

文章编号:1671-251X(2019)01-0013-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018090058

本质安全型低照度视频采集激光辅助光源设计

李文峰, 蔡蓬勃

(西安科技大学 通信与信息工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要:针对现有低照度视频采集辅助光源存在功耗高、体积大、照射距离近、隐蔽性差等问题,提出了一种本质安全型低照度视频采集激光辅助光源设计方案。选用光源波长为 940 nm 的半导体激光二极管,利用多模光纤、匀光片和透镜使半导体激光二极管输出光束形状规则、光照强度均匀;本质安全型驱动电路采用恒流驱动方式,具有过压、防反接和防静电保护;通过散热装置降低半导体激光二极管工作温度,使激光辅助光源能长时间稳定工作。测试结果表明,该激光辅助光源照射距离可达 20 m,功耗小于 3 W,持续工作温度低于 50 ℃。

关键词:视频监控系统;低照度视频采集;辅助光源;本质安全型;半导体激光二极管

中图分类号:TD67 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20181227.1732.005.html>

Design of intrinsically safe laser auxiliary light source for low-illumination video acquisition

LI Wenfeng, CAI Pengbo

(College of Communication and Information Engineering, Xi'an University of
Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract:For problems of high power consumption, large volume, close irradiation distance and poor concealment of existing auxiliary light source for low-illumination video acquisition, a design scheme of intrinsically safe laser auxiliary light source for low-illumination video acquisition was proposed. The semiconductor laser diode with 940 nm wavelength of light source is selected, and multi-mode fiber, smoothing glasses and lens are used to realize regular shape and uniform illumination intensity of beam outputted by the semiconductor laser diode. The intrinsically safe driving circuit adopts constant current driving mode with overvoltage, anti-reverse connection and anti-static protection. Working temperature of semiconductor laser diode is reduced through heat dissipation device, so that the laser auxiliary light source can work stably for a long time. The test results show that the laser auxiliary light source with irradiation distance is 20 m, power consumption is less than 3 W and continuous working temperature below 50 ℃.

Key words: video monitoring system; low-illumination video acquisition; auxiliary light source; intrinsically safe; semiconductor laser diode

0 引言

随着煤矿安全信息化建设的稳步推进,视频监控系统在煤矿安全领域应用越来越广泛^[1]。由于矿

井巷道深、环境黑暗、可燃气体多,要求矿用视频监控系统具有低照度视频采集功能和防爆特性^[2-3]。低照度视频采集分为被动视频采集和主动视频采集^[4]。被动视频采集是指目标物体自身热辐射发出

收稿日期:2018-09-18;修回日期:2018-12-14;责任编辑:盛男。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFC0703204);西安市碑林区科技计划资助项目(GX1812)。

作者简介:李文峰(1969—),男,河南襄城人,教授,博士,主要研究方向为矿山应急通信,E-mail:liwenfeng@xust.edu.cn。通信作者:蔡蓬勃(1994—),男,陕西西安人,硕士研究生,主要研究方向为嵌入式开发,E-mail:1092447591@qq.com。

引用格式:李文峰,蔡蓬勃.本质安全型低照度视频采集激光辅助光源设计[J].工矿自动化,2019,45(1):13-17.

LI Wenfeng, CAI Pengbo. Design of intrinsically safe laser auxiliary light source for low-illumination video acquisition[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(1): 13-17.

的红外线通过图像传感器成像,易受环境影响、成像模糊;主动视频采集是指系统自身携带的辅助光源发出红外线,经目标物体反射后通过图像传感器成像,照射距离远、受环境影响小、成像清晰,被广泛应用于煤矿视频监控领域。主动视频采集的成像质量、采集范围受辅助光源直接影响^[5-6]。常用的辅助光源通过红外 LED 阵列实现,但红外 LED 光电转换效率低(20%~30%)、功耗高、体积大、照射距离近和隐蔽性差^[7-8]。半导体激光二极管具有光电转换效率高(约 60%)、方向性好、照射距离远等优点^[9-10],本文基于半导体激光二极管设计了一种本质安全型低照度视频采集激光辅助光源,满足矿用防爆需求。

1 激光辅助光源设计

本质安全型低照度视频采集激光辅助光源由光路、本质安全型驱动电路和散热装置组成。本质安全型驱动电路驱动半导体激光二极管发出特定波长的红外光束,再通过光路对光束进行整形、匀化等处理,并利用散热装置降低半导体激光二极管工作温度。

1.1 光路设计

1.1.1 半导体激光二极管光源波长选择

由 CCD 图像传感器光谱响应曲线(图 1)可知,在 0.76~1.00 μm 的红外波段,光谱响应度随着波长的增大而降低。选择光源波长较短的半导体激光二极管时,CCD 图像传感器响应度高,但红暴现象严重;选择光源波长较长的半导体激光二极管虽可满足隐蔽性要求,但视频采集质量差。大气中存在的各种气体和微粒对激光产生吸收和散射作用,使得激光能量损失,CCD 图像传感器接收到的信号减弱,因此选择的半导体激光二极管光源波长必须在大气窗口(大气窗口是激光透过率较高的波段)之内。常用的半导体激光二极管光源波长有 808, 830, 850, 940, 980 nm^[11],均在大气窗口之内,但 850 nm 以下波长的红外光线红暴现象严重、隐蔽性差。综合考虑 CCD 图像传感器的光谱响应曲线、大

气环境和隐蔽性等因素,选用光源波长为 940 nm 的半导体激光二极管。

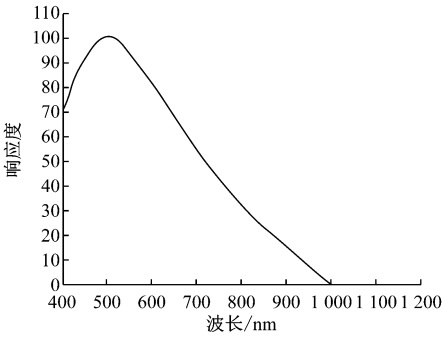


图 1 CCD 图像传感器光谱响应曲线

Fig. 1 Spectral response curve of CCD image sensor

1.1.2 激光光束调整

半导体激光二极管出射光束为椭圆形高斯光束,快轴发散角为 30~40°,慢轴发散角为 5~10°,且光束呈不规则的长条状,在目标物体表面形成明暗相间的干涉条纹,光束不均匀^[12]。因此,需要通过光学器件对激光光束进行调整,流程如图 2 所示。

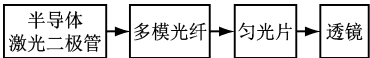


图 2 激光光束调整流程

Fig. 2 Laser beam adjustment process

首先,采用多模光纤对半导体激光二极管发出的红外光束进行耦合整圆,同时进行部分匀化处理,但仍存在明暗相间的干涉条纹,导致图像明暗不均;然后,通过全息曝光制作成的散射匀光片对光束再次匀化,使半导体激光二极管出射光束形状规则、光照强度均匀;最后,根据照射距离选择合适的透镜来调整发散角,使光束照射在指定范围。

1.2 本质安全型驱动电路设计

半导体激光二极管采用电流注入式激励,具有耐压低、内阻小等特点,容易受静电击穿,突变电流和过电流会使半导体激光二极管性能迅速下降,因此在半导体激光二极管驱动电路的基础上添加输入、输出保护电路,构成本质安全型驱动电路,如图 3 所示。

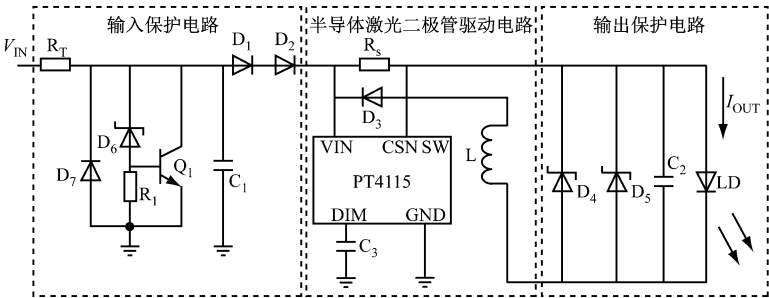


图 3 本质安全型驱动电路

Fig. 3 Intrinsically safe driving circuit

1.2.1 半导体激光二极管驱动电路

半导体激光二极管驱动电路分为电压驱动型电路和电流驱动型电路。根据半导体激光二极管的特性,电压驱动型电路电压的微小变化会引起电流巨大变化,严重影响半导体激光二极管使用寿命,因此采用恒流驱动电路。DC/DC 变换器具有体积小、功耗低和使用方便等优点^[13-14],基于 DC/DC 变换器芯片 PT4115 设计半导体激光二极管驱动电路。

PT4115 是连续电感电流导通模式的降压恒流源,输入电压为 6~30 V,输出电流最大可达 1.2 A,输出电流精度为 5%,内部具有过流、欠压和开路保护功能,效率高达 97%,支持 PWM 和模拟调光。调光通过 DIM 引脚实现:以 PWM 方式调光时,输出电流 $I_{OUT} = \frac{0.1V_{pulse}D}{2.5R_s}$,其中 V_{pulse} 为输入的 PWM 电平电压 ($0.5\text{ V} \leq V_{pulse} \leq 2.5\text{ V}$), D 为 PWM 占空比;以模拟方式调光时,当 DIM 引脚电压低于 0.3 V 时输出电流为 0,高于 2.5 V 时以最大电流输出。由于连续地开关半导体激光二极管会缩短其使用寿命,所以采用模拟方式调光,电容 C_3 一端接地,另一端连接 DIM 引脚并通过 PT4115 的内部电阻拉高至 5 V,以最大电流输出驱动半导体激光二极管。

1.2.2 输入保护电路

电源输入端并联低等效串联电阻的滤波电容 C_1 ,减少输入电流对半导体激光二极管驱动电路的冲击。根据本质安全设计原则,取安全系数为 1.5,则最大输入电压 $V_{IN} = 12 \times 1.5\text{ V} = 18\text{ V}$ 。由 I 类电容电路最小点燃电压曲线可知,18 V 对应的最大电容为 90 μF ,因此滤波电容 C_1 的最大值应低于 90 μF ,图 3 中 C_1 采用 47 μF 的电解电容。

为避免输入电压大于 18 V,造成实际电容大于理论安全电容,输入端应具有过压保护功能—— $R_T, D_1, D_2, D_6, D_7, R_1$ 和 Q_1 构成双重输入过压保护电路。

为防止输入端反接,在输入端串联防反接二极管 D_1 和 D_2 ,选用压降较低的肖特基二极管,以降低电路损耗。同时, D_1 和 D_2 起到隔离输入滤波电容和 PT4115 输入端寄生电容的作用,防止叠加能量大于最小点燃能量。

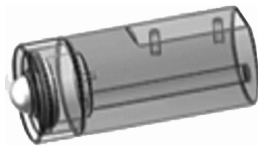
1.2.3 输出保护电路

半导体激光二极管容易受静电和外界干扰,导致电流尖峰脉冲,在其两端并联 2 个 TVS 管 D_4 和 D_5 ,当反向电压超过额定值时, D_4 和 D_5 击穿以保护半导体激光二极管。半导体激光二极管两端并联的电容 C_2 可滤掉高频干扰,1 μF 的电容可使输出纹

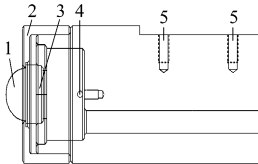
波减少约 1/3,适当增加电容可抑制更多纹波,但电容过大会影响启动时间和调光频率,因此取 $C_2 = 1\text{ }\mu\text{F}$ 。

1.3 散热装置设计

半导体激光二极管对温度非常敏感,其波长和光功率等性能随温度变化很大,导致半导体激光二极管抽运效率下降,输出功率不稳,影响使用寿命,因此需要设计散热装置,加快半导体激光二极管的热量散发^[15-16]。选用散热性能较好的铝材料制作长 70 mm、直径 30 mm 的筒形散热装置,如图 4 所示。转动调焦筒可调节透镜与半导体激光二极管的距离,从而调整辅助光源的照射距离;通过螺丝定位孔将散热装置与视频采集设备外壳连接,加快散热速度。



(a) 3D 效果



(b) 剖面

1—透镜; 2—调焦筒; 3—匀光片;
4—940 nm 半导体激光二极管; 5—螺丝定位孔

图 4 半导体激光二极管散热装置

Fig. 4 Heat dissipation device of semiconductor laser diode

2 测试验证

本质安全型低照度视频采集激光辅助光源在煤安认证过程中需要进行测试,测试装置如图 5 所示。将激光辅助光源与型号为 BG0601C 的 CCD 图像传感器安装在同一中垂线上,使激光辅助光源发出的光线经过目标物体反射后被 CCD 图像传感器获取。



图 5 测试装置

Fig. 5 Test device

(1) 激光输出能量密度测试。不同数量匀光片下激光输出能量密度见表 1,可看出添加 2 片及以上数量的匀光片时,激光输出能量密度满足 GB

3836.1—2010《爆炸性环境 第 1 部分:设备 通用要求》第 6.6 条要求——连续激光输出能量密度不得超过 $500\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

表 1 不同数量匀光片下激光输出能量密度

Table 1 Laser output energy density under different number of smoothing glass

匀光片数量/片	激光输出能量密度/ $(\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2})$
0	1 200
1	800
2	480
3	340

(2) 本质安全型驱动电路电火花测试。测试时将半导体激光二极管两端短路,未点燃可燃性气体,满足本质安全设计要求。

(3) 照射距离测试。在低照度环境下不同照射距离时,对同一目标物体进行图像采集,利用 Matlab 对采集的图像进行峰值信噪比分析(峰值信噪比越大,表示图像质量越好),结果见表 2。可看出照射距离不超过 20 m 时,满足人眼可辨别图像的峰值信噪比大于 15.8 dB 的要求。

表 2 不同照射距离下采集图像峰值信噪比

Table 2 Peak signal to noise ratio of collected images under different irradiation distances

照射距离/m	峰值信噪比/dB
5	29.235
10	26.674
15	21.167
20	16.345
25	13.786

(4) 温度测试。测试环境温度为 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$,激光辅助光源持续工作 1 h,用红外测温仪测得半导体激光二极管散热装置的表面温度为 $48.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,满足 GB 3836.1—2010 第 26.5.1.3 条和 GB 3836.4—2010《爆炸性环境 第 4 部分:由本质安全型“i”保护的设 备》第 10.2 条要求——I 类电器设备的最高温度不超过 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 功耗测试。辅助光源输入端接至 12 V 直流电源,每隔 10 min 测量输入电流并计算功耗,结果见表 3。可看出随着辅助光源工作时间增加,功耗趋于稳定且小于 3 W。

3 结语

从光路、本质安全型驱动电路和散热装置 3 个方面介绍了本质安全型低照度视频采集激光辅助光源的设计方案。测试结果表明,该辅助光源照射距

表 3 功耗测试结果

Table 3 Power consumption test results

时间/min	电流/mA	功耗/W
10	180	2.16
20	191	2.30
30	208	2.50
40	221	2.65
50	236	2.83
60	232	2.78

离达 20 m、功耗小于 3 W,持续工作表面温度低于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。目前该激光辅助光源已应用于 KBA12 矿用本质安全型网络摄像机中,在有辅助光源情况下,该网络摄像机采集范围大且视频清晰。

参考文献(References):

[1] 牛剑峰. 无人工作面智能本安型摄像机研究[J]. 煤炭科学技术,2015,43(1):77-80.
NIU Jianfeng. Research on intelligent intrinsically safe camera for unmanned fully-mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology,2015, 43(1):77-80.

[2] 刘琨. 矿用摄像机的应用及最低照度测试方法的改进 [J]. 电气防爆,2017(3):14-17.
LIU Kun. Application of mine camera in underground and improvement of minimum illuminance testing method[J]. Electric Explosion Protection, 2017 (3): 14-17.

[3] 张祥忠,李宗为,张磊. 矿用视频监控切换器的设计 [J]. 煤矿安全,2013,44(6):112-114.
ZHANG Xiangzhong, LI Zongwei, ZHANG Lei. Design of mine-used video monitoring switcher [J]. Safety in Coal Mines,2013,44(6):112-114.

[4] 国继征,尹强,别文明. 矿用移动式视频监控系统的自主研制与应用[J]. 山东煤炭科技,2014(2):177-178.
GUO Jizheng, YIN Qiang, BIE Wenming. Independent development and application of mine mobile video monitoring system [J]. Shandong Coal Science and Technology,2014(2):177-178.

[5] 艾磊. 近红外激光主动夜视照明系统总体设计的方法 [J]. 照明工程学报,2018,29(3):62-65.
AI Lei. Overall design method of near infrared laser active night vision lighting system [J]. China Illuminating Engineering Journal,2008,29(3):62-65.

[6] 马亚运,韩绍坤,翟宇,等. 一种基于光纤阵列的激光照明方法[J]. 光学技术,2018,44(2):201-205.
MA Yayun, HAN Shaokun, ZHAI Yu, et al. An illumination method based on fiber array[J]. Optical Technique,2018,44(2):201-205.

[7] 赵会富. 激光照明系统匀光技术的研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版),2017,40(4):14-18.
ZHAO Huifu. Research on smoothing technology of laser illumination system[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology (Natural Science Edition),2017,40(4):14-18.

[8] 刘韬,胡玥,董健,等. 激光主动照明光学系统设计[J]. 中国光学,2016,9(3):342-348.
LIU Tao,HU Yue,DONG Jian,et al. Design of laser active illumination optical system[J]. Chinese Optics, 2016,9(3):342-348.

[9] 袁林成,蒋书波,宋相龙,等. 半导体激光器驱动电路的研究与设计[J]. 电子器件,2015,38(6):1287-1291.
YUAN Lincheng,JIANG Shubo,SONG Xianglong, et al. Research and design of driving circuit for semiconductor laser[J]. Chinese Journal of Electron Devices,2015,38(6):1287-1291.

[10] 费冬,姚健. 激光夜视摄像机关键技术分析[J]. 铁路技术创新,2010(2):33-36.
FEI Dong,YAO Jian. Analysis of key technologies of laser night-vision camera [J]. Railway Technical Innovation,2010(2):33-36.

[11] 罗春霞,陈海英. 半导体激光器的实验特性分析及识别[J]. 激光杂志,2018,39(10):156-159.
LUO Chunxia, CHEN Haiying. Analysis and recognition of experimental characteristics of semiconductor laser[J]. Laser Journal,2018,39(10):156-159.

[12] 裴楠楠,徐国范,宋玲玲. 带激光辅助照明的微光夜视仪的研制[J]. 激光与红外,2005,35(12):938-941.
PEI Nannan,XU Guofan,SONG Lingling. Research of night vision system with laser supplementary illumination[J]. Laser & Infrared, 2005,35(12):938-941.

[13] 张小红,欧浩源. 面向大功率 LED 电源驱动的 PT4115 控制系统[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2014,32(4):62-65.
ZHANG Xiaohong,OU Haoyuan. Large power LED driven PT4115 control system[J]. Journal of Guizhou Normal University(Natural Sciences),2014,32(4):62-65.

[14] 于莎莎,吴国瑞. 半导体激光二极管的电流调制与驱动[J]. 电测与仪表,2015,52(22):124-128.
YU Shasha,WU Guorui. Current modulation and driven for laser diode[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2015,52(22):124-128.

[15] 王易,徐祥柱,黎兆宏,等. 一种用于 LED 驱动的恒流控制电路设计[J]. 微电子学,2012,42(2):229-232.
WANG Yi,XU Xiangzhu,LI Zhaohong,et al. Design of constant-current controlled circuit for LED driver [J]. Microelectronics,2012,42(2):229-232.

[16] 井红旗,仲莉,倪羽茜,等. 高功率密度激光二极管叠层散热结构的热分析[J]. 发光学报,2016,37(1):81-87.
JING Hongqi,ZHONG Li,NI Yuxi,et al. Thermal analysis of high power density laser diode stack cooling structure [J]. Chinese Journal of Luminescence,2016,37(1):81-87.