显示屏；

d） 网络音柱；

e） 一键呼叫设备；

f） 信息触摸屏；

g） 充电桩等。

7.4.2 串口通信

网关宜采用双绞线与以下挂载设备进行 RS-485 串口通信：

a） 智能灯具上外插或内置的单灯控制器；

b） 环境、气象等各类传感器；

c） 管理周边普通灯杆单灯控制器的单灯集中器；

d） 设备舱抽湿机等。

7.5 普通灯杆的单灯控制和通信

普通灯杆的单灯控制和管理，可通过智慧灯杆网关中转的方式与平台建立连接；也可采用 NB-IoT/GPRS/CDMA/4G/5G 等公网通信方式与平台直通。

宜在智慧灯杆设备舱的内、外加挂单灯集中器，由单灯集中器对周边装有单灯控制器的普通灯杆进行单灯控制和管理，单灯集中器与单灯控制器之间的通信方式宜采用 PLC 电力线载波、RS-485 等有线通信方式或 ZigBee、LoRa 等无线通信方式。

8 布设与供电

8.1 杆体布设

智慧灯杆应按照“一杆多用”原则，符合整体布局、功能齐全、景观协调、点位控制的总体要求，须与挂载设备的使用单位进行充分的沟通，满足计划搭载设备功能的布设需要，并充分考虑满足挂载设备的拓展性，编制详细的布设规划和设计。

立杆布设还应符合如下要求：

a） 智慧灯杆 LED 灯具的配光类型、布置方式与灯具的安装高度应符合 CJJ 45 中的相关规定；

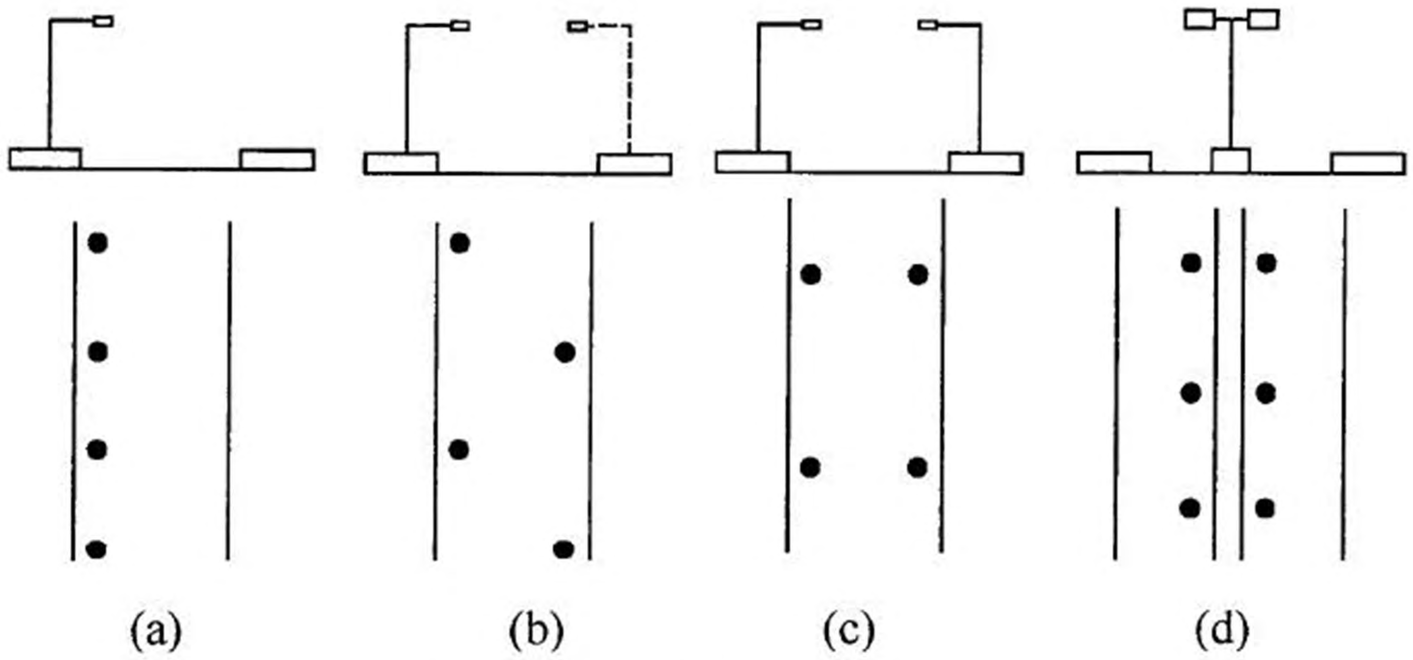
b） 杆体和挂载设备不应侵入道路建筑边界，应满足与公共设施的最小安全距离。

c） 挂载 5G 基站的杆体布设应符合 YD/T 5230 中的相关规定；具备充电功能的立杆布设应符合当地供电部门的电网规划要求。

d） 应根据“先路口区域布设，再路段区域布设”的顺序，合理调整灯杆间距，对智慧灯杆和普通灯杆的布设位置进行统筹协调；

e） 在路口区域，应以交通指示（标志牌、信号灯）、交通监控（流量检测器、电子警察）和安防监控的点位为控制点设置智慧灯杆；

f） 在路段区域，以路灯的点位为控制点设置智慧灯杆，智慧灯杆的布置可分为单侧布置、双侧交错布置、双侧对称布置、中心对称布置四种基本方式，见图 2。



(a) (b) (c) (d)

图 2 智慧灯杆路段设置的基本方式

8.2 配电柜（房）布设

城市照明用配电柜（房）应与智慧灯杆、普通灯杆配套设置，统一规划，应符合各地电力部门的网线规划要求，应布设在靠近用电负荷中心并方便操作维护的位置。照明配电柜（房）还应符合以下要求：

a） 符合 DL/T 375 中的相关规定，防护等级应不低于 IP54；

b） 宜布设在路口区域，或以 500～1000m 为间隔设置；

c） 宜布设在人行道设施带、绿化带和机非隔离带内，不应布设于人行道过街横线、居民小区和商业设施的进出口处；

d） 配电柜（房）的混凝土基础顶面应高出地坪 30cm；

e） 箱体外表面材料宜采用厚度不小于 1.5mm 的不锈钢或镀锌钢板，确保机械强度和热力性能满足功能和技术要求；

f） 防雷接地应符合 GB 50057 中的相关要求；

g） 宜配备智能监控管理系统，实时监测箱体运行状态；

h） 宜安装遥控电子锁。

8.3 供电设计及安全

8.3.1 供电设计

普通路段的智慧灯杆的用电负荷为三级负荷，而路口、重要路段以及人流密集的广场等区域的智慧灯杆的用电负荷可为二级负荷，不同等级负荷的供电要求应符合现行 GB 50052 的规定。智慧灯杆应采用 24 小时常火供电，同一供电回路的普通灯杆应加装单灯控制器，解决灯具白天亮灯的问题。

智能灯具与智慧灯杆上的普通挂载设备（5G 基站和充电桩除外）宜由灯杆底部的设备舱统一供电，设备舱内宜配备多路输出的工业级开关电源为各种直流供电的挂载设备统一供电。条件具备时，或使用单位有特殊要求时，挂载设备（如交通监控、安防监控）也可由照明配电柜（房）采用独立的回路供电，分开计量。

5G 基站由直流不间断电源供电，引自通信机柜（房）；而 5G 微基站可由安装在设备舱内的模块化电源直接供电。交、直流充电桩宜采用独立的交流供电线路，引自充电配电柜（房）。如照明配电柜（房）的容量许可，也可分设回路为交流充电桩供电。5G 基站或充电桩的供电应单独计量。

在城市新建道路和区域规划设计供电网和通信网时，宜考虑将户外的照明配电柜（房）、通信机柜（房）和充电配电柜（房）统一设计、整合集成为综合机柜（房）。

应根据挂载设备的最大功耗核算智慧灯杆的用电负荷，并适当考虑冗余设计，满足今后新增设备的需求。

智慧灯杆的低压配电设计应符合以下要求：

a） 应遵循 GB50054 中的相关规定；

b） 应确保各用电负荷的电源质量，包括电压、电流、频率、谐波等指标。宜使三相负荷平衡，最大相负荷不宜超过三相负荷平均值的 115%，最小相负荷不宜小于三相负荷平均值的 85%；

c） 正常运行情况下，智慧灯杆设备端电压应为额定电压的 90%～105%；

d） 智慧灯杆配电系统应采用地下电缆线路供电，配电系统的接线方式宜采用放射式和树干式相结合的方式，即配电柜（房）至设备舱的配电系统采用树干式接线，设备舱至终端用电设备的配电系统采用放射式接线。

由于智慧灯杆上的智能灯具和许多挂载设备都采用直流供电，在有条件的地方和区域，在符合安全的前提下，可试验直流配电系统。

8.3.2 电气安全

智慧灯杆配电系统应有短路、过负荷和漏电保护，接地形式应采用 TT 系统或 TN-S 系统，应符合 GB 50054 中的相关规定。当采用剩余电流保护装置时，应符合 GB/T 13955 中的相关规定。

照明配电柜（房）的母线排上宜按 GB/T 18802.12 的要求选择和设置浪涌保护装置，出线回路宜安装电缆漏电远程监测装置。

智慧灯杆的防雷与接地应符合 GB 50057、GB 50689、CJJ 45、YD/T 1429 中的相关规定。

杆体、悬臂、设备舱、挂载设备等所有裸露的金属部件与接地端子之间应具有可靠的电气连接，接地电阻应≤4Ω）。

智慧灯杆宜具备灯杆漏电监测功能。

灯杆底部的设备舱容纳控制和信息设备，应进行分舱设计，强、弱电设备和线路应分舱安装，保证设备和检修人员安全。设备舱宜配置远程湿度、水浸监测装置。

灯杆内导管及电线敷设应符合相关规定，强、弱电走线应保证独立，互不干扰，并符合以下要求：

a） 智能灯具应和其他挂载设备分开敷设线路；

b） 强、弱电供电线路应分管、分槽或加隔板敷设；

c） 采用的接地方式能防止外界电磁干扰和设备寄生耦合干扰；

d） 电源线和通信线缆应隔离铺设，避免互相干扰；

e） 对关键设备和磁介质应实施电磁屏蔽。

8.4 管线铺设

智慧灯杆的电力和通信管线宜进行统一规划、统一设计、统一建设和管理，缆线综合管廊应符合 GB 50217、GB 50289 和 GB 50838 中的相关规定。

新建道路的电力和通信管线应入地敷设，现有架空线缆具备入地敷设条件的，应入地敷设；管线不具备入地敷设条件的，应对各线缆种类、管理单位及责任人等信息进行标识。

电力、通信线缆宜采用穿电缆保护管的敷设方式，保护管道连接应牢固，密封良好。

智慧灯杆旁应设置接线手孔井，电缆分支接线可在手孔井或灯杆的设备舱内实施完成。路灯、公安、交警和通信等使用单位宜共用手孔井。

强、弱电管线应分别单独穿管敷设，具体管线的敷设见图 3。

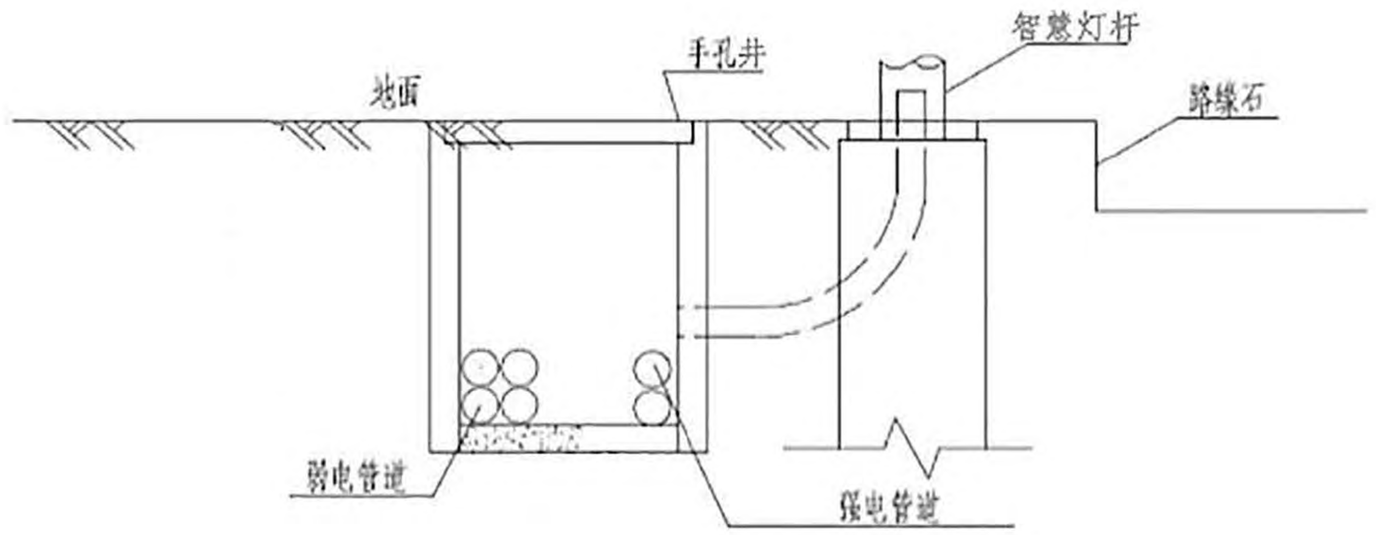


图 3 智慧灯杆管线敷设示意图

绿地、车行道下管线埋深应不小于 0.7m，人行道下管线埋深应不小于 0.5m，在不能满足上述要求的地段应按设计要求敷设。智慧灯杆地埋的预留管道宜不小于 6 根，强、弱电管线净间距应不小于 0.5m，宜采用不同色彩管道区分不同权属单位，手井与杆体底座之间连通的弯管宜不小于 4 根。

8.4.1 电力管线

智慧灯杆电力系统传输线路的敷设除应符合相关标准及规范外，还应符合以下要求:

a） 配电系统宜采用地下电缆线路供电，中性线的截面不应小于相线的导线截面，且应满足不平衡电流及谐波电流的要求；

b） 电缆之间、电缆与管道、道路、建筑物之间平行和交叉时的最小净间距应满足相应规范要求；

c） 应充分结合各使用方的要求，预留 5G 基站、充电桩专用电缆管道。

8.4.2 通信管线

智慧灯杆通信系统的管线敷设应符合以下要求：

a） 应充分结合各使用方的要求，宜预留 5G 基站配套的光纤传输管道，宜预留公安、交通等专用光纤传输管道；

b） 应根据智慧灯杆的功能集成需求、光缆的组网方案、通信机柜（房）的分布位置等确定管道的走向、数量和孔径，并考虑适当的预留。

9 施工与验收

9.1 项目施工

9.1.1 总体要求

智慧灯杆的施工应满足第 8 章“布设与供电”的要求，符合 CJJ 89、GB 50168、GB 50169、GB 50254、GB 50348、GB 14886、GB/T 50374、YD/T 5230 和 YD 5201 中的相关规定，同时符合以下要求：

a） 施工单位应建立质量管理体系和安全生产责任制，并与其他施工单位组织协调，确保施工安全；

b） 施工及调试人员应了解智慧灯杆工程项目对设备、功能和进度的要求，熟知产品的技术性能和安装调试方案，掌握电气安全操作流程；

c） 设备的安装调试应按国家现行有关标准和制造厂家的使用说明书执行，安装的全部设备和系统的功能和性能应符合设计要求；

d） 施工单位应按审查合格的设计文件和施工图施工，当需变更设计时，应按相应程序报审，并应经相关单位签证认定后实施；

e） 施工单位应进行施工现场检查，施工场地、安装环境、安全用电、施工机械等方面均满足要求时，方可进场施工；

f） 所有的材料齐备，开工报告获得批准，施工单位进场施工；

g） 施工单位应对杆件、设备舱、挂载设备和安装材料进行到货检验；

h） 施工过程中，施工单位应做好施工（包括隐蔽工程）、检验、调试、试运行、变更设计等相关记录；

i） 在有防爆要求的场所，应按防爆规范施工；

j） 施工人员进入工地须戴安全帽，2m 及以上的高空作业须系安全带，登塔时应穿防滑胶底鞋，不得与地面人员抛送施工工具和材料；

k） 施工过程中和工程移交前，应做好设备、材料及装置的有效防护；

l） 变更设备、材料清单及安装位置，须征得设计和建设单位的同意，并办理设计变更手续；

m） 智慧灯杆的建设应由具备相应资质的监理单位全程参与项目施工与验收的各个环节。

9.1.2 到货检验

智慧灯杆施工的所有入场材料应提供装箱单、合格证书、出厂检测报告和使用说明书，施工单位还应对以下主要项目进行到货检验：

a） 对产品外观进行目视检验，表面无划伤、变形、凹坑、脱锌，脱漆等缺陷；

b） 产品的名称、规格型号、出厂日期、制造商名称等标注明确；

c） 应按设计图纸和技术要求对智慧灯杆的杆件和设备舱进行各项尺寸的检验；

d） 应对杆件和设备舱的焊缝质量、热浸镀锌镀层质量以及涂层厚度进行检验；

e） 挂载设备的检验应采用专业的检测仪表或设备，检测结果应符合相关的国家、行业及企业标准。

9.1.3 挂载设备的安装

各挂载设备的安装应符合相关的国家、行业规范，还应符合以下要求：

a） 挂载设备的总重量应小于杆体的荷载，保证杆体足够的强度、刚度和稳定性；

b） 挂载设备的总功耗应小于电源的负荷容量，符合安全用电要求；

c） 各挂载设备的安装位置应保证设备的覆盖能力、数据采集和数据传输等要求，视频摄像机、LED 显示屏应避免被树木、桥墩和柱子等物体遮挡；

d） 各挂载设备及安装固定件应具有防止脱落或倾倒的安全防护措施，对人员可触及的照明和其他设备，当表面温度高于 70℃时，应采取隔离保护措施；

e） 进行挂载设备安装时，应办理停电手续，应手动将电源停电并断开跌落保险或断路开关；

f） 应对已停电的电源进行验电，并应在确认无电压后进行工作；

g） 应有专人进行安全监护，应执行正确的接线顺序，戴手套，使用绝缘工具并应站在绝缘台上；

h） 穿线缆时以“送”为主，拉、送结合，避免强拉线缆造成线缆或绝缘层受损；线缆接头连接应牢固，绝缘、防水包扎应可靠；

i） 安装结束，恢复供电前，应检查设备，且设备内不应残留导线（头）、螺钉、工具等物件。

j） 安装完成后杆体及设备应稳固无异常，应进行整体测量校正，所有数值均须满足验收标准；

k） 为保证所添加的设备已经正确安装，应在管理平台中查看运行状态，以确保设备的

正常运行。

9.2 项目验收

9.2.1 总体要求

智慧灯杆的项目验收应按照项目设计要求和合同要求对项目建设期所涉及的软、硬件以及过程文档进行严格的验收及审查，应符合 CJJ 89、GB 50168、GB 50169、GB 50254、GB 50348、GB 50252、GB 51120、GB/T 50374、GB 51171、GB 50204 和 YD/T 5230 中的相关规定，验收应符合以下要求及流程：

a） 检查现场灯杆、照明配电箱（房）和挂载设备的数量、型号、生产厂家、安装位置，应与工程合同、设计文件、设备清单相符合，安装质量应符合相关标准的规定；

b） 检查系统监控中心的计算机、服务器和网络通信设备的数量、型号、规格、生产厂家应与工程合同、设计文件、设备清单相符合，安装质量应符合相关标准的规定；

c） 检查系统所用线缆、光缆数量、型号、规格、生产厂家，应与工程合同、设计文件、材料清单相符合，敷设质量符合相关标准的规定；

d） 检查地基基础、杆体工程、管线敷设的施工记录、监理报告以及隐蔽工程的随工验收单，结果应符合设计文件及工程合同的规定，并符合相关标准的规定；

e） 系统电源的供电方式、供电质量以及防雷接地等应符合相关标准规范和设计要求；

f） 双路交流供电系统或配置 UPS 的供电系统，主备电源应能自动切换；

g） 系统采用的通信方式、通信质量应符合相关标准规范和设计要求；

h） 现场设备和材料的使用环境应保持干燥、少尘和通风，不应出现渗水、滴漏和结露等现象；

i） 宜对现场的主要设备进行抽样测试，其性能指标应符合设计要求和相关标准的规定；

j） 不符合要求的设备和材料应由建设单位、供货单位和施工单位共同鉴定，并做好记录，由相关责任单位及时解决；

k） 系统平台软件各功能模块的完整性、可靠性、安全性及网络连通性等各项运行性能指标应符合设计要求以及 GB/T 25000.1 中的相关规定；

l） 应通过平台软件或手机 APP，对每个灯杆的挂载设备进行联动调试，其功能应符合设计要求；

m） 智慧灯杆项目应先进行分项工程（子系统）的验收，后进行系统工程的验收。验收的主要流程为：自检→试运行→检测（竣工预验收）→申请验收→竣工验收。

n） 验收过程中，可由具备相应资质的第三方机构提供测评服务，进行产品或系统的测试或现场抽检。

9.2.2 验收资料

智慧灯杆的项目验收应提交的资料包括但不限于以下资料：

a） 立项报告；

b） 设计文件、施工图及设计变更文件；

c） 竣工报告及竣工图；

d） 监理报告；

e） 所用的设备清单、说明书、合格证和检测报告等文件；

f） 杆件、设备、管线的施工记录；

g） 完工调试单和调试报告；

h） 试运行记录及运行报告；

i） 平台开放数据库访问接口和说明；

j） 系统平台地址映射表；

k） 系统平台用户操作手册；

l） 客户要求提交的其它资料。

10 运行与维护

10.1 一般规定

智慧灯杆项目完工验收后，应明确运行与维护的主体单位，建立长效运维机制，并列入城市建设维护范畴。

城市照明管理部门负责杆件、智能灯具、配电柜（房）、管线、网关和平台等公共设施的运行和维护；而挂载设备的使用单位宜负责各自挂载设备的运行和维护。相关的责任部门和单位应当按照职责分工，建立健全规章制度，加强智慧灯杆的设施监管、故障处理、监督检查和应急响应，应提供7×24h报修电话，保证智慧灯杆设施完好和正常运行，预防和减少突发事件造成的损害。

智慧灯杆的运行和维护单位应配备专业的运行和维护人员、车辆、专业仪表和工具。

新增、迁移和改动智慧灯杆及其相关设备，须向运维主体单位报备，不得挂载或接入未经批准的设备。

应至少每季度由智慧灯杆运维的主体单位牵头对智慧灯杆系统进行一次全面的功能性检查，并及时编写、提交系统运维报告。在高温、严寒、大风等极端天气发生的前后，或重大节假日、重大活动前，应加强对智慧灯杆的检查、维护工作。

应做好备品、备件的使用登记，确保备品、备件使用的技术参数符合系统设计要求。

智慧灯杆发生故障、报修或报警的，按以下要求进行处置：

a） 运维主体单位发现故障或接到报修，运维人员应及时响应；

b） 如判断是挂载设备使用单位责任的，应立即通知使用单位的运维负责人；

c） 故障处理时间应符合各地的管理和考核要求；

d） 如遇维护人员无法处理的特殊状况或产生较大影响时，应及时联系承建方或各设备的供应商，以获取技术支持；

e） 如发生漏电、失火、倾倒等紧急情况，须立即响应。应立即切断供电电源，并向上级领导报告，必要时向110、119报警、求助，并立即派人迅速赶往事故发生地，对现场进行围挡、处置；

f） 故障或报修处理完成，应及时填写故障维修记录，并提交存档。

10.2 杆件与设备

智慧灯杆杆件与设备的维护既可由城市照明管理部门、挂载设备使用单位自己维护，也

可进行市场化的外包，承担维护工作的单位应具有国家规定的相关资质，从事维护的人员应具备专业技术技能，维护单位应为维护工作配备能满足维护需求的人员、车辆、专业仪表和工具。

杆件与挂载设备的维护应采用现场巡查与远程监测相结合的方式，采用日常维护与定期维护相结合的模式，应至少每年进行一次定期维护。杆件与设备维护的工作内容参见表 2。

应在国家规定或制造厂商规定的检定周期对设备进行检定，并应按照设计寿命年限进行更换。

在对设备进行维护拆装或更换时，应尽可能避免影响其他设备运行。

表2　杆件与设备维护工作内容

序号	维护项目	维护工作内容
1	杆体及设备舱	检查杆体（悬臂）、设备舱的外型、结构、垂直度、喷漆喷塑层、检修门、散热孔、接地电阻等
2	智能灯具	检查灯具的供电、防护、固定以及单灯控制器的网络连接情况；测试灯具的照度、色温、节电率以及单灯控制器的通信成功率
3	网关	检查网关的供电、网络连接、防护和固定情况；测试网关与平台、各挂载设备的通信是否正常
4	5G 基站	检查 5G 基站的供电、网络连接、防护和固定情况；测试无线信号覆盖
5	视频摄像机	检查摄像机的供电、网络连接、防护和固定情况；检查视频图像的清晰度；验证云台控制的有效性；清洁摄像机的镜头
6	LED 显示屏	检查显示屏的供电、网络连接、防护和固定情况；查看屏体是否有黑屏、花屏、色差或灯珠问题；检查文字、图片、视频远程发布情况
7	一键呼叫设备	检查一键呼叫终端的供电、网络连接、防护和固定情况；测试主控台对求助按钮的响应以及语音对话的质量
8	网络音柱	检查网络音柱的供电、网络连接、防护和固定情况；测试远程播放音频的质量
9	信息触摸屏	检查信息触摸屏的供电、网络连接、防护和固定情况；检查屏幕显示的清晰度和触控的灵敏度；验证触摸屏的页面可否进行远程更新；清洁触摸屏（定期）
10	无线 WiFi	检查独立的无线 WiFi 设备的供电、网络连接、防护和固定情况；测试用

		户接入以及数据上行/下行速率
11	环境/气象传感器	检查环境/气象传感器的防护、固定以及 RS-485 的供电和通信情况；验证后台采集到的环境/气象数据的准确性；校验传感器（定期）
12	充电桩	检查充电桩的供电、网络连接、防护和固定情况；检查充电枪的插头和连线是否有变形和破损；验证输出电源的紧急断电动作；验证后台计费的准确性
13	交通监控设备	检查设备的供电、网络连接、防护和固定情况；验证后台数据的准确性
14	交通指示设备	检查设备的供电、网络连接、防护和固定情况；清理指示面（定期）
15	综合管线	检修工程中使用的各种敷设管路、线槽、桥架以及手井孔

10.3 平台与通信

智慧灯杆的总控平台宜部署在城市照明监控中心、智慧城市监控中心或独立的监控中心，并建立24小时专人值班制度，值班人员应经过系统培训并考试合格，方可上岗。

各专用挂载设备的使用单位可设立分控平台，按使用权限和实际需要做好相应的运维。

监控中心的值班人员应每日检查工控机、服务器及网络通信设备的工作状态，监测软件和网络运行速度和性能，打印或编写系统操作日志、巡检表报和故障报表，对系统发现的故障信息和市民的报修，应及时通知维护人员进行处置。

通信网络和平台架构不得随意更改，以保证平台的稳定运行；平台的升级、改造须向相关部门进行报备，并对原平台的数据进行备份。

应在网络边界部署访问控制设备，启用访问控制功能，应对挂载设备实行身份认证和绑定，确保操作安全。

对管理平台运行中发生的系统故障和错误须及时排除，并对管理平台的硬件进行必要的维修，对管理平台的软件进行必要的纠错与改进。

应至少每月进行一次安全检查，查补安全漏洞，宜采用漏洞扫描软件对系统内的计算机和所有网络设备进行扫描，及时弥补各类安全漏洞。

平台用户应每季度更换一次登录密码，定期核准用户权限。

10.4 系统安全

应对智慧灯杆的建设、安装和运维人员进行安全培训，制定安全操作流程和操作规范。

应定期对智慧灯杆进行安全巡检、安全风险评估，对巡检、评估产生的风险应采取措施管控，并定期向安全生产管理部门通报。

应建立应急响应机制，制定应急预案，定期演练、重新评估和完善应急响应机制。

针对人为操作造成的风险进行管理和规范，包括：访问控制、权限控制和管理、身份验证、数据加密存储、日志记载等。应与相关人员签订保密协议，未经授权，不得私自接入和非法采集，不得下载、拷贝、共享、转移系统的数据、图片和音视频资料。

应指定相关主管部门对系统设备运行产生的数据进行统一保存、管理。

智慧灯杆的网关、智能灯具以及LED显示屏、网络音柱等挂载设备，应能够保证在断网离线的状态下按设定的计划和模式正常工作。

信息传播应建立审核发布机制，发布的内容应经过相关主管部门的审批。

江苏省城市照明智慧灯杆建设指南

参编单位：南京理控物联技术有限公司
苏州市城市照明管理处
龙腾照明集团有限公司
中通服咨询设计研究院有限公司
中国电信股份有限公司江苏分公司
中兴通讯股份有限公司
星慧照明工程集团有限公司
苏交科集团股份有限公司
南通中铁华宇电气有限公司
江苏尚今光电科技有限公司
江苏现代照明集团有限公司
江苏国禹建设股份有限公司
高邮市明源照明科技有限公司
重庆金卡联智数字技术有限公司
江苏省照明学会
江苏省建设信息中心
无锡照明管理处
江苏承煦电气集团有限公司
中国移动通信集团江苏有限公司
中国铁塔股份有限公司江苏省分公司
南京朗辉光电科技有限公司
宝典电气集团有限公司
中设设计集团股份有限公司
格利尔数码科技股份有限公司
江苏南大先腾信息产业股份有限公司
苏发照明工程集团有限公司
宝德照明集团有限公司
慧光智城（深圳）智慧科技有限公司
深圳辉达智慧显示有限公司
高邮市灯具协会

主要起草人：陈浩东、蔡雨亭、张海达、王海波、黎晓明、孙王奇、蔡卫东、任刚、陈双、陈大庆、林海阔、龙慧斌、郝辉定、葛卫春、宋鑫、李剑、杨香军、刘孟堂、李瑶、王宇、尤泽勇、张爱东、蔡明、步祥、徐晓勇、王辉、徐龙桃、陶化东、郑旭东、刘志、陈鹏、何小峰、李超峰、牛昌明、孟波波、高锡明、吴振锋、祝兵、郭金山、周倜、王明江、戴航、廖伟、吕家东、肖勇强

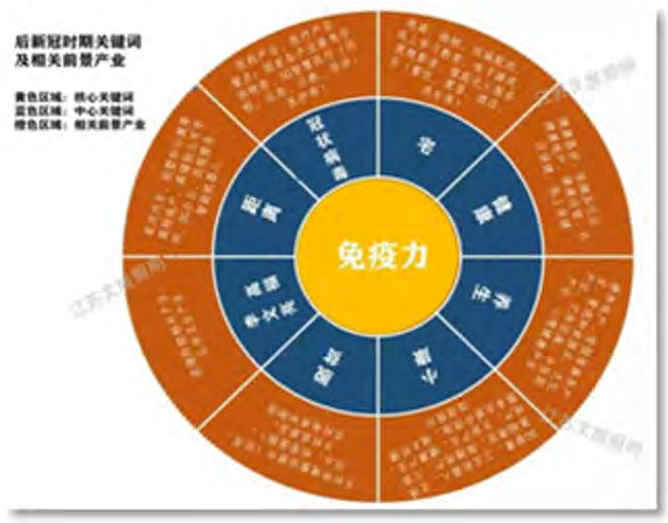
从后新冠时期关键词瞻望最具潜力的相关产业
（兼谈文旅照明行业前景）

钱宗明
江苏省照明学会文旅照明专委会秘书长

除湖北省以外，新冠病毒疫情的防控已成效显著，医治手段和疫苗研发也已见曙光，全国人民都在急盼着决战致胜的历史时刻。

新冠病毒疫情是我国改革开放四十年来遭遇的最为严重的一次社会危机，对于我国社会政治、经济、文化和人民生活的影响是巨大的。目前，危机已从萌发、产生、发展逐步进入至消退阶段。疫情的消退期也是整个社会政治、经济、文化、生活的恢复、重整期，更是如何保障和促进国家民族再发展的理论思考、纲常再建期。这种既承受着前期疫情危机的影响又具前瞻性的历史时期即是后新冠时期。在后新冠时期，为了快速恢复几已停滞的社会经济生活，政府层面无疑会在财政、金融、投资、信贷、税收等方面出台众多的宏观刺激政策，加上中国经济固有的韧性力以及庞大的内需力的拉动，相信假以时日，经济的恢复甚至增长并非十分困难。对于企业来讲，最为重要的则是如何在经济恢复的窗口期寻找亮点，在国家宏观政策推动过程中发现机遇，实现危机后的快速恢复，甚至突破。在此，我们通过梳理研究，结合疫情期间凸

现的社会现象、大众心理的变化及其对价值观和生活观的影响，以及国家政治、经济、社会生活上的变化、趋势和创新举动，提炼出了后新冠时期的九大关键词，进而由此入手，相应提出了后新冠时期具有一定前景的产业和行业领域。（详见示图）



关键词一：免疫力。这是后新冠时期的核心关键词。众多的潜力行业都与其密切相关。

关键词二：冠状病毒。这可能是要隐藏在几代国人心中的具有痛苦记忆的词语，由此也会催生众多的生物、医药、医疗等产业。

关键词三：宅。有史以来，我们可能从未如此地全国十几亿人整齐划一的居家“宅”过，这一现象对我们民族心理的影响，对人们生活观、人生观的冲击力是十分巨大的，其带来的后续效应可能会超过疫情本身。同样，它会在很大程度上进一步推进业已壮大的线上产业和电商物流等相关行业。

关键词四：距离。人与人之间的近距离接触将成为后新冠时期具有一定警惕性的心理特征，由此而衍生的“独”意识将会外化至消费和投资层面。传统的家用汽车产业，尤其是新能源汽车将会有新一轮的增长；房地产类在别墅、高档公寓、写字间等领域将会是新趋势。其它诸如5G办公、智能机器、远程服务等将会有巨大的增长潜力。

关键词五：健康。社会和民众将会以前所未有的力量关注健康，相关产业的蓬勃发展计日可期。

关键词六：养生。与健康密切关联的养生产业将快速提升。值得关注的是康养地产、景观和旅游行业、文化产业、文体设施等的市场需求可能会高速反弹，出现井喷式的发展，同时它们也将成为政府和社会投资的重点领域。

关键词七：小康。2020年是我国全面实现小康的关键年，国家千年大计不会有改变，小康必然会成为全国上下频率很高的关键词。为此，各项促进国民经济发展的重大举措将会连陆续出台。2003年非典疫情结束后，国家很快将房地产列为支柱产业，互联网经济和电商产业也在此阶段得到快速成长，有效拉动了国民经济的发展。后新冠时期，很有可能被列为支柱产业的将是5G智慧、智能制造等。其它诸如文体产业、旅游业、乡村基本建设等在市场增量快速成长的同时，也有可能成为重点投资的方向。

关键词八：脱贫。这是我国全面实现小康的关键之作，必然也是后新冠时期的关键词，由此产生乡村建设中一部分产业机会。

关键词九：李文亮、高福。这是目前以至今后一段时期脱不开的两个姓名。是非曲直待日后定论，但留给人们的记忆、思考以至上升到国家治理层面的研究、修正和完善将是必然的。

后新冠时期文旅照明的前景与方向

广义的文旅照明包括城市级别的景观明和文体、商业、旅游景区等级别的景观照明。从后新冠时期的关键词及其所蕴含的消费方向、市场需求以及国家产业发展方向看，文旅照明具有充分的发展前景，具体表现在以下几个方面：

首先，文化旅游是人们健康、休闲、养生的主体内容，消费需求旺盛，市场容量大。疫情过后，人们的旅游欲望及其消费需求可能有一个较大的反弹，会在很大程度上进一步促进文旅行业的发展壮大。

其次，近年来，文化旅游业受到国家的高度重视,疫情过后，极有可能上升为国家的支柱产业，在满足人们的消费需求的同时，推动和促进国民经济的快速恢复和发展。

再次，文化旅游消费在小康社会标准中占有较高的比重，要实现小康，提高人们的对于幸福生活的满足感，客观要求高度重视对于文化旅游项目的投资建设。

第四，文旅中的夜游是旅游消费的重要组成部分，夜游经济是国家经济发展的重要战略措施，后新冠军时期，这一战略只会得到加强。发展夜游，照明先行。照明灯光、艺术夜景对于夜游消费的拉动和夜经济的全面发展具有举足轻重的作用。

最后，文旅照明，小产业需要大思维。瞄准前沿，立足高端，文创牵引，技术融通、艺术整塑是后新冠时期业内企业发展的基本要件。为此，企业目前要做的是理清思路，打造核心竞争力。后新冠时期，经济振兴离不开文旅；增强免疫力，休闲养生，提高全民族的健康水平，需要文旅。文旅照明行业前景广阔。

UVC紫外杀毒，剂量与计量是关键

“新冠”疫情爆发，UVC紫外杀菌消毒灯处处卖断货，除专业医院使用，也大量被企业和家庭所抢购，用于口罩、饮水机、空调和日用品等的杀毒。UVC紫外能有效杀灭“新冠”已毋庸置疑，但是，人们仍急需科普UVC紫外杀毒知识，剂量与计量是关键。

紫外线消毒灯&紫外线医用杀菌袋

空气类杀菌&食品以及物体表面杀菌类

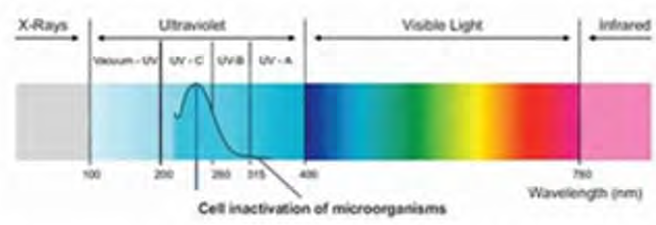
01 紫外线中只有UVC才能杀菌消毒

常常听到“多晒晒太阳吧，杀菌消毒！”这句话是真的吗？真的。但阳光中真正起杀菌消毒作用的并不是传说中的紫外线，而是具有加热作用的红外线，换言之，是阳光带来的升温杀死了病毒和细菌，这不难理解，13年前肆虐的非典到了夏天突然消失了，因为非典病毒对温度敏感！

所以现在这个季节就不要指望着晒太阳杀病毒了！

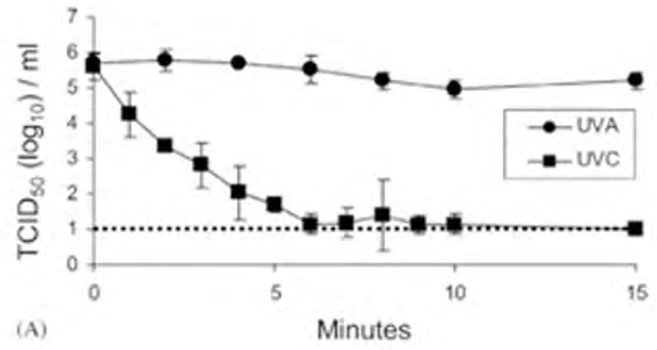
那么紫外线有消毒杀菌功能吗？有的，但只有UVC有此项技能。如图所示，紫外线按照波长可以分为UVA、UVB和UVC。其中UVA的穿透能力较强，地面上接受到的紫外线大部分为UVA，少部分为穿透能力较弱的UVB，而阳光中的UVC成分在大气臭氧层中被吸收，无法到达地面，因此习惯将200~280nm这段太阳光辐射到达不了地球的中紫外光谱区称作“日盲区”

（图片来自于M.E.R. Darnell et al./ Journal of Virological Methods 121 (2004) 85－91）

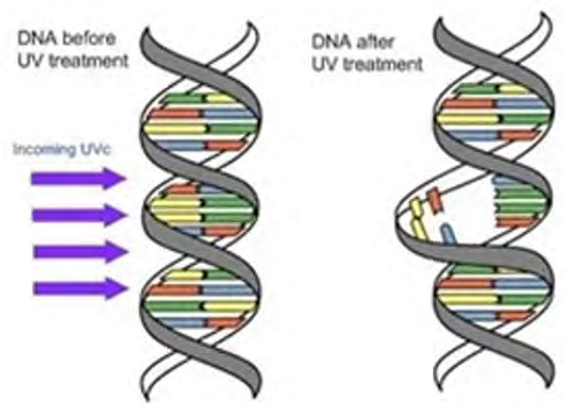


UVA和UVC照射非典病毒存活量与照射时间关系，UVA对非典冠状病毒几乎没有灭活作用，而在特征波长254nm、辐射强度4016μW/cm²的深紫外光源照射下，病毒的杀灭率LOG值与剂量（时间）呈线性关系的规律。

UVC对细菌、病毒等微生物的照射，会破坏微生物机体细胞中的DNA(脱氧核糖核酸)或RNA(核糖核酸)的分子结构，引起DNA链断裂、



核酸和蛋白的交联破裂，造成生长性细胞死亡和再生性细胞死亡，达到杀菌消毒的效果。



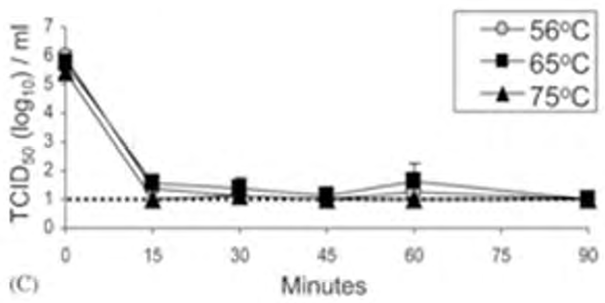
UVC属于广谱杀菌类，能杀死一切微生物，包括细菌、结核病、病毒、芽孢和真菌，但不同的消杀对象需要的剂量并不相同。

02 离开剂量谈效果都是耍流氓

紫外线杀菌消毒并不是新技术，早已被应用于室内空气、物体表面和水体及其它液体的

消毒杀菌中。紫外消杀的效果与消杀对象（细菌或病毒类型）、消杀环境（水体或空气、温湿度、流量和体积等）以及辐射照度（医学领域也称为“辐射强度”）、辐射剂量等有关。

目前还没有应多大剂量的UVC辐射剂量才能有效杀灭新冠病毒，但2003年董小平教授团队的研究指出，在距离杀菌灯80cm处、辐射强度大于90μW/cm²，可在60分钟有效杀灭病毒；在2004年的另一份研究中，将UVC光源贴近培养液以获得4016μW/cm2的辐射强度，则可更高效地在几分钟内杀灭病毒！

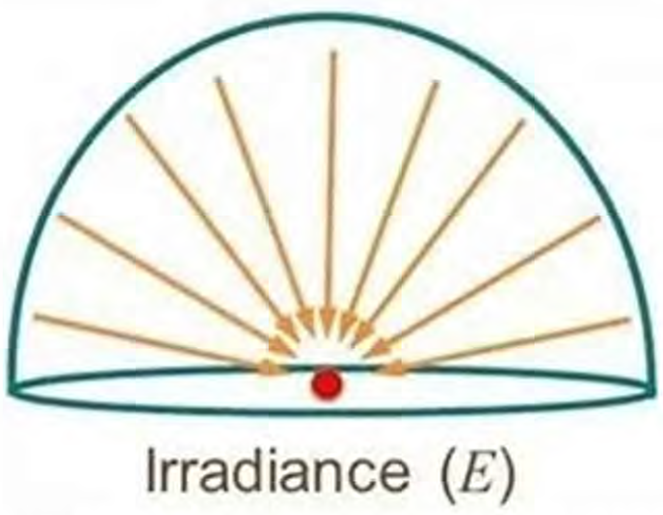


对比加热消毒，在75摄氏度下需要45分钟杀灭SARS病毒，而在56和65度下，则需要90分钟。

03 两个重要的物理量

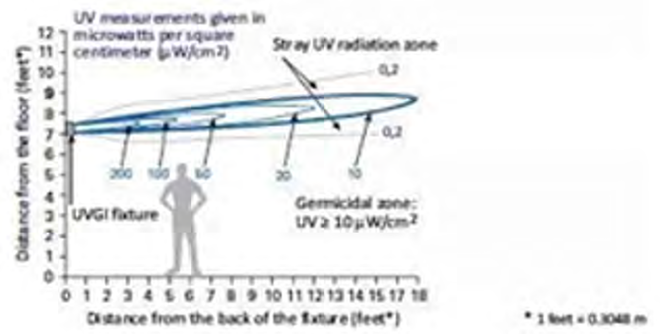
在刚刚谈到辐射剂量时出现了两个物理量：辐射强度和辐射剂量。

辐射强度是医学界的叫法，在计量领域，它被称为辐射照度，是指受照面单位面积上的辐射通量，单位：瓦每平方米（W/m²），通常写为μW/cm²。



紫外辐射剂量是指单位面积上接收到的紫外线能量，是紫外辐射照度与时间的积分值，单位为焦耳每平方米（J/m²），通常写为mJ/m²。

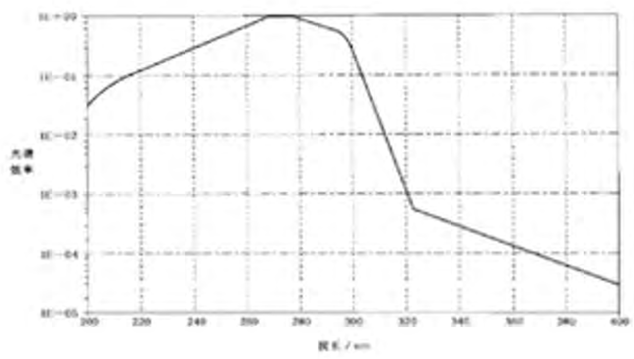
相对于某一紫外辐射源，紫外辐射强度并不是一成不变的，通常会随着距离逐渐减弱，如下图所示。



在计量紫外消杀的辐射照度或者辐射剂量时，必须要明确测量仪表与紫外辐射源的位置，并记录辐射照度与时间的变化关系（如辐射源不稳定的话）。

04 切忌紫外线不能对着皮肤直接消毒

千万不要以为紫外线有杀菌消毒的功能就直接对着自己消毒，要知道紫外辐射也会对人眼或者皮肤造成不可逆的损伤，下图为紫外损伤的光谱敏感曲线。



根据IEC62471标准，254nm的UVC辐射要在0.2μW/cm²以下，才能保证长期曝辐安全，短期接触UVC辐射的辐照度也不能超过1.7μW/cm²。

在IEC　60335家用和类似用途电器的安全系列标准中，要求带紫外杀菌系统的设备，标志及警示用语必须明确，且在说明部分给出相应的内容，从而避免出现危险。

05 如何准确“计量”辐射“剂量”

科学准确地计量紫外消杀的辐射剂量，对于杀灭病毒、保障自身安全十分重要，紫外辐射计量主要应用于以下几个场景之中：

●紫外消杀产品的研发设计和验证；

●紫外消杀产品的质检与产品认证；

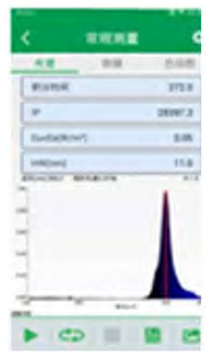
●紫外消杀应用现场的初装验收以及长期监

不要小看了紫外辐射剂量的测量，以为只是简单地拿紫外辐照度计比划两下就可以，相

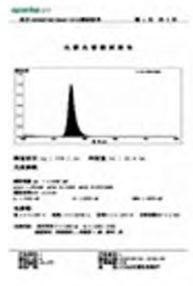
对是个技术活！

用什么样的设备？在怎样的条件下测试？测量距离选择多少？都是有考究的！小编现在就带大家见识几款紫外辐射剂量的设备，从小到大依次报数吧：

△U-20手持式紫外照度计，紫外计量中的老兵，采用绝对日盲型探测器，长期稳定性好。



△USR-200 紫外光谱辐射照度计，紫外消杀计量的新武器，功能强大，特别适用于紫外LED系统的测量。



△PMS-2000双单色仪光谱仪，紫外光泄露测量的“定海神针”！

古建照明优秀项目暨品正文创产品鉴赏智库峰会在宁召开

发展夜游，照明先行。照明行业已进入产品快速叠代、技术多元融通、技术与艺术等多学科整合应用的时代。文旅照明在夜经济建设中的作用举足轻重，夜娱、夜购、夜食、夜宿等夜经济业态离不开高质量照明灯光和艺术夜景。为加快文旅照明领域高端人才的培养，打造规划创意设计高端队伍，加快各类学科的综合提升和集成运用，鼓励和推广文旅照明创新产品，2020年1月3日由江苏省照明学会、江苏省旅游学会、中国夜游经济研究院指导，江苏省照明学会文旅照明专委会主办的“古建照明优秀

会议现场

江苏省照明学会副理事长兼秘书长
文旅照明专家组组长吕家东

江苏省照明学会文旅照明专委会
秘书长钱宗明

江苏省照明学会文旅照明专委会
常务副会长彭光远

项目暨品正文创产品鉴赏智库峰会”在江苏省建筑园林设计院举行，江苏省文化和旅游厅相关部门领导、中国夜游经济研究院领导专家、江苏省照明学会领导及文旅照明专家组全体专家、江苏省旅游学会领导和旅游规划专家、建筑、园林设计研究院（所）相关领导专家、江苏省照明学会文旅照明专委会全体委员单位负责人、设计总监等50多位省内外文旅照明智库、专家及专业人士参加会议。本次会议为闭门峰会，得到江苏品正光电科技有限公司、江苏省建筑园林设计院的大力支持。

上海艾特照明设计有限公司

张先军

南京朗辉光电科技有限公司设计

陈丽娟

中国市政华北院设计总监

李全胜

江苏省照明学会文旅照明专委会常务副会长

江苏绿色照明有限公司常务副总经理

彭光远

江苏省照明学会文旅照明专委会秘书长

钱宗明

上海工程科技大学多媒体学院教授

俞立昂

深圳世纪光华照明技术有限公司设计总监

张太宝

江苏品正光电科技有限公司总经理

杨谟胜

品正古建照明灯具产品展台

会上，中国夜游经济研究院执行院长柳强、南京博创工业产品设计公司总监陈晓广也分别就夜游经济的发展和夜景照明产品的创新等主题作了发言。

回望2019，文旅照明人有太多的收获、感慨和不舍；展望2020，文旅照明仍将充满机遇和向往。面对新政策和新形势，我们要在希望中迎接挑战，在奋发中努力提升。朝阳产业所培育的必将是充满信心和勇往直前的弄潮人。

江苏省照明学会
喜获“典赞•2019科技江苏年度科学传播活动”称号

1月3日，由江苏省科协、省科技厅支持，省科学传播中心、省高新技术创业服务中心等主办的以“科技创新•活力江苏”为主题的“典赞•2019科技江苏”年度项目评选揭晓典礼在南京举行。评选发布2019年度我省具有影响力的科技和科普事件、人物、活动。中国科学院院士都有为、祝世宁，中国工程院院士贲德、张建云，省科协党组成员、副主席徐春生，省老科技工作者协会常务副会长王鲁宁等出席活动并为获奖者颁发证书。南京市鼓楼区科协、江苏省照明学会等单位联合主办的“青少年亮眼行动”获评年度“十大科学传播活动”。

“青少年亮眼行动”是由南京市鼓楼区科协、区教育局、区卫健委、区爱卫办、南医大附属眼科医院、江苏省照明学会等部门联合主办的青少年近视眼防控科普宣传活动，旨在贯彻落实习近平总书记关于学生近视问题的重要指示精神。活动从2019年6月中旬启动，围绕“我认识我的眼”“我学习光与眼”“我行动亮我眼”三大主题，组织各领域专家深入学校、社区、街道、家庭等地，开展科普讲座、科学实验、展板宣传、互动体验等多种形式的科普宣传，从眼睛结构、成像原理、近视防控、光与近视等多方面，向广大青少年和家长进一步普及科学用眼的重要性，引导全社会关注青少年视力健康。同时，通过对鼓楼所有中小学的卫生健康老师、社区健康服务中心的健康指导医生、13个街道的健康宣传员以及健康家庭等1000多人进行了示范和培训，将护眼意识植入课堂、植入生活，建立青少年近视防控的长效机制，实现全社会联动，达到科普宣传全覆盖的效果。

活动受到了社会的广泛关注，江苏科技报、南京日报、金陵晚报、紫金山新闻、南京电视台等媒体均进行了报道。

“亮眼行动”是个长期工程，未来，还将联合医院开展视觉检测与评估、联合体校设计适合不同年龄的视觉健康运动，对青少年的近视进行早期干预。开展各式各样的创新活动，将视力保护的意识和科学方法，植入全社会人的心中，给孩子们一个明亮世界。

智慧照明专委会“新春送温暖、服务到企业”（南京篇）

2020年1月17日下午的南京，室外寒风凛冽，室内暖意融融。江苏省照明学会智慧照明专委会“新春送温暖、服务到企业”系列活动南京站新春茶话会在江苏省建筑设计研究院15楼报告厅成功举办。

新春茶话会首先由江苏省照明学会秘书长吕家东教授讲话，吕教授对专委会一年来的工作给予肯定，并对新一年的工作提出了要求：1）加强专委会的组织建设，完善工作制度和秘书处人员配备；2）把工作做实，结合专委会的功能定位，实在在为企业服务。学会常务副秘书长肖勇强专委会主任黎晓明分别解读了专委会为大家准备的两份重要文件——《江苏省城市照明发展报告》和《江苏省城市照明智慧灯杆建设指南》。紧接着，茶话会进入讨论环节，大家畅所欲言，气氛热烈温馨。肖勇强副秘书长认为，我们照明企业经营要守住产品质量、设计施工、运营信用的底线；发展要顺应国家、省市的新趋，跨界融合、勇于创新。郑德东委员说到，我们要逼近行业趋势与需求，要参与建设共生型城市，实现高质量发展。钱宗明嘉宾提出，学会内部要加强合作和交

流，智慧照明专委会与文旅照明专委会相互结合，把智慧技术融入文化旅游。彭光远嘉宾指出，照明企业聚焦才能突破。步祥代表提出，不能只以照明人的角度来思考市场了，承煦现在是以传统来养创新。章明喜委员说到，照明人还需要在照明本身下功夫。王友圣委员说到，专委会提供的报告很好，不用到处去找江苏省各市城市照明的数据了。郑志刚副主任提到，软通已成立了一家智慧方面的子公司，跨界做文旅项目。张晖委员提出，他们所在的是工业设计学院信息交互专业，很愿意由专委会牵头与企业合作。候君霞委员马上提出一个南京街边的灯光小品设计要与张晖老师合作。江苏真如电气的代表张瑶佳希望尽快加入智慧照明专委会这个大家庭。姜启朋委员强调了设计的重要性，希望我们江苏的企业向四川华体、慧光智城等先进企业学习。谢长美嘉宾表示，省科协将大力支持学会和专委会开展为企业服务的活动。叶慧代表指出，在专委会的领导下，立维腾要进一步加大与委员单位合作的力度。陈晨代表表示，移动作为运营商有资本、有项目，可以分享给大家一起合作。吴晓军副主任指出，委员企业要做好“聚焦”、“创新”和“定位”的文章。最后黎晓明主任代表专委会对各位委员一年来的辛苦工作表示感谢，也希望大家为即将召开的专委会一届二次会议献言献策。

智慧照明专委会“新春送温暖、服务到企业”（常州篇）

2020年1月20日，已近鼠年年关，公司已放假，但专委会副主任、常州格林照明董事长陈建文依然带领工作人员在厂里热情接待前来参加江苏省照明学会智慧照明专委会“新春送温暖、服务到企业”常州站新春茶话会各位领导、委员和嘉宾。

下午三时，人员到齐后，陈建文董事长首先带领大家参观了格林照明的产品展厅，并在参观过程中向大家介绍了企业的发展和经营理念。陈总说到，格林照明于2002年成立以来，一直追求为用户提供高品质户外照明产品，产品涉及夜景亮化和市政照明。格林照明秉持“质量是生命”的理念，所有户外照明产品均达到IP66的防护等级，承接了大量国外的ODM订单，产品还将智能化。

新春茶话会开始，江苏省照明学会副理事长兼秘书长吕家东教授发表讲话，吕教授对专委会将工作重点转到为企业服务上来而开展的系列活动给予了高度评价，并对专委会2020年的工作提出了要求。学会常务副秘书长肖勇强、专委会主任黎晓明分别解读了专委会为大家准备的两份重要文件——《江苏省城市照明发展报告》和《江苏省城市照明智慧灯杆建设指南》。

在讨论互动阶段，大家争相发言。常州半导体照明研究院副院长熊敬康委员指出，专委会送温暖活动真的让我们感受到冬日里的温暖，国家半导体照明联盟也制定了多项行业标准，希望行业组织要多帮企业对接政府部门，要进一步发挥专家团队的作用。上

海米聚资本总经理梁枫委员说到，十几年前做过照明工程，对行业比较熟悉，愿意为大家提供新三板、科创板以及其它投融资服务。原朴灯具设计总监姜启朋委员指出，目前照明产品

低端的多，高端的少，主要问题在设计，我们照明企业要主动拥抱变化，才能立于不败之地。委员单位——中国之光网编辑顾君和周游也谈了他们的观点，从中国照明电器协会层面掌握到的数据来看，去年智慧灯杆的中小项目不少，我们媒体也有很多资源和渠道，如无锡物联网大会，愿意跟大家分享，希望大家积极参与。软通动力销售经理赵翔秘书介绍了软通动力以及与专委会委员企业盐城鼎盛成功合作的情况。特邀嘉宾、常州市照明电器协

会会长陆旭峰介绍了自己企业和邹区灯博会的情况，强调今年灯博会将重点打造路灯板块，也希望能在灯具中加入智慧的元素。江苏安亮照明董事长安秀娟委员介绍了自己企业的情况，讲到自己特地从外地赶回来参会，对专委会提供的两份文件表示感谢。盐城鼎盛总经理刘永委员说到，企业转型很重要，他们现在一方面将电动汽车的旧电池废物利用装到太阳能路灯上；另一方面在代理销售软通动力的软件平台。梁枫委员马上与刘永委员互动，对电动汽车废旧电池的再利用表现出很大的兴趣。

最后黎晓明主任代表专委会对各位委员一年来的辛苦工作表示感谢，希望大家更多地谋划专委会下一步的发展。黎主任也对格林照明和陈建文董事长表示感谢，常州站茶话会成功举办，送温暖活动还将继续！

江苏省照明学会

Jiangsu Illuminating Engineering Society

THE JIANGSU
ELECTRIC LIGHTING
FIRST QUARTER 2020

2020年03月31日出版