

# MOS 电阻阵红外目标模拟器图像帧频测试方法

郝燕云<sup>1</sup>, 赵松庆<sup>1,2</sup>, 吴根水<sup>1,2</sup>, 李睿<sup>1,2</sup>, 高辉<sup>1</sup>

(1. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009; 2. 航空制导武器航空科技重点实验室, 河南 洛阳 471009)

**摘要:** 基于 MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) 电阻阵列的红外成像目标模拟器是红外成像制导武器半实物仿真系统的重要组成部分之一, 用于模拟红外目标/干扰动态场景; 输出动态图像的帧频反映了所模拟动态场景快速性, 是评价红外成像目标模拟器图像变化快慢程度的一项技术指标; 首先, 介绍了 MOS 电阻阵红外成像目标模拟器的基本组成与工作原理, 讨论了半实物仿真系统中对模拟红外辐射图像帧频的测试需求; 然后, 提出了一种 MOS 电阻阵红外成像目标模拟器图像帧频的测试方法, 搭建了图像帧频测试平台; 最后, 对 256×256 元 MOS 电阻阵红外成像目标模拟器输出的图像帧频进行了测试, 并给出测试结果; 结论: 该测试方法能为 MOS 电阻阵红外成像目标模拟器的研制、性能测试和应用提供一定的依据, 可推广应用于其它类型红外成像目标模拟器的图像帧频测试中。

**关键词:** MOS 电阻阵; 目标模拟器; 图像帧频; 测试方法

## Dynamic Image Frame Frequency Testing Method of MOS Resistor Array IR Target Simulator

Hao Yanyun<sup>1</sup>, Zhao Songqing<sup>1,2</sup>, Wu Genshui<sup>1,2</sup>, Li Rui<sup>1,2</sup>, Gao Hui<sup>1</sup>

(1. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China; 2. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Airborne Guided Weapons, Luoyang 471009, China)

**Abstract:** The MOS resistor array IR imaging target simulator is the most important component of hardware-in-the-loop system of the infrared imaging guidance weapon. It is used to simulate dynamic infrared target/disturbance scene. The frame frequency of dynamic image reflects the rapidity of infrared dynamic scene simulated, is a technical index, which estimates the speed of image change of IR Target Simulator. First of all, the basic structure and the working principle of MOS resistor array IR imaging target simulator were introduced, the testing demands for frame frequency of simulated infrared radiation images in the hardware-in-the-loop IR system were discussed; Then, the testing methods of image frame frequency of simulator were put forward, and the testing platform was set up; Finally, the image frame frequency of 256×256 MOS resistor array IR imaging target simulator was tested, and the testing result was given. Conclusion: The testing method in this paper could provide some basis for the development, performance testing and application of the MOS resistor array IR imaging target simulator, and also be successfully applied to the image frame frequency of other IR imaging target simulator.

**Keywords:** MOS resistor array; target simulator; image frame frequency; testing method

## 0 引言

在红外成像制导武器研制过程中, 红外成像制导半实物仿真系统是验证武器系统在实战环境中制导性能的重要手段。它是由红外成像目标模拟器、红外仿真总台、五轴飞行模拟转台等组成, 可以为红外制导系统的半实物仿真试验营造一个逼真的外场实战红外环境。其中, 红外成像目标模拟器的功能是实现高逼真度动态红外场景的模拟, 即可以在红外制导系统的工作波段内, 模拟真实目标/干扰在三维空间的形态特征、姿态运动特征、弹目接近过程和红外辐射特性。目前, 国内具有代表性的动态场景模拟技术有 MEMS 薄膜、DMD 数字微镜阵列和 MOS 电阻阵列等。其中, 基于 MOS 电阻阵列的红外成像目标模拟器由于高帧频、动态范围宽等优点, 备受国内外关注, 成为国内外广泛研究且发展较为成熟的一种红外成像目标模拟器。以美国导弹指挥仿真中心、海军空军中心仿真实验室及海军空军中心仿真实验室三大美国国防仿真实验中心为代表的欧美等国家仿真实验室已经大量地成功使用基于 MOS 电

阻阵列红外目标模拟器的半实物仿真系统。除此之外, 国内也加快了对 MOS 电阻阵列红外目标模拟器研究的脚步, 到目前为止已经取得了显著成果。

红外成像目标模拟器的图像帧频是指单位时间内生成动态红外热图像的帧数, 是衡量红外目标模拟器的性能参数之一。对于高速飞行的目标而言, 它自身的姿态变化及与被测红外成像制导系统的距离变化都是很快的, 为了实现对目标运动的逼真模拟, 红外成像目标模拟器更新动态红外热图像的速度越快越好, 即帧频越高越好。

在测试 MOS 电阻阵列红外图像转换器所能达到的最高工作频率时, 上海科学院上海技术物理研究所<sup>[1]</sup>通过观察示波器输出的由高速红外探测器采集得到的 MOS 电阻阵列红外图像转换器响应时间波形, 分析响应上升和下降时间, 从而确定获得 MOS 电阻阵列红外图像转换器所能达到的最高工作频率。该文<sup>[4]</sup>仅描述了测试 MOS 电阻阵列红外图像转换器自身可达到的最大帧频参数方法, 并没有提及整个红外目标模拟器的图像帧频测试方法。

在测试 DMD 红外目标模拟器的帧频时, 中国人民解放军 63892 部队使用热像仪测试模拟器视频处理电路能够适应的帧频范围, 利用单元探测器和示波器测试模拟器驱动电路能够适

收稿日期: 2017-08-09; 修回日期: 2017-09-02。

作者简介: 郝燕云 (1991-), 女, 山西大同人, 硕士, 工程师, 主要从事红外目标与环境特性半实物仿真方向的研究。

应的帧频范围<sup>[2]</sup>。同样地,也没有提及整个红外目标模拟器的图像帧频测试方法。

首先,对 MOS 电阻阵列红外成像目标模拟器的组成部分和工作原理进行了介绍,阐述了半实物仿真试验中对模拟红外辐射热图像帧频测试的必要性;然后,针对测试需求,提出了一种测试整个 MOS 电阻阵列红外成像目标模拟器输出图像帧频的方法,搭建了图像帧频测试平台;最后,对 256×256 元 MOS 电阻阵列红外成像目标模拟器的输出图像帧频进行了测试。

### 1 MOS 电阻阵红外成像目标模拟器

基于 MOS 电阻阵列的红外成像目标模拟器是由计算机图像生成系统、电阻阵列控制驱动系统、MOS 电阻阵列红外图像转换器和红外光学准直系统组成,组成框图如图 1 所示。

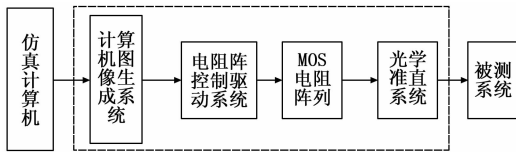


图 1 MOS 电阻阵红外目标模拟器组成框图

图像生成计算机接收由仿真计算机计算出目标与被测系统的位置、姿态角随时间变化数据等参数,根据收集到的目标环境特性参数,计算生成一组数字红外场景和目标图像序列。该图像序列传输给电阻阵控制器,按照控制器的格式转换后送往驱动器。同时,控制器为驱动器产生 MOS 电阻阵列需要的行列扫描信号,并由驱动器驱动 MOS 电阻阵列生成对应的红外场景辐射热图像,该红外动态辐射热图像通过红外光学准直系统准直成平行光束,然后投射进入红外成像探测系统的光学系统,最后由红外成像探测系统采集、计算并完成图像的识别和跟踪。

### 2 MOS 电阻阵列红外图像转换器

256×256 元 MOS 电阻阵列红外图像转换器由 256×256 元电阻阵列芯片、衬底冷却系统和真空环境箱系统构成,能够将计算机图像生成系统生成的目标/干扰红外数字图像转换为被测红外成像制导武器系统可探测到的红外辐射热图像。其中,电阻阵列芯片是红外图像转换器的核心,由 256×256 个电阻阵列基本单元两个 128 位移位寄存器和 16 个 16 位多路传输器组成。

#### 2.1 256×256 元 MOS 电阻阵列芯片结构

MOS 电阻阵列的主体部分是组成阵列的像素物理结构,每个像素单元由一个电阻形式的微辐射体和一组单元驱动电路组成,二者平铺在一个区域内<sup>[3]</sup>,如图 2 所示。其中,微辐射体是器件的核心部分,其功能是将某种其它形式的能量转换成所需要的红外辐射能量。像素单元之间和阵列外围均布置了控制总线和选址电路,用来对像素单元进行选通控制。

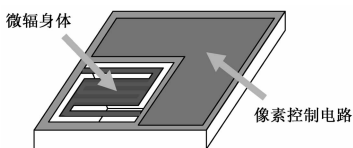


图 2 MOS 电阻阵列器件像素平面结构

像素电路单元如图 3 所示。每个单元<sup>[4]</sup>除了微辐射体 R 外,还包含两个 MOS 晶体管  $T_1$ 、 $T_2$ 。传输门  $T_1$  用来输送模拟控制信号  $V_s$ ,驱动管  $T_2$  及 R 组成源极跟随器结构,给微辐射体提供充足的加热电流。当传输门被选通打开时,信号  $V_s$  经  $T_1$  传输到  $T_2$  栅上, $T_2$  以相应电流给电阻 R 加热。当传输门关闭时,存储在电容 C 上的电荷经  $T_2$  的漏电阻慢慢放电,在放电期间, $T_2$  能为电阻维持加热。

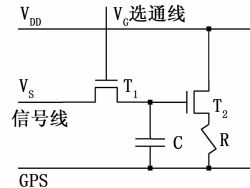


图 3 MOS 电阻阵列像素电路单元

256×256 电阻阵列器件被分成了左右两个完全相同、独立的子模块,各自分别进行控制和驱动的<sup>[5]</sup>。每个子模块的规模是 256×128 元阵列,外围分别集成了 1 个横向 128 位移位寄存器和 16 个由 16 个传输门、16 个模拟信号输入端子和 1 个 16 位模拟移位寄存器组成的模拟信号多路传输器,其中,128 位移位寄存器主要用来提供横向扫描选通时序,而 16 位多路传输器主要用来提供纵向扫描选通时序以及串行模拟控制信号。这样分组的设计目的是为了减少电阻阵芯片的外部引脚数目,从而提高电阻阵器件的实用性。图 4 是器件的总体电路原理图,S1~S16 负责为左边子模块的 256 行单元提供模拟控制信号,S1'~S16'负责为右边子模块的 256 行单元提供模拟控制信号,每个端子包括 16 行单元的串行控制数据包。图 5 是器件的子模块电路原理图,虚框内的部分即是一个基本单元。

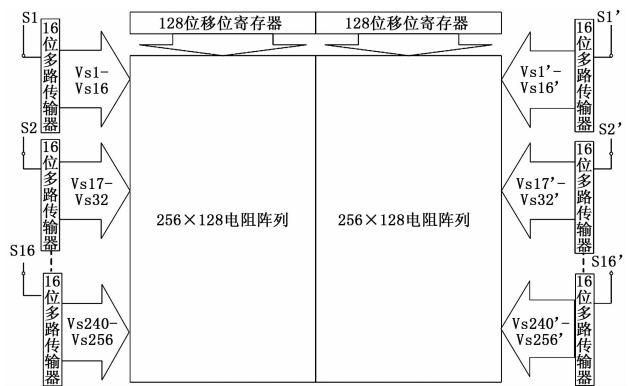


图 4 256×256 电阻阵列总体电路原理图

#### 2.2 256×256 元 MOS 电阻阵列驱动模式

芯片工作时,器件的两个子模块采用同时逐列分组扫描的方式<sup>[6]</sup>驱动,不仅扫描方向相同,动作也完全同步,图 6 为一个子模块的驱动模式示意图。

首先,由横向 128 位移位寄存器按照从左到右的顺序选通子模块某列的全部单元,然后在此列被选通的时间内,16 个纵向 16 位多路传输器同时从它们各自控制的 16 行单元中的第一行开始扫描,当扫描到某个单元时,相对应的串行模拟驱动电压  $V_s(n)$  就通过多路传输器注入到此单元的保持电容上,直到每组控制的 16 个单元都按照从上到下的顺序被驱动过之

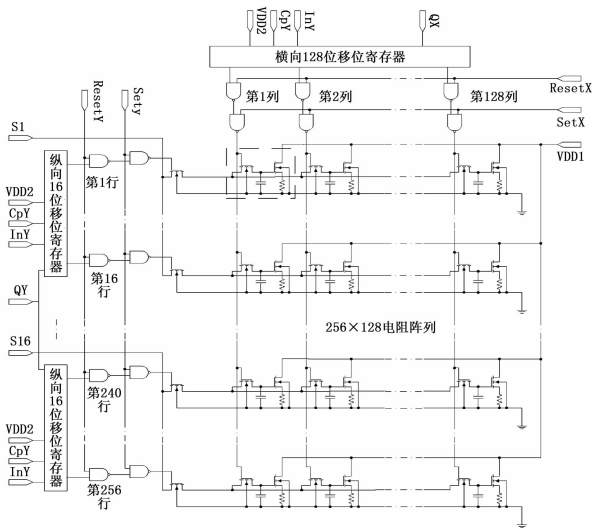


图 5 256×256 电阻阵列器件子模块电路原理图

后, 横向移位寄存器转而再驱动下一列单元, 开始新一轮的驱动, 就这样循环往复, 而之前驱动过的单元将依靠单元中的保持电容继续来维持驱动电压, 直到下一帧来临时, 驱动信号才能够得以刷新。

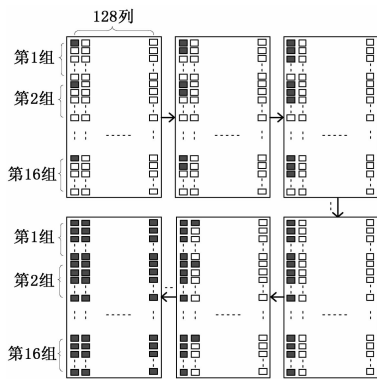


图 6 电阻阵列器件子模块驱动模式示意图

### 3 红外目标模拟器图像帧频测试

红外目标模拟器具有 3 种可输入的数字动态图像方式: 图像计算机生成的数字动态图像、使用红外热像仪拍摄的场景视频图像和红外制导武器系统采集的红外动态场景图像, 输出的是对频率有一定要求的序列动态红外辐射场景图像。衡量红外成像目标模拟器性能主要有以下几个参数<sup>[7]</sup>:

- 1) 像元数, 即输出红外辐射图像的像元数量;
- 2) 占空比, 即像元尺寸与相邻像元间距的比值, 表征了输出红外辐射图像的空间分辨率;
- 3) 动态温度范围, 反映了输出红外辐射图像的亮暗边界;
- 4) 辐射稳定性和均匀性, 分别反映了输出红外辐射图像在时域和空域的温度分辨率;
- 5) 图像帧频, 影响着输出动态红外辐射图像变化的快慢程度。

决定 MOS 电阻阵列红外成像目标模拟器的图像帧频主要有 3 个因素: 1) 计算机图像生成系统的计算能力; 2) MOS 电阻阵列辐射单元的热惯性, 体现在时间常数上; 3) 红外成

像目标模拟器的驱动控制模式。

#### 3.1 图像帧频测试需求

半实物仿真系统可以在实验室内模拟红外制导武器识别、跟踪目标的全过程。对于高速飞行的目标而言, 它自身的姿态变化及与被测红外成像制导系统的距离变化都是很快的, 为了实现对目标特性的逼真模拟, 红外成像目标模拟器单位时间内生成动态红外热图像的数量越多越好, 即帧频越高越好。所以, 为了给 MOS 电阻阵列红外成像目标模拟器的研制、性能测试和应用提供依据, 保证半实物仿真试验的逼真度, 对红外成像目标模拟器的图像帧频进行测试是非常有必要的。

#### 3.2 图像帧频测试原理

红外目标模拟器的图像帧频测试原理为: 首先, 点亮 MOS 电阻阵中心列辐射单元, 经过光学成像后, 使中心列点亮的热辐射图像刚好成像在单元探测器上; 然后, 分别控制数字目标/干扰图像的中心列以一顿亮一顿暗的方式驱动 MOS 电阻阵列, 使用前置放大器将单元探测器的输出信号放大, 观察示波器输出的周期变化波形, 波形的一升一降是一个周期, 周期值的一半就是红外成像目标模拟器的图像周期, 从而最终确定输出动态红外辐射图像的帧频。

#### 3.3 图像帧频测试方法

红外目标模拟器的图像帧频测试系统主要由调制器、单元探测器、前置放大器、锁相放大器、辐射亮度数据处理系统和示波器等组成。按照红外成像目标模拟器的图像帧频测试原理, 可将图像帧频测试过程分为测试准备和正式测试两个阶段。

图像帧频测试准备阶段: 首先由图像生成计算机生成中心一列点亮的静态测试图像, 电阻阵列控制驱动系统驱动 MOS 电阻阵列红外图像转换器生成对应的红外辐射测试图像, 经过红外光学准直系统准直成平行光束后进入光学系统; 一边分别调整二维平移台两个维度的方向, 一边观察数据处理系统的数据变化, 当数据处理系统测量出的辐亮度明显变大且保持稳定, 说明此时辐射光信号刚好成像在单元探测器上, 单元探测器与辐射光信号完成对准, 搭建帧频测试平台如图 7 所示。

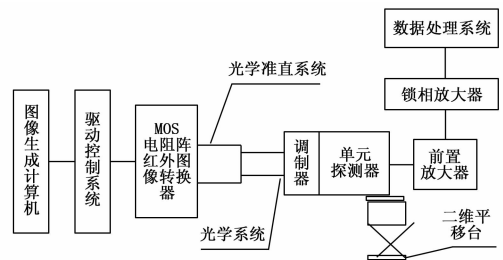


图 7 图像帧频准备测试搭建平台

图像帧频正式测试阶段: 将锁相放大器断开, 由前置放大器放大单元探测器探测到的光信号; 将示波器输入接前置放大器输出端, 控制测试图像的中心列以一顿亮一顿暗的方式工作; 最后由示波器测量采集周期变化的曲线, 曲线频率的 2 倍就是红外成像目标模拟器输出红外辐射图像的帧频。搭建帧频测试平台如图 8 所示。

#### 3.4 图像帧频测试结果

以 256×256 元 MOS 电阻阵列红外成像目标模拟器为图像帧频测试对象。测试时使用的数字图像是在一套基于 Open-

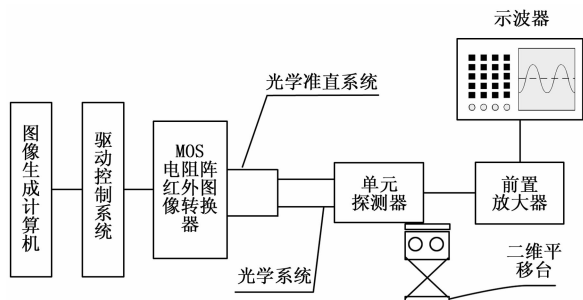


图 8 图像帧频正式测试搭建平台

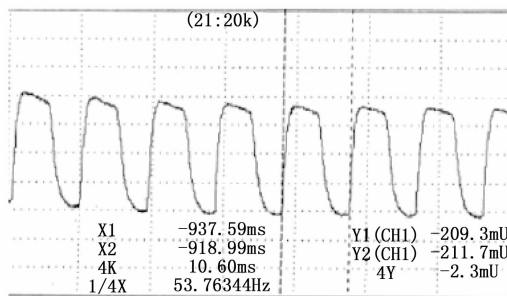


图 10 示波器输出图像帧频波形结果

GL 开发的专用软件上离线生成，中心列一帧亮一帧暗测试图像如图 9 所示，左侧为中心列点亮的图像，右侧为中心列不点亮的图像。

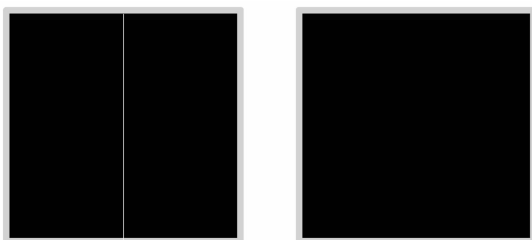


图 9 一帧亮一帧暗动态测试图像

图 10 是某次测试实验中得到的示波器输出波形结果，测试时使用的动态数字图像帧频为 110 Hz。由图可以看出，示波器获得了稳定的红外成像目标模拟器图像帧频波形。经分析，256×256 元 MOS 电阻阵列红外成像目标模拟器输出了稳定的红外辐射射图像，周期为 18.6 ms/2=9.3 ms，输出动态红外辐射图像帧频为 1000/9.3=107.53 Hz≈108 Hz。

在此红外成像目标模拟器图像帧频测试过程中，单元探测器对光信号的响应时间是 ns 量级，示波器的采样频率可达 Gsa/s 量级。所以通过直接测试红外成像目标模拟器输出光信号帧频，可以客观地反映出模拟器的图像帧频。

### 4 结论

红外目标模拟器输出动态红外辐射图像的帧频反映了所模

（上接第 16 页）

功率 LED 灯阵能耗测量系统。充分分析大功率 LED 灯阵能耗测量的功能需求，制定大功率 LED 灯阵能耗测量系统的总体架构，依据总体架构，改进设计系统硬件部分的照明管理系统模块、通信模块、随机存储 SRAM、Flash 闪存模块、TFT-LCD 液晶显示模块、电源电路和驱动电路，对系统软件部分的能耗测量功能进行优化开发，完成大功率 LED 灯阵能耗测量系统的设计。实验证明，该系统测量精度高，运行能耗低，满足能耗测量的需求。但在系统稳定性方面尚有不足，未来针对系统稳定性进行研究，为 LED 灯阵节能设计的发展提供借鉴依据。

#### 参考文献：

[1] 张玉杰, 吴安安. 基于 TCP/IP 及 DALI 总线技术的智能照明控制系统 [J]. 电视技术, 2015, 39 (22): 23-26.

[2] 王保华, 靳尚宇, 汤钰鹏, 等. 新型列车智能 LED 照明控制系统

拟动态场景的快速性。本文提出了一种 MOS 电阻阵列红外成像目标模拟器输出图像帧频的测试方法，搭建了图像帧频测试平台，对 MOS 电阻阵列红外成像目标模拟器的输出图像帧频进行了测试。测试结果表明：该测试方法简单易行，可信度高，且整个测试过程与红外成像目标模拟器的内部工作原理无直接关系，不仅能为 MOS 电阻阵列红外成像目标模拟器的研制、性能测试和应用提供一定的依据，而且可推广应用于其它类型红外成像目标模拟器的图像帧频测试中。

#### 参考文献：

[1] 肖云鹏. 电阻阵动态红外景象投射器性能参数和测试 [J]. 红外, 2006, 27 (5): 33-37.

[2] 许振领, 杨森森, 等. DMD 的红外动态场景模拟器时间特性测试 [J]. 红外与激光工程, 2014, 43 (2): 417-423.

[3] 陈世军. 电阻阵列红外景象产生器工作模式的研究 [J]. 激光与红外, 2010, 40 (3): 307-311.

[4] 马 斌, 程正喜, 刘 强, 等. 国产 MOS 电阻阵列动态红外景象产生器新进展 [J]. 红外与激光工程, 2010, 37 (增刊): 282-286.

[5] 黄 勇, 吴根水, 等. 256×256 元 MOS 电阻阵驱动方法研究 [J]. 航空兵器, 2013 (6): 39-42.

[6] 赵松庆, 吴根水, 刘晓宁, 等. 256×256 元 MOS 微电阻阵列动态场景生成装置 [J]. 航空兵器, 2015 (6): 40-45.

[7] 赵松庆, 吴根水, 刘晓宁, 等. MOS 电阻阵列红外动态场景模拟器辐射特性测试方法 [A]. 第三届红外成像系统仿真测试与评价技术研讨会论文集 [C]. 2011.

[8] 陈 炎, 王锡淮, 肖健梅. 电力系统节能控制器设计与仿真 [J]. 计算机仿真, 2016, 33 (11): 92-95.

[9] 于新业, 易 艺, 郝建卫. 教学楼电能节能控制系统的设计 [J]. 电子技术应用, 2017, 43 (6): 79-82.

[10] 宁 铎, 赵东旭, 姚 娜, 等. PV-LED 及太阳光直接加强照明系统的设计 [J]. 科学技术与工程, 2015, 15 (30): 139-144.

[11] 李少雷. 基于 KNX 总线的智能照明控制系统 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (2): 140-141.

[12] 曹祥红, 张 华. 住宅 Wi-Fi 智能照明控制系统设计 [J]. 科技通报, 2016, 32 (10): 157-159.

[13] 朱大缓. 上海轨道交通车辆基地照明系统节能改造实施方式探索 [J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19 (6): 143-144.

[14] 经 伟, 许 堃, 余建波. 基于 GPRS 和 ZigBee 的节能型 LED 路灯智能控制系统 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (5): 1538-1541.