

星载激光器电源遥控遥测系统的设计与实现

宋 博, 郑 伟, 李明山, 冯 文

(北京空间机电研究所, 北京 100094)

摘 要: 星载激光测距通过发射机射出稳定度较高的脉冲激光实现对目标物的距离测量, 其中涉及到激光器的设计与应用, 尤以激光器电源功能和性能的实现最为重要。因此, 实现星载激光器电源的外部控制和实时状态量的采集变得尤为重要。在基于 FPGA 技术基础上, 利用 AC/DC 电源组件、遥控遥测组件和显示控制组件, 设计出一种可以对激光器电源提供外时统信号、调 Q 信号、AD/DA 控制信号, 从而实现激光器电源状态量的实时遥测和 LD 电流信号、调 Q 信号的实时调节控制的系统, 该系统可以设置激光重频和控制激光出射时刻, 也可以实时显示激光脉冲次数和激光器电源的相关遥测量, 同时对该系统涉及到的设计与实现进行了详细阐述, 并对高可靠性的激光器电源遥控遥测系统性能和功能的进一步提升提出了改进方案。

关键词: 激光器电源; 遥控遥测系统; FPGA

中图分类号: TN249 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201645.1020003

Design and realization of remote control and telemetry system of space-borne laser power supply

Song Bo, Zheng Wei, Li Mingshan, Feng Wen

(Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing 100094)

Abstract: Space-borne laser ranging could measure the distance between laser range finder and detection target through the transmitter emitted by a high degree of stability of laser pulse, which related to the design and application of laser. In particular, in order to achieve the function and performance of laser power supply was the most important. Therefore, the realization of the external control and real-time status of the amount of the acquisition become particularly important in space-borne laser power supply. Based on FPGA technology, by use of AC/DC power supply module, remote telemetry components and display control module, a system was designed to provide external signal, Q-signal and AD/DA control signal of the laser power supply, in order to achieve the real-time telemetry of the status of amount of laser power supply, and the real-time adjustment and control of LD current signal and Q-signal. The system could be set to control the laser repetition rate and laser emission times, can also be related to real-time display of the number of the laser repetition rate and laser emission times, could also be related to real-time display of number of the laser pulses and the remote measurement of the laser power supply. At the same time, the design and implementation of the system which involved in laser power supply were described in details, and they would further propose the improvement program of high reliability performance and functionality, in order to enhance remote control and telemetry system of the laser power supply.

Key words: laser power supply; remote control and telemetry system; FPGA

收稿日期: 2016-02-15; 修订日期: 2016-03-15

作者简介: 宋博(1987-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事激光信息处理领域的研究。Email: bobosongmm@126.com

0 引言

目前在星载激光测距中,测距仪可以分为发射机、接收机和终端信息处理机三大部分。接收机指的是靠近发射镜头附近用于采集主波信号的 PIN 和后端的模拟电路,以及靠近接收镜头附近用于采集回波信号的 APD 和后端接收放大模拟电路;终端信息处理机指的是为接收机提供时统信号以及控制信号,并采集接收机的状态量(包括电压、电流、温度),从而监测接收机工作状态,还有为发射机提供外触发信号、LD 驱动信号和调 Q 信号以及控制信号,并采集发射机的状态量(包括电压、电流、温度),从而监测发射机工作状态;发射机主要包括激光器电源(激励源)和激光器。其中激光器多采用半导体激光器,其具有小型高效、结构简单、高可靠性、波长单一、吸收效率高等优点^[1-2],在航空、航天领域得到了越来越广泛的应用,尤以在星载激光测距、激光测绘和激光三维成像雷达等领域的应用越来越多。而激光器电源是发射机的重要组成部分,其性能的好坏直接影响到整个发射机乃至测距仪的技术指标,所以实现对激光器电源的外部控制和实时状态量的采集变得尤为重要。最初的激光器电源主要由直流线性电源和 RC 充电电路组成,这种方式效率较低,体积和重量不适用于星上载荷^[3-4]。有些厂家利用专用的驱动芯片和微处理器实现激光器电源的控制,确实能部分提高激光器电源的性价比,简化硬件结构,增强整机的自动化程度,但随之而来的问题是如何实现实时监测激光器电源的工作状态,如何在外场试验过程中方便快捷的对激光器电源实现实时控制^[5-7]。

文中主要详细介绍一种星载激光器电源的遥控遥测系统,通过利用 AC/DC 电源组件、遥控遥测组件和显示控制组件,设计出可以对激光器电源提供外时统触发信号、调 Q 信号、AD/DA 控制信号,从而实现激光器电源状态量的实时遥测和 LD 信号的脉宽幅值、调 Q 信号与 LD 信号的脉冲延时等实时调节控制的系统,该系统可以设置激光重频和控制激光出射时刻,也可以实时显示激光脉冲次数和激光器电源的相关遥测量。

1 激光器电源概述

激光器电源作为驱动激光器出射激光的激励源,

可以分为模拟控制方式和数字控制方式。模拟控制方式多采用分立元器件搭建出模拟电路,用于调节电压、电流等,这种电路的缺点是电路结构复杂,需改动外接的阻容器件从而调整电源参数,现场调试尤为不方便。数字控制方式大体可分为 FPGA(星载多采用 Xilinx 公司的 FPGA)控制系统和单片机控制系统,主要为了实现电源的数字化逻辑控制,这种电路相对来说较为简单,具有较强的可扩展功能,可通过软件编程实现参数调整,其优点是电路集成度高,可编程控制^[8-10]。

依据功能和性能指标要求,激光激励电源主要由四部分组成:充电电路、LD 温控电路、充放电组件以及信号遥测与触发时序控制电路组成,其中信号遥测与触发时序控制电路包含在激光器电源遥控遥测系统中,其功能组成框图如图 1 所示。

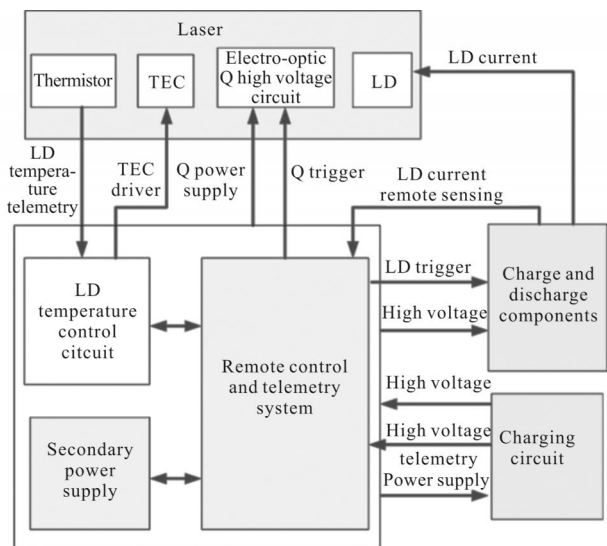


图 1 激光激励电源功能组成示意图

Fig. 1 Schematic of laser excitation supply functional components

激光激励电源各个功能单元模块相互独立,同时相互之间又通过信号遥测与触发控制电路有机地联系在一起,使之协调工作。激光器电源主要实现功能如下:

(1)为激光器的泵浦光源 LD 提供驱动,泵浦光源 LD 驱动电路采用大容量储能电容储能,然后通过大电流电子开关斩波对 LD 负载进行放电;

(2)实现激光器 LD 的温度监测和控制,泵浦光源 LD 温控电路通过对 LD 的温度采样、转换,与预先设定的温度点进行比较,然后通过 PID 运算,动态调整驱动 TEC 的工作电流,实现对 LD 工作温度的精确控制;

(3)为激光器腔体的电光调 Q 晶体提供驱动电源,

电光调 Q 驱动高压电路采用通过高压高速开关对高压电容快速导通形成高压窄脉冲电压信号,然后加匹配脉冲变压器达到所需的脉冲电压。

激光器电源与遥控遥测系统之间的工作关系如下:

(1)遥控遥测系统为激光器电源送入 LD 触发信号和调 Q 信号,启动 LD 驱动电路以及调 Q 驱动电路按照一定的工作时序工作;

(2)遥控遥测系统为激光器电源送入 AD_CLK、AD_CS 和 AD_DATAIN 控制信号实现对激光器电源各个遥测量进行采集,实现 LD 电流、LD 电压和 TEC 的温度以及各个工作电压值的实时监测;

(3)遥控遥测系统监测激光器电源的电压、电流是否超过额定阈值,在超过阈值时实现激光器电源内部供电的自主关断。

激光器电源通电后,首先是充电电路和温控电路开始工作,信号遥测与触发控制电路加电,此时 LD 放电电路与电光调 Q 驱动高压电路处于待机状态。工作流程如图 2 所示。当信号遥测与触发控制电路接收到遥控遥测系统送入的触发信号时,输出 LD 驱动电流脉冲,并为调 Q 晶体提供驱动高压,当接收到遥控遥测系统的 AD 控制指令时,响应遥控遥测系统对发射机的遥测操作,实时给激光器电源遥控遥测系统输出串行信号,当无外部触发信号送入,

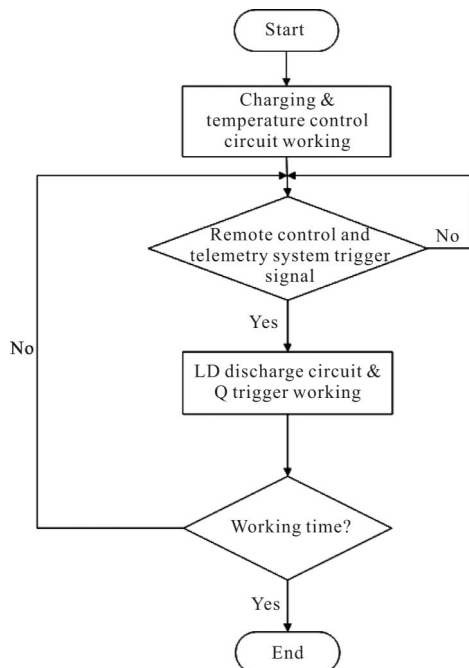


图 2 激光激励电源工作流程

Fig.2 Workflow of laser excitation power

LD 和调 Q 停止工作。在整个上电过程中,温控电路一直工作,保证 LD 环境温度的稳定。

2 AC/DC 组件设计与实现

遥控遥测系统的 AC/DC 供电组件选用朝阳电源的 4NIC-Q 20 W~20 000 W 轻系列开关电源,其特点为低噪声、体积小、宽电压输入范围以及良好的电磁兼容性,工作频率为 100 kHz~3 MHz,可实现的功能包括 TTL 电平开关控制、输出电压大范围可调、电压信号控制输出电压、故障告警等,为遥控遥测系统中提供稳定的 220 V 交流电,转换成电子箱内板载组件所需的二次电源。

AC/DC 组件的电参数如表 1 所示。

表 1 AC/DC 组件的电参数

Tab.1 Electrical parameters of AC/DC components

Efficiency	≤95%
Input voltage	110V/220V/380VAC±20% Single-phase/Triple-phase
Frequency	50 Hz/400 Hz
Output voltage	DC0~220 V
Output current	≤1 000 A
Output power	≤20 000 W
Voltage precision	≤1% or 100 mV(Taking max)
Voltage regulation	≤0.5% or 100 mV(Taking max)
Current regulation	≤1% or 100 mV(Taking max)
Compensation function	≥0.5 V
Ripple	Vrms≤0.1% or 10 mV(Taking max) Vp-p≤1% or 100 mV(Taking max)
Over current protection	Limit flow/Shut off/Back type

在遥控遥测系统中 AC/DC 组件置于电子箱底板上,通过螺钉紧固,贴于金属底板利于散热,AC/DC 组件的输入引脚通过引线与壳体对外的三相电源插座相连(里面含有保险丝),通过外部电源线实现 220 V 供电,AC/DC 组件的输出引脚同样通过引线与板载二次电源的输入接口相连,实现遥控遥测系统中遥控遥测组件和显示控制组件的二次电源供电。

3 遥控遥测组件设计与实现

激光器电源对遥控遥测组件的技术要求如下:

(1)实现对激光器电源参数和时序的调整功能,包括充电电流、充电电压、LD 电流脉冲宽度、调 Q

驱动高压、LD 驱动时序、调 Q 驱动时序等；

(2)为激光器电源提供脉宽约 50 μs,周期 1 s 的外时统激光触发信号(频率 1 Hz 为例)；

(3)为激光器电源提供脉宽约 200~220 μs 的 LD 电流驱动信号；

(4)为激光器电源提供脉宽约 50 μs 的调 Q 信号,调 Q 信号上升沿在 LD 电流驱动信号下降沿半宽处提前产生；

(5)实现对激光器电源和激光器内部各状态量采集遥测,包括温度、电压和电流等模拟量,供电状态、储能电容高压充电通道过载状态和环回测试状态等数字量。

在遥控遥测系统中遥控遥测组件是其中的核心组件,主要实现接收上位机发送的遥控指令包,解析出指令包内容协调调度激光器电源的工作时序和各组件的工作参数调整,收集并传输激光器电源的遥测信息,通过遥测数据包反馈给上位机,实现对激光器电源的实时控制和监测。

遥控遥测组件主要完成以下功能：

(1)完成激光器电源触发工作流程,实现 SPI 总线数据通信；

(2)完成激光器电源内部遥控遥测通道的 SPI 总线数据通信参数设置；

(3)接收上位机指令,反馈激光器电源工作参数及状态；

(4)激光发射脉冲计数功能。

遥控遥测组件由 FPGA 最小系统、二次电源供电电路、指令控制接口电路、激光器电源遥控遥测接口电路、电平转换电路和外围测试电路等部分组成。

FPGA 最小系统采用 Xilinx 公司 Spartan6 系列的 FPGA 芯片。基于 FPGA 最小系统,遥控遥测组件主要还有接口驱动模块、二次电源模块、电平转换模块、复位模块和工艺测试模块等组成。由上位机发送的遥控指令首先由接口驱动模块进行接收,通过电平转换模块送入 FPGA,完成数据总线传输任务。

FPGA 根据数据总线传输的数据完成指令解析,根据解析内容完成对激光器电源 AD 模块进行控制,对部分遥测量进行遥测观察,如果遥测值正常,激光器电源上电,遥控遥测组件对激光器电源进行参数调整和时序控制,主要实现对激光器电源 LD

电流信号脉宽、时序以及调 Q 信号与 LD 电流时序关系控制,同时控制激光器电源组件的 AD 实现状态量的实时采集遥测,控制激光器电源的工作状态与工作时序。遥控遥测组件的功能图如图 3 所示。

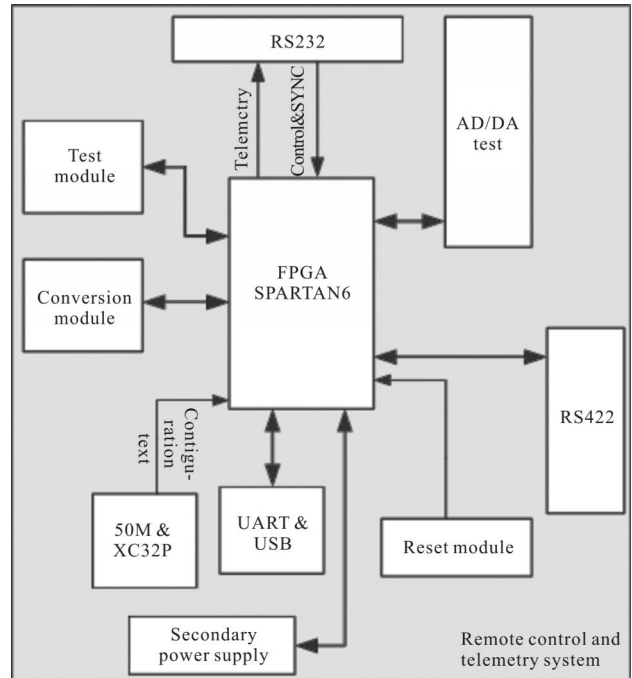


图 3 遥控遥测组件功能组成框图

Fig.3 Functional block diagram of remote control and telemetry system

4 显示控制组件设计与实现

显示控制组件在遥控遥测系统中是对外最直观的监测界面,在显示控制组件上面可以实时监测激光器电源的遥测量和激光出射脉冲的次数,实时遥测量的监测由两个共阴极 7 位数码管实现,分别显示激光器两路 TEC 的温度遥测和激光器电源 LD 电压和电流的遥测,激光出射脉冲次数由另外一个共阴极 7 位数码管实现,计数从 0 开始,1 为激光器发射第一个能量脉冲,激光器持续工作计数器持续累加,计数速率和激光器的发射频率一致。同时显示控制面板可以实时控制激光发射的重频和发射时刻,为了防止激光误触发造成不必要的伤害,在拨码开关拨到对应的出光频率值时,还需按下触发按键才会按照设定的特定频率发射激光,同时激光出光指示灯会根据出光频率闪烁,频率可设定的频率值为 1、2、4、8 Hz。在显示控制组件上面还有一个全局复位按键和遥控遥测系统电源指示灯,用来出现状况

进行系统全局复位和监控系统电源供电是否正常,同时还包括两路串口通讯的收发指示灯,进行对通讯传输的实时监控。显示控制组件功能组成框图如图 4 所示。

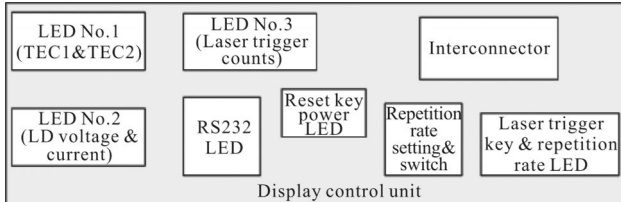


图 4 显示控制组件功能组成框图

Fig.4 Functional block diagram of the display control unit

5 设计结果

激光器电源遥控遥测系统由 AC/DC 组件、遥控遥测组件和现实控制组件组成,系统如图 5 所示电子箱,为了便于外场试验,配备了提手便于移动。



图 5 遥控遥测系统整体组成图

Fig.5 Overall composition diagram of remote control and telemetry system

遥控遥测系统对外接口如图 6 和图 7 所示,包括与激光器电源通讯的 J14 接口,与上位机通讯的 DB9 串口和负责数据传输的常规 USB 接口,以及供电的电源插座和仿真调试时用到的 SMA 接口。

遥控遥测系统显示界面如图 8 所示,包括数码



图 6 遥控遥测系统与上位机和激光器电源接口图

Fig.6 PC and laser power supply connector of remote control and telemetry system

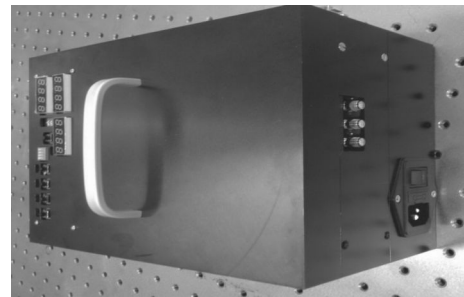


图 7 遥控遥测系统供电和 SMA 接口图

Fig.7 SMA and power supply connector of remote control and telemetry system

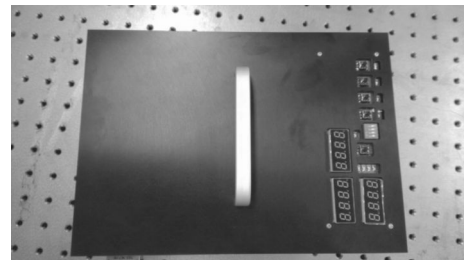


图 8 遥控遥测系统显示界面图

Fig.8 Display interface of remote control and telemetry system

管、按键、拨码开关和相应的指示灯。图 9 和图 10 是遥控遥测系统控制激光器电源和激光器以 1 Hz 频率出光时的工作状态。



图 9 遥控遥测系统控制激光器电源和激光器以 1 Hz 频率出光图(计数 9 次)

Fig.9 Remote control and telemetry system control the laser power and laser at 1 Hz frequency(counting 9)



图 10 遥控遥测系统控制激光器电源和激光器以 1 Hz 频率出光图(计数 11 次)

Fig.10 Remote control and telemetry system control the laser power and laser at 1 Hz frequency(counting 11)

由显示界面可以看到电源指示灯亮起,显示系统供电正常,拨码开关拨到了 1 Hz 的档位,按下 1 Hz 对应的触发按键激光器出射激光,指示灯按照出射激光的频率闪烁,串口通讯指示灯正常闪烁显示系统与上位机通讯正常,数码管显示激光器电源的实时遥测量和激光发射脉冲计数(1 Hz 频率)。

图 11 和图 12 是遥控遥测系统控制激光器电源和激光器以 2 Hz 频率出光时的工作状态。



图 11 遥控遥测系统控制激光器电源和激光器以 2 Hz 频率出光图(计数 22 次)

Fig.11 Remote control and telemetry system control the laser power and laser at 2 Hz frequency(counting 22)



图 12 遥控遥测系统控制激光器电源和激光器以 2 Hz 频率出光图(计数 30 次)

Fig.12 Remote control and telemetry system control the laser power and laser at 2 Hz frequency(counting 30)

由显示界面可以看到电源指示灯亮起,显示系统供电正常,拨码开关拨到了 2 Hz 的档位,按下 2 Hz 对应的触发按键激光器出射激光,指示灯按照出射激光的频率闪烁,可以看到闪烁频率明显加快,串口通讯指示灯正常闪烁显示系统与上位机通讯正常,数码管显示激光器电源的实时遥测量和激光发射脉冲计数(2 Hz 频率)。

6 结论

文中详细说明了星载激光器电源的遥控遥测系统的设计和研发,实际实现的基于 FPGA 的激光器电

源遥控遥测系统达到了最基本的设计要求。但是文中只是智能型激光器电源遥控遥测系统研发的初步阶段,许多技术尚未运用,有待进一步升级。以后产品的改进和研发可沿以下方向进行:改善人机界面,可以将现阶段的对外显示界面设计的更人性化,采用 LCD 液晶显示器或者升级为触摸屏,方便用户与遥控遥测系统的信息交流,使操作更加便捷,这也是激光器电源行业发展的必然趋势;增加远程控制模块,即通过互联网将激光器电源和激光器运行的实时状态和机器故障代码传输到地面监测设备,便于设计人员对机器的维护,可以极大的降低维修费用;进一步提高系统的集成度和可靠性,可以通过改进电路和更换集成度更高的器件来改良目前的电路系统,从而达到缩小箱体体积、降低系统能耗、缩短开机时间、优化系统性能的目的,同时可以采用具有高等级的相关器件进行设计,为后续的星载遥控遥测系统做铺垫。

参考文献:

- [1] Yan Fanjiang, Zheng Yongchao, Tao yuliang. Analysis and prospects of laser technology of space-borne range measurement system [J]. *Spacecraft Recovery & Remote Sensing*, 2012, 33(4): 70-77. (in Chinese)
- [2] Hou Qingzhi, Xiong Jijun, Cao Yanchang. A High-stability power supply for semiconductor lasers[J]. *Electronics Optics & Control*, 2014, 21(7): 86-89. (in Chinese)
- [3] Yang Linsen, Liu Jun. The design about the semiconductor laser driver for special request [J]. *Laser Journal*, 2006, 27(6): 78-79. (in Chinese)
- [4] Yuan Jie, Chen Wenlan, Qi Xianghui, et al. Design for power supply and frequency stabilization of ECL[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(S3): 115-119. (in Chinese)
- [5] Xu Wenhai, Yang Mingwei, Tang Wenyan. Development of multifunctional laser diode driver [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, 33(5): 465-468. (in Chinese)
- [6] Xu Wenhai, Yang Mingwei, Zhu Wei, et al. Development of a laser diode driver based on FPGA [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, 34(3): 368-372. (in Chinese)
- [7] Cong Menglong, Li Li, Cui Yansong, et al. Design of high stability digital control driving system for semiconductor laser [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, 18(7): 1629-1636. (in Chinese)
- [8] Dang Jingmin, Zhai Bing, Gao Zongli, et al. Nanosecond

- driver for multiple pulse-modulated Infrared quantum cascade lasers [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(9): 2209–2216. (in Chinese)
- [9] Wang Heqi, Meng Fanjiang, Guo Lihong, et al. High precision data acquisition of control system for high-power TEA CO₂ laser based on DSP [J]. *Chinese Optics*, 2011, 04(4): 411–417. (in Chinese)
- [10] Zhang Xingliang, Guo Lihong, Zhang Chuansheng, et al. Design of high-voltage pulse trigger system for CO₂ laser[J]. *Chinese Optics*, 2012, 5(4): 416–422. (in Chinese)