

# 数字摄像能见度仪夜间观测技术研究

王京丽<sup>1</sup>, 刘旭林<sup>2</sup>, 刘金城<sup>2</sup>, 阮顺贤<sup>1</sup>, 韦 涛<sup>2</sup>, 聂 凯<sup>2</sup>

(1. 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089; 2. 北京市气象探测中心, 北京 100089)

**摘 要:** 在数字摄像能见度仪夜间观测系统中, 光源亮度均匀性难以达标、稳定性受电源系统波动和环境温度变化的影响, 给夜间观测结果带来的误差和波动不可忽略. 本文提出选择抗震性强、稳定性高、响应时间短的 LED (Light-Emitting-Diode) 作为夜间观测光源. 采用高密度 LED 阵列组成面光源, 在 LED 发光板四周增加光源反射镜, 在其前方增加柔光板, 大大提高了光源亮度的均匀性. 采用高稳定度恒压驱动模式, 同时增加恒流自反馈驱动电路为 LED 发光板供电, 基本消除了电源系统的波动, 大大提高了光源亮度的稳定性. 采用对目标算法, 有效降低了光源亮度随温度变化引起的观测误差.

**关键词:** 能见度; LED; 夜间观测; 均匀性; 稳定性

**中图分类号:** TX851 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2018)06-1306-06

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2018.06.005

## A Study on Visibility Observation at Nighttime Using Digital Photography Visiometer System

WANG Jing-li<sup>1</sup>, LIU Xu-lin<sup>2</sup>, LIU Jin-cheng<sup>2</sup>, RUAN Shun-xian<sup>1</sup>, WEI Tao<sup>2</sup>, NIE Kai<sup>2</sup>

(1. Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089, China;

2. Beijing Meteorological Observation Center, Beijing 100089, China)

**Abstract:** Digital photography visiometer systems have been well developed and widely used in visibility observation at daytime. However, the observation at nighttime is often limited due to errors and fluctuations associated with the poor uniformity of illumination and instability of lighting-sources at nighttime which might be affected by power-supply sources and environmental temperature changes. In this study, we proposed a specific light-emitting-diode (LED) system as nighttime lighting-source which is anti-shaking, stable, and has a short response time. The uniformity of illumination has been significantly improved by using these high-density arrays of LED lighting sources with four illumination reflectors installed around the LED lighting-source box and one diffuser in the front. To reduce the fluctuations and improve the stability of the power-supply system, we designed a high-stable power supply system with constant-voltage-drive mode and constant self-feedback current drive circuit. Target-oriented algorithms have been developed to minimize the errors due to changes in illumination of lighting sources caused by temperature changes.

**Key words:** visibility; LED; nighttime observation; uniformity; instability

## 1 引言

能见度与交通、气象、军事和人们的日常生活等密切相关<sup>[1]</sup>. 世界上许多国家先后开展了能见度自动观测仪的研究<sup>[2-4]</sup>. 上世纪 50 年代, 欧美发达国家首先研制出了透射型能见度仪, 60 年代又研制出了散射型能见度仪<sup>[5,6]</sup>, 70 年代我国也开始了器测能见度的探

索<sup>[7]</sup>. 吕达仁等<sup>[8]</sup>利用红宝石激光雷达测量水平方向大气平均衰减系数, 长春气象仪器研究所、中国气象科学研究所先后研制了前向散射型能见度仪. 90 年代末, 随着计算机技术和 CCD 数字摄像技术的飞速发展<sup>[9-10]</sup>, 中国气象局北京城市气象研究所先后与多家高校及科研机构合作, 开始数字摄像能见度自动观测仪 (Digital Photography Visiometer System, 简称

收稿日期: 2016-03-23; 修回日期: 2016-11-01; 责任编辑: 郭游

基金项目: 科技部公益性行业专项 (No. GYHY201106047); 气象关键技术集成项目 (No. GMAGJ2014M02); 国家自然科学基金 (No. 41575156); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (No. IUMKY201605, No. IUMKY201713)

DPVS)<sup>[11-14]</sup>的研制.目前 DPVS 白天观测技术已十分成熟,但夜间观测技术还有待进一步改进和完善.

## 2 DPVS 夜间观测原理及其系统组成

DPVS 夜间观测系统由 CCD、距 CCD 距离不等的两组目标光源系统组成<sup>[15-18]</sup>.通过已知双光源初始亮度比、双光源距 CCD 的距离、以及实时测得的双光源视亮度比的变化确定夜间能见度. DPVS 夜间观测系统示意图如图 1 所示.目标光源系统中绿色的表示目标光源,黑色的表示目标黑体.

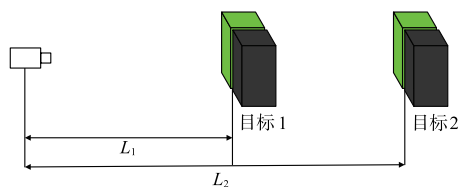


图1 DPVS夜间观测示意图

## 3 DPVS 夜间观测技术

DPVS 夜间观测技术及观测性能取决于光源材质的选取、面光源系统设计、面光源亮度均匀性、稳定性、一致性特性,以及双光源初始亮度实时获取的准确性等.

### 3.1 光源材质的选择

随着能见度自动探测仪越来越广泛应用于高速公路等无人值守的、环境条件相对较差的野外场所,对光源系统的抗震性、低能耗、实时性有了更高的要求.选择电压低、抗震性强、性能稳定、响应时间短的 LED 作为发光体<sup>[19-20]</sup>.LED 发光颜色纯,无杂色光,覆盖整个可见光的全部波段.其抗震性强的特性,正好适于高速公路道面强烈震动时有发生实际需求;低能耗的特性,正好适于没有专用供电电源,完全依靠大量布设的太阳能电池为沿线设备供电的高速公路供电现状;其响应时间是目前所有光源中最快,纳秒级的响应时间,完全可以满足分钟级分辨率的能见度实时观测需求.本系统选择型号为 GHC-YR1S2/3T 的发光二极管作为发光光源,其峰值波长  $\lambda_p$  在 518nm 左右,光谱辐射带宽  $\Delta\lambda$  为 35nm 左右,波长范围正好在可见光谱内,工作温度 TOPR 为  $-40 \sim +85^\circ\text{C}$ ,发光颜色为人眼最敏感的绿色,其谱线图如图 2 所示.

### 3.2 DPVS 光源系统设计

DPVS 光源系统由安装在灯箱里的 LED 发光板、光源反射镜和柔光板组成<sup>[21-24]</sup>,如图 3 所示.

### 3.3 LED 光源系统特性

选择  $16 \times 16$  高密度 LED 灯组组成发光阵列.图 3 显示,LED 发光板安装在灯箱的最里端,其四周的光源反射镜将照射在周边的光反射回发光区域,虚拟出一

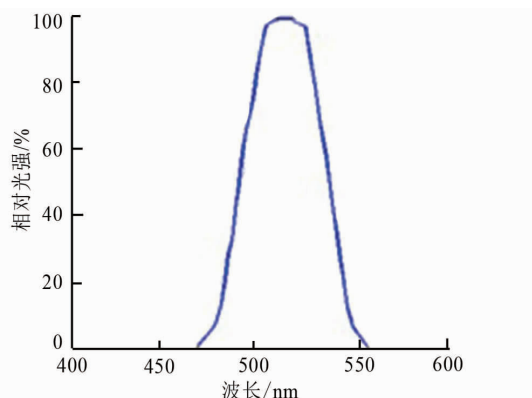


图2 LED光谱分布曲线

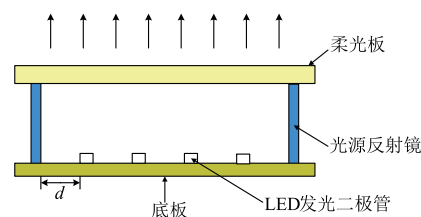


图3 DPVS光源系统结构示意图

个无限大的发光阵列,使光源有效区域内边缘的光衰减减小,从而大大提高了光源亮度的均匀度.发光板前方的柔光板对光线进行多次折射和散射,虽然光强略有损失,但均匀度大大增强.同时通过安装在发光板底部的导轨,调节发光板与柔光板之间的距离,以达到满足光源亮度条件下,均匀性调至最佳的效果.

采用抗噪性强的脉冲宽度调制(缩写 PWM)信号控制 LED 灯板亮度<sup>[25,26]</sup>.采用电流自反馈电路,结合高稳定度恒压电源,组成恒压恒流电源,驱动 LED 灯板.极大地增强了 LED 灯板的抗噪能力,从而大大增加了 LED 灯板光强稳定度.LED 光源电流反馈电路如图 4 所示.

选择同一批次的 LED、光源反射镜、柔光板、灯箱等光源组件.分别对每种组件特性逐一进行严格测试和筛选,确保双光源特性参数的一致性.在此基础上,研制双光源系统.

基于 LED 光源亮度随温度变化会产生微小改变的特点,在实验室开展 LED 亮度随温度变化测试实验,根据实验结果,研究 LED 亮度随温度变化的补偿算法,并应用于实际观测中,大大降低 LED 亮度随温度变化发生微小改变的可能性.

### 3.4 DPVS 夜间观测算法

DPVS 夜间观测算法采用的是对目标算法.即通过已知双光源初始亮度比、经过不同长度气柱衰减之后双光源的视亮度比变化,获得大气消光系数,从而计算大气能见度.其中双光源距 CCD 的距离为已知,双

光源视亮度比可以实时测得,双光源初始亮度比虽然在实验室中已事先测得,但难以保证在室外环境中长

时间不发生丝毫改变.能否实时获得双光源初始亮度比是准确获得夜间能见度值的关键.

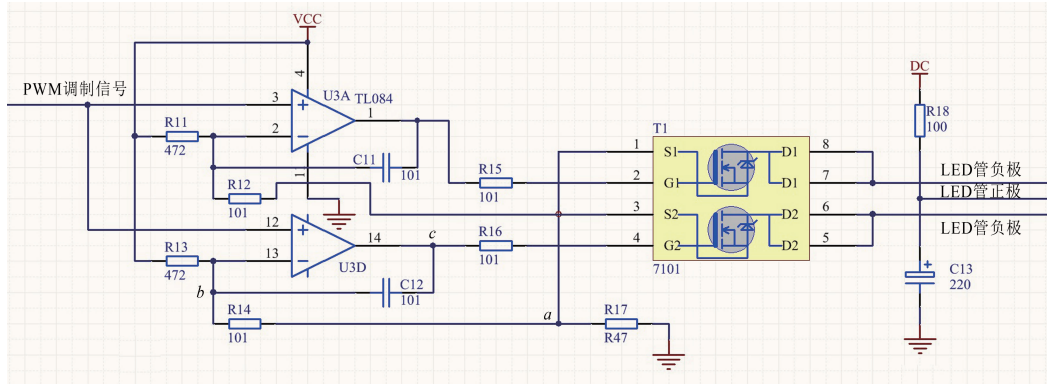


图4 LED光源电流反馈电路

由于双光源距离 CCD 的距离较近,在晴空天气条件下,光源与 CCD 之间的气柱亮度可忽略不计.每当遇到晴空天气,就随时记录该时刻的双光源视亮度比,并以该值作为新的双光源初始亮度比,应用于双光源算法中,从而达到实时标校双光源初始亮度比的目的.另外对目标算法,涉及的是双光源亮度比.即使双光源亮度同时随温度变化发生微小变化,也会在双光源亮度比中相互抵消,即双光源亮度比并未发生改变,从而有效降低了光源亮度随温度变化引起的观测误差.

果显示 36 个小区亮度灰度级相对标准差为 0.93%.

### 4 LED 面光源系统性能测试

LED 面光源系统的均匀性、稳定性、一致性是数字摄像能见度仪光源系统研制的重要技术指标,它们直接决定了夜间能见度观测的准确率.在封闭暗房环境中,分别对 LED 面光源的均匀性、稳定性、一致性进行了系统测试.LED 面光源系统与摄像机相对放置,两者中心位置等高,相距 200cm,如图 5 所示.

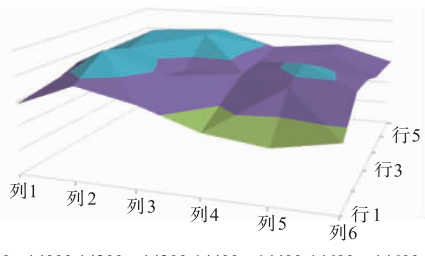


图6 LED光源亮度二维曲面立体图

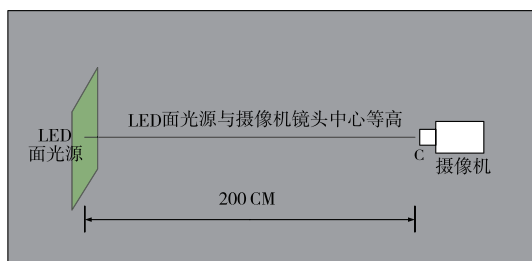


图5 LED面光源系统性能测试示意图

#### 4.1 均匀性测试

在面光源有效区域内均匀选取 36 个小区,通过 CCD 读取每个小区的亮度平均值,分析整个面光源均匀性. CCD 选择 14 位数字 CCD,灰度级范围 16384.合理选择并设定 LED 面光源灰度级,测得 36 个小区中最大亮度 14757 灰度级,最小亮度 14228 灰度级,平均亮度 14508 灰度级.LED 光源亮度二维曲面立体图如图 6 所示.分析结

#### 4.2 稳定性测试

对 LED 光源系统进行了两次稳定性测试.第一次测试时长为 24 小时,测试温度为 26℃,亮度最大值为 11311.81 灰度级,最小值为 11268.58 灰度级,平均值为 11284.15 灰度级,亮度相对标准差为 0.081%,LED 光源 24 小时稳定性测试结果见图 7.测试期间,次日上午 10 时,实验员进入实验室查看测试情况,导致室内温度略有上升,图中可见相应光源亮度略有升高.第二次测试时长为 48 小时,测试温度为 24℃,亮度最大值为 10147.09 灰度级,最小值为 10000.54 灰度级,平均值为 10075.82 灰度级,亮度相对标准差为 0.18%,LED 光源 48 小时稳定性测试结果见图 8.

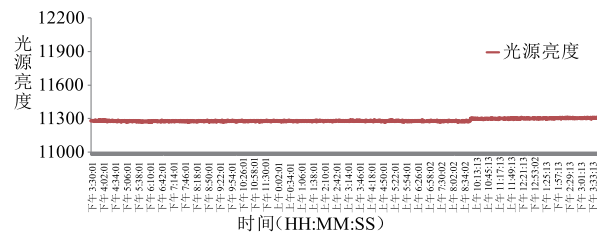


图7 LED光源24小时稳定性测试结果

#### 4.3 一致性测试

对 LED 双光源进行了两次一致性测试.第一次测

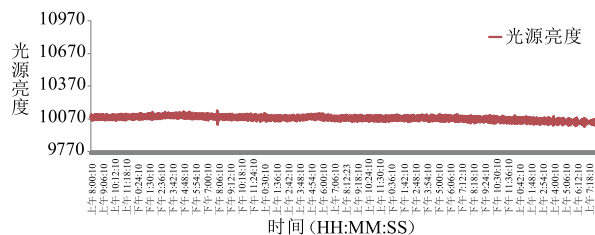


图8 LED光源48小时稳定性测试结果

试时长约 6 小时,实验室初始温度约为 24.5℃,实验开始后调整室内温度为 24℃,实验结果如图 9 所示.图中显示光源起始亮度较高,经过短时间逐渐下降过程后,达到并保持在恒定亮度水平.这是因为实验室初始温度比设定温度高出 0.5℃,经过短时间下降过程后,达到并保持在 24℃ 这一恒定温度上.第一次测试期间光源 1 亮度平均灰度值为 9921,光源 2 为 10094,双光源亮度比相对标准差为 0.312%.第二次测试时长约 5 小时,测试起始温度约为 26℃,实验开始后调整室内温度为 28℃,实验结果如图 10 所示.与第一次情况相反,光源起始亮度较低,经过短时间逐渐上升过程后,达到并保持在恒定亮度水平.这是因为实验室初始温度比实验开始后设定的温度低 2℃,经过短时间上升过程后,达到并保持在 28℃ 这一恒定温度上.第二次实验期间光源 1 亮度平均灰度值为 10522,光源 2 为 10705,双光源亮度比相对标准差为 0.3410%.双光源一致性测试结果充分反映了光源亮度随环境温度变化的明显特征,两者呈明显正相关性.即亮度随环境温度上升而升高,随环境温度下降而降低.但无论环境温度升高还是降低,双光源的亮度比还是保持一致的,说明两者变化具有很好的一致性.

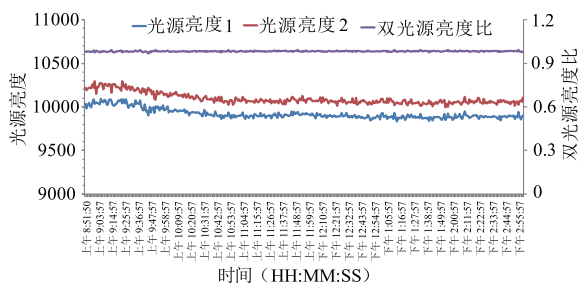


图9 LED双光源6小时一致性测试结果

## 5 结论与讨论

在 DPVS 研制中,综合考虑性价比,LED 是夜间观测光源的最佳选择. LED 所具备的电压低、抗震性强、稳定性高、响应时间短等特点,特别适用于近年广泛发展的高速公路能见度自动观测系统. LED 光源的均匀性、稳定性、双光源的一致性决定 DPVS 夜间观测准确率的主要因素.在 LED 发光板四周安装光源反射镜,

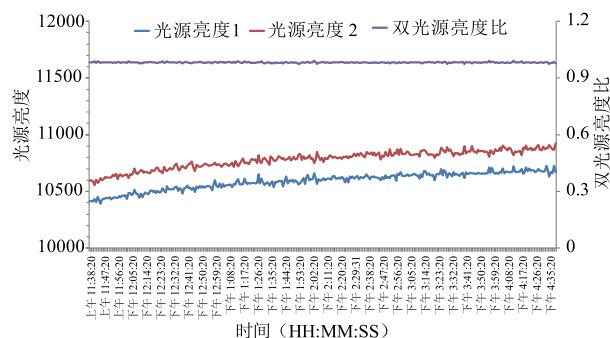


图10 LED双光源5小时一致性测试结果

同时在前方安装柔光板,大大增加了面光源亮度的均匀度.采用脉冲宽度调制信号控制 LED 灯板亮度,采用恒压恒流电源,驱动 LED 灯板,大大增加了面光源亮度稳定度.对 LED 光源系统各个组件,逐一进行严格测试和筛选,研制双光源系统.同时研究 LED 亮度随温度变化的补偿算法,并应用于实际观测中,大大增加了双光源亮度的一致性.

随着 DPVS 夜间观测技术不断完善,DPVS 更加成熟.同时随着 CCD-CAMERA 技术的飞速发展,成本的直线下降,DPVS 作为当今国际上唯一符合能见度定义的能见度自动观测仪,必将拥有更加广阔的应用前景.同时由于它采用的是人工观测方法,必然是取代人工观测能见度的最佳仪器.

## 参考文献

- [1] 高太长,江志东,刘磊.基于光学原理的地面气象观测仪器及应用分析[J].激光与光电子学进展,2011,48(4):1-8.  
Gao Tai-chang, Jiang Zhi-dong, Liu Lei, Liu Xi-chuan. Application analysis of ground meteorological instruments based on optical techniques [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2011, 48(4): 1-8 (in Chinese).
- [2] 毛节泰,李建国.气象能见度与望远光度计[J].大气科学,1984,8(2):170-177.  
Mao Jietai, Li Jianguo. Visibility and telephotometer [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1984, 8(2): 170-177. (in Chinese)
- [3] 施德恒.跑道能见度激光探测仪的研究分析[J].应用光学,1997,18(5):22-25.  
Shi De-heng. Study and analysis of the laser detecting instrument for measuring runway visibility [J]. Journal of Applied Optics, 1997, 18(5): 22-25. (in Chinese)
- [4] 林晔主编.大气探测学教程[M].北京:气象出版社,1995.93-97.  
Lin Ye. Atmospheric Sounding Tutorial [M]. Beijing: Meteorological Press, 1995. 93-97. (in Chinese)
- [5] 邓可,胡建平,张平华.基于红外散射原理的能见度仪设

- 计[J]. 测控技术, 2004, 23(2): 19-21.
- Deng Ke, Hu Jian-ping, Zhang Ping-hua. Design of forward scatter infrared visibility meter[J]. Measurement and Control Technology, 2004, 23(2): 19-21. (in Chinese)
- [6] 肖韶荣, 冒晓莉. 基于光纤的能见度测量方法[J]. 光学精密工程, 2006, 14(5): 802-806.
- Xiao Shao-rong, Mao Xiao-li. Measuring method of visibility with optical fiber[J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(5): 802-806. (in Chinese)
- [7] David C, Burnham. Fog, snow and rain calibrations for forward scatter visibility sensors[A]. Eighth Symposium Meteorological Observations and Instrumentation [C]. Anaheim, California, USA: American Meteorological Society, 1993. 66-69.
- [8] 施德恒. 跑道能见度激光探测仪的研究分析[J]. 应用光学, 1997, 18(5): 22-25.
- Shi Deheng. Study and analysis of the laser detecting instrument for measuring runway visibility [J]. Journal of Applied Optics, 1997, 18(5): 22-25. (in Chinese)
- [9] 郑德忠, 周颖慧. 单 CCD 数字滤光温度场测量[J]. 电子学报, 2009, 37(12): 2774-2777.
- Zheng De-zhong Zhou Ying-hui. Digital filtering for temperature field measurement using a single CCD camera [J]. Acta Electornica Sinica, 2009, 37(12): 2774-2777. (in Chinese)
- [10] 堂本奇, 肖志刚, 王祖军. 电荷耦合器件辐射效应理论分析与模拟试验方法研究[J]. 电子学报, 2007, 35(8): 1481-1484.
- Tang Ben-qi, Xiao Zhi-gang, Wang Zu-jun. Mechanism analysis and experiment simulation on radiation effects of CCDs[J]. Acta Electornica Sinica, 2007, 35(8): 1481-1484. (in Chinese)
- [11] 王京丽, 程丛兰, 徐晓峰. 数字摄像法测量能见度仪器系统比对实验[J]. 气象科技, 2002, 30(6): 353-357.
- Wang Jing-li, Cheng Cong-lan, Xu Xiao-feng. Systematic comparative experiments between digital photographic visibility observation instruments[J]. Meteorological Science and Technology, 2002, 30(6): 353-357. (in Chinese)
- [12] 王京丽, 刘旭林, 高五峰, 等. 数字摄像能见度仪器系统控制电路的设计[J]. 气象科技, 2006, 34(5): 633-639.
- Wang Jingli, Liu Xulin, Gao Wufeng, et al. Control circuit design of digital photography visiometer system[J]. Meteorological Science and Technology, 2006, 34(5): 633-639. (in Chinese)
- [13] 王京丽, 刘旭林, 雷鸣, 等. 数字摄像能见度系统及其比对实验[J]. 电子学报, 2014, 42(11): 2298-2302.
- Wang Jing-li, Liu Xu-lin, Lei Ming, et al. Digital photography visiometer system and comparative experiment[J]. Acta Electronica Sinica, 2014, 42(11): 2298-2302. (in Chinese)
- [14] 王京丽, 刘旭林, 雷鸣. 新型能见度自动观测系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(7): 596-603.
- Wang Jingli, LIU Xulin, LEI Ming, et al. Research on new automatic visibility observation system[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2013, 27(7): 596-603. (in Chinese)
- [15] 谢兴生, 陶善昌, 周秀骥. 数字摄像法测量气象能见度[J]. 科学通报, 1999, 44(1): 97-100.
- Xie Xingsheng, Tao Shanchang, Zhou Xiuji. Meteorological visibility observation by digital photography method [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(1): 93-100. (in Chinese)
- [16] Raouf Babari, Nicolas Hautière, éric Dumont. A model-driven approach to estimate atmospheric visibility with ordinary cameras[J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(30): 5316-5324.
- [17] Raouf Babari, Nicolas Hautière. Visibility monitoring using conventional roadside cameras-Emerging applications [J]. Transportation Research Part C, 2012, 22(12): 17-28.
- [18] Nathan Graves, Shawn Newsam. Using visibility cameras to estimate atmospheric light extinction[A]. Application of Computer Vision (WACV) [C]. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2011. 577-584.
- [19] 高金环, 张磊, 高兆丰. LED 光源寿命评估方法探讨[J]. 半导体检测与设备, 2013, 38(12): 946-948.
- Gao Jinhuan, Zhang Lei, Gao Zhaofeng. Analysis of life evaluation method of LED light source[J]. Semiconductor Testing and Equipments, 2013, 38(12): 946-948. (in Chinese)
- [20] 田国栋. LED 光源的应用探讨[J]. 电子设计工程, 2013, 21(18): 21-24.
- Tian Guodong. Exploration of the LED light source[J]. Electronic Design Engineering, 2013, 21(18): 21-24. (in Chinese)
- [21] 李博, 冯松, 毛军红. 在线图像可视铁谱 LED 阵列反射光源设计与实现[J]. 西安交通大学学报, 2014, 48(10): 29-34.
- Li Bo, Feng Song, Mao junhong. A design method and its implementation of an LED array reflecting light for on-line visual ferrograph[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2014, 48(10): 29-34. (in Chinese)
- [22] 刘浩杰, 蓝天, 倪国强. 室内可见光通信发光二极管阵列发射性能的研究[J]. 物理学报, 2014, 63(23): 1-7.
- Liu Hao-jie, Lan Tian, Ni Guo-qiang. Research on the light emitting diode array launching performance for indoor visible light communication [J]. Acta Phys Sin,

- 2014,63(23):1-7.
- [23] Li Cheng, Li Nong, Chen Jianxin. The research of LED arrays for uniform illumination[J]. Advance in Information Sciences and Service Sciences, 2012, 4(10): 174-182.
- [24] Sun Jie, Zhang Jingwen. Design of LED light source uniform illumination in large area[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 401-403:465-468.
- [25] 陈景忠. 一种直流 LED 恒流源电路分析与研究[J]. 电源技术, 2012, 36(12):1928-1930.
- Chen Jing-zhong. Analysis and research of a LED constant current DC power supply module[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2012, 36(12):1928-1930. (in Chinese)
- [26] 胡国珍, 马学军, 陆小洲. 一种两级式 LED 恒流驱动电源设计[J]. 计算技术与自动化, 2015, 34(1):44-47.
- HU Gao-zhen, MA Xue-jun, LU Xiao-zhou, et al. Design and realization of LED constant current driver[J]. Computing Technology and Automation, 2015, 34(1):44-47. (in Chinese)

### 作者简介



王京丽 女, 1960 年 3 月出生于北京, 学士, 研究员, 主要研究方向为大气探测及大气环境, 近年主要从事数字摄像能见度仪研制工作。  
E-mail: jlwang@ium.cn



刘旭林(通信作者) 男, 1964 年 1 月出生于武汉, 硕士, 研究员, 主要研究方向为探测仪器应用、计算机及网络通信。  
E-mail: lxulin@bjmb.gov.cn