

# CAN 总线在飞机交流电源功率控制器中的应用

## Application of Aircraft AC Power Control Unit Based on CAN Bus

西北工业大学自动化学院 吴小华 蔡芃芃 陈兵彬

**[摘要]** 交流电源功率控制器(APCU)是实现飞机电气负载控制与电源自动化管理的重要组成部分。系统采用CAN总线设计实现了APCU与供电系统处理机和机电综合管理系统的通信。利用流和管道技术编写了基于DSP/BIOS的CAN总线的设备驱动程序。为了满足通信需求,本论文中共设计了2个CAN接口,一个为F2812内置的CAN接口模块,另一个为通过SJA1000的扩展CAN接口模块以备用。通过实际的通信试验,结果表明系统通信运行可靠,数据传输准确,符合预期的设计目标。

**关键词:** 交流电源功率控制器 CAN总线 SJA1000 DSP/BIOS

**[ABSTRACT]** AC Power Control Unit (APCU) is an important component in fulfilling the automation of aircraft electrical load control and management of power automation. CAN bus is designed for communicating between APCU and electrical management system. CAN bus device drive is programmed with flow and pipe technology based on DSP/BIOS. Two CAN modules are designed to meet the requirement, one for F2812 inner CAN interface module and the other for expanded CAN interface module based on SJA1000 for standby. After communication test, the result proves reliably run, exactly transmission and objectives in line with expectations.

**Keywords:** APCU CAN Bus SJA1000 DSP/BIOS

交流电源功率控制器(APCU)是实现飞机电气负载控制与电源自动化管理的重要组成部分。它完成交流配电中心的交流发电机汇流条供电转换控制、交流一次配电汇流条供电转换控制以及由交流一次配电汇流条直接配电负载的供电自动管理,并对交流配电中心状态进行监测,通过电气数据总线向供电系统处理机(PSP)传送交流配电中心的数据信息并且接收PSP发送的信息命令并执行<sup>[1]</sup>。

系统采用CAN总线设计实现了APCU与供电系统处理机和机电综合管理系统的通信。在逻辑电路中采

用CPLD实现对系统数字量状态的检测及通信芯片的逻辑控制等,详细编写了相应的硬件逻辑控制程序。利用流和管道技术编写基于DSP/BIOS的CAN总线的设备驱动程序。

### 1 APCU 功能及结构介绍

APCU是飞机电气系统控制保护的重要部件,负责整个APDC(飞机供电系统)的管理和控制,包括对主交流汇流条的供电和交流大功率负载的控制、状态监测和信号检测、数据通信、自检测(BIT),完成数据/信号综合处理、故障(信息)记录等。需采用嵌入式计算机实现其功能;执行单元主要由接触器、继电器(视需要)、断路器等配电器件组成。APCU的结构如图1所示。

基于DSP(数字信号处理器)的APCU应具有6项功能:

- (1)交流主汇流条的供电转换控制;
- (2)大功率交流负载的供电控制;
- (3)交流配电中心的工作状态监测;
- (4)自检测(BIT);
- (5)数据通信接口;
- (6)数据和信号的综合处理及故障信息记录等。

### 2 CAN 总线通信模块硬件电路设计

CAN总线是为解决现代汽车中众多的控制与测试仪器之间的数据交换而开发的串行数据通信协议,其通信介质是双绞线、同轴电缆或光导纤维。CAN总线的数据通信具有突出的可靠性、实时性和灵活性。

为了满足APCU与供电系统处理机和机电综合管理系统的通信,共设计了2个CAN接口,一个为F2812内置的CAN接口模块,另外一个为通过SJA1000的扩展CAN接口模块以备用。将F2812的数据、地址总线通过CPLD连接到SJA1000的地址数据复用总线上,通过CPLD完成SJA1000的数据与地址总线的分时复用。

#### 2.1 F2812 内置 CAN 接口模块电路

F2812内置eCAN模块由CAN协议内核(CPK)及信息控制器组成。CPK把所有CAN总线上接收到的符合CAN协议的信息和译码发送至接收缓冲器,并能按

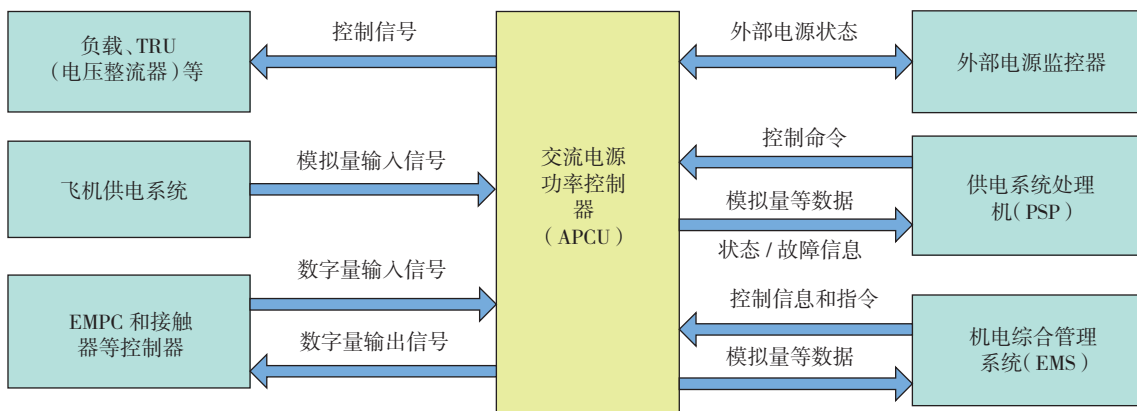


图1 APCU总体结构

Fig.1 General structure of APCU

照 CAN 协议发送信息到 CAN 总线上<sup>[2]</sup>。

图2为CAN总线接口电路图。CAN控制器的输出引脚CANTX接到SN65HVD230的数据输入端T,可将CAN模块发送的数据传送到CAN网络中;而CAN模块的接收引脚CANRX与SN65HVD230的数据输出端R相连,用于接收数据。SN65HVD230方式选择端口RS通过跳线和一端接地的斜率电阻器连接,通过硬件实现3种工作模式的选择。接口在收发和控制器之间采用磁隔离芯片ADuM1201实现电平的电气隔离。

## 2.2 扩展CAN接口模块设计

扩展CAN接口选用飞利浦公司的SJA1000作为CAN控制器。SJA1000采用数据和地址线复用,系统采用CPLD实现F2812和CAN控制器之间的逻辑和时序的匹配,将F2812的地址线与数据线作为CAN控制器的数据地址复用线,用DSP的地址线A14作为地址、数据选择线。A14=1时,地址有效;A14=0时,数据有效,即用奇数地址传送地址,用硬件实现非多路复用方式到多路复用方式的转换。

(1)SJA1000与F2812接口信号与时序分析。

CAN控制器SJA1000提供的微处理器接口方式

为典型INTEL或MOTOROLA地址数据多路复用总线模式,主要信号有地址数据信号AD7~AD0、地址选通信号ALE、片选信号CS、读信号RD、写信号WR、模式选择信号MODE。当MODE=1时,为INTEL模式;当MODE=0时,为MOTOROLA模式。本课题描述的总线模式为INTEL模式<sup>[3]</sup>。AD7~AD0引脚在ALE有效时,传送地址信号,在RD或WR有效时,传输数据信号。

(2)设计与实现。

用DSP控制器的控制信号经过一定的逻辑电路产

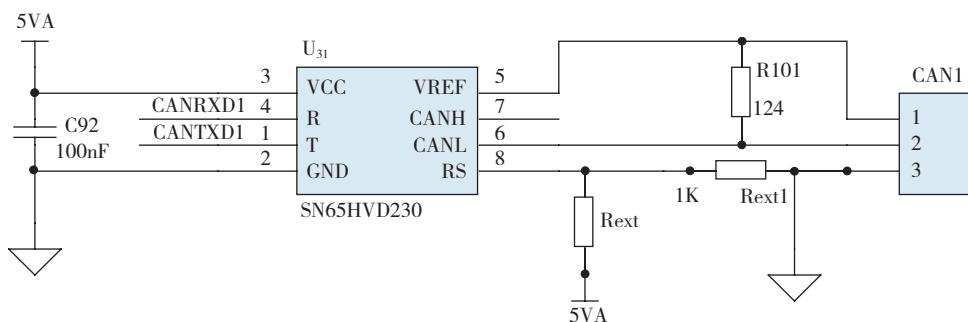


图2 CAN总线接口电路图

Fig.2 Circuit diagram of CAN bus interface

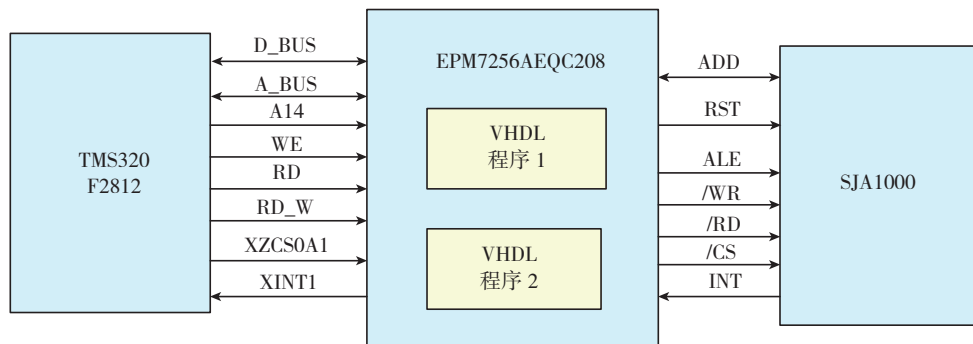


图3 接口电路功能图

Fig.3 Diagram of interface circuit

生 SJA1000 需要的控制信号。F2812 的总线接口方式采用了地址和数据分离的形式<sup>[3]</sup>。其主要信号有地址信号 A0~A7,数据信号 D0~D7,读信号 RE,写信号 WE。

F2812 与 SJA1000 的硬件接口原理如图 3 所示。DSP 处理器的低八位地址线和数据线 CPLD 和 SJA1000 的数据地址复用信号线相连。CPLD 在此也可以起到电平兼容的作用,并且可以实现系统编程调试,将硬件系统“软件化”。

图 3 中程序 1 根据 F2812 的地址总线、数据总线和外部总线接口区域 0 和区域 1 的片选信号,经过译码产生 SJA1000 的片选信号 CS,地址数据线选择信号 ALE;程序 2 将输入信号直接赋值给输出信号,使控制信号电平匹配。逻辑电路功能仿真波形如图 4 所示。

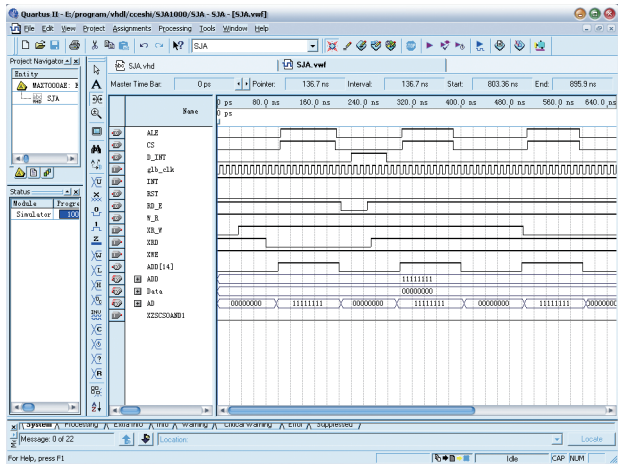


图4 接口逻辑电路功能仿真波形  
Fig.4 Simulation waveform of interface circuit function

### 3 CAN 总线通信模块的软件设计

系统包括 F2812 内置 CAN 模块以及外扩的 CAN 模块,软件也包括 2 部分。

#### 3.1 F2812 内置 CAN 总线通信程序

F2812 内置 CAN 总线通信程序主要由 4 部分组成。

(1)通信初始化程序(CanInit)。主要包括: I/O 口配置、初始化位时序和初始化邮箱<sup>[4]</sup>。图 5 为 CAN 总线通信的初始化流程。

(2)中断服务程序(CANRec\_ISR)。

当 DSP 的 eCAN 模块中的邮箱接收到一条消息时,接收消息待决寄存器(CANRMP)中的相应标志位就被置 1,同时能够产生一个硬件中断 ECAN0INT,然后 CPU 就能够从邮箱 RAM 中读取消息。

(3)数据处理函数 Data\_pro()。

数据处理函数 Data\_pro()对接收到的数据进行解码。图 6 是数据接收的配置流程。

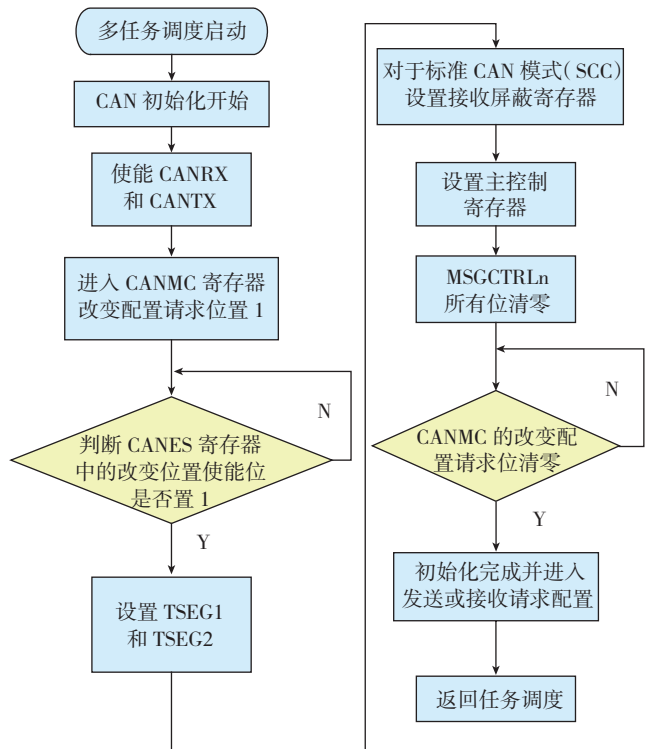


图5 CAN总线通信初始化流程  
Fig.5 Flow chart of CAN bus initialization

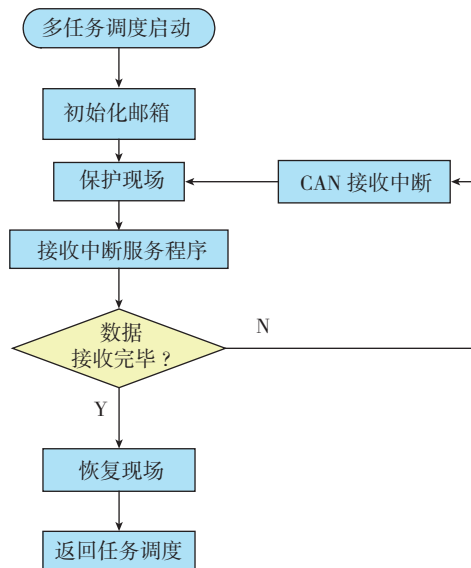


图6 CAN总线数据接收配置流程  
Fig.6 Flowchart of CAN bus data reception configuration

(4)数据发送函数 Can\_sen()。

数据发送函数 Can\_sen()将数据发送,数据发送采用软件中断触发方式。数据发送的配置流程与数据接收基本相同。

#### 3.2 外扩 CAN 接口设计

### 3.2.1 基于 DSP/BIOS 的设备驱动的编写

DSP/BIOS 将设备驱动从机能上分为硬件无关层和硬件相关层。每层都使用各自通用接口,使相似设备驱动程序主要部分可以复用<sup>[1]</sup>。外扩 CAN 的 SIO 通用 API 函数和设备驱动函数的对应关系如表 1 所示<sup>[5]</sup>。

表1 通用I/O操作到内部驱动操作

通用 I/O 操作	内部驱动函数
SIO_create()	DEV_SJA1000_open()
SIO_delete()	DEV_SJA1000_close()
SIO_get()	DEV_SJA1000_reclaim()
SIO_put()	DEV_SJA1000_issue()
SIO_idle()	DEV_SJA1000_idle()

微型驱动是驱动程序的主体,能直接对 SJA1000 内部寄存器进行操作,包括初始化、工作方式设置和数据写入及读取等。

### 3.2.2 任务划分

(1) 软件的任务执行主要有系统初始化、数据发送和数据接收 3 个部分。

#### a. 初始化。

系统初始化模块设定 SJA1000 的工作模式,且其初始化只能在复位模式下进行。初始化主要完成时间分频器、中断寄存器、滤波方式、验收代码、屏蔽代码、波特率和输出控制等等配置。SJA1000 初始化流程如图 7 所示。

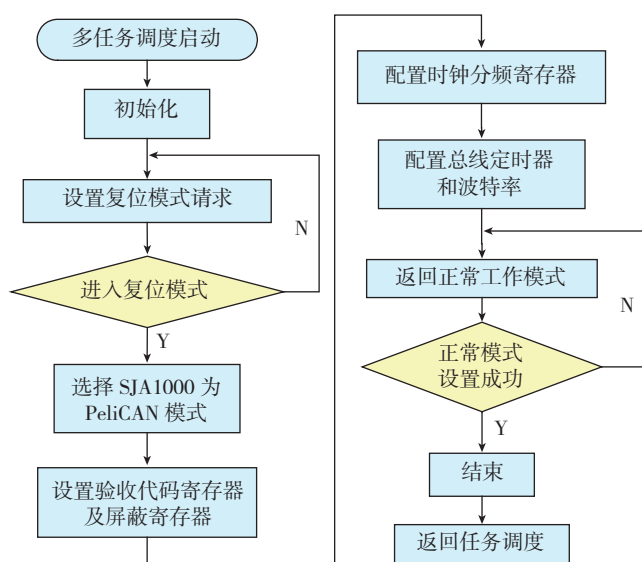


图7 SJA1000初始化流程

Fig.7 Flowchart of SJA1000 initialization

#### b. 数据接收。

报文的接收由 SJA1000 独立完成。当 SJA1000 接收到数据后,产生中断,INT 管脚置位,触发 DSP 硬件中断,即进入信号接收模块,在此中断中可以对数据进行读取,然后存储到分配好的区域。根据要求对接收到的数据进行处理,或者通过通信的方式传给上位机。

#### c. 发送程序。

F2812 将要发送的报文送到 SJA1000 发送缓冲区,然后等待 SJA1000 命令寄存器的发送请求标志位 (TR) 置位。发送过程由 SJA1000 独立完成。

(2) 在 DSP/BIOS 的配置工具中静态创建驱动程序中用到的对象,并完成对象属性的设置<sup>[6]</sup>。创建的对象如下:

硬件中断 HWI\_Rx: 中断源为 F2812 的外部中断 1 (XINT1),即 SJA1000 的接收中断标志,完成数据接收功能。

软件中断 SWI\_Rx: 在 HWI\_Rx 中触发,完成接收数据的解析以及处理。

任务 TSK\_Tx: 发送数据任务,完成待发送数据的格式组织。

软件中断 SWI\_Tx: 在 TSK\_Tx 中触发,将数据写入 SJA1000 的发送缓冲区。

设备 DEV\_SJA1000: 在 Device Drivers 模块中定义,通过 DEV\_Fxns 函数表调用驱动。

流 InStream: 输入流,与设备 DEV\_SJA1000 关联。

流 OutStream: 输出流,与设备 DEV\_SJA1000 关联。

#### (3) 数据的接收和发送过程。

发送数据过程: TSK\_Tx 按照 CAN 总线协议完成数据格式的组织,调用软件中断触发函数 SWI\_Post(),软件中断 SWI\_Tx 运行并调用流输出函数 SIO\_put(),在 SIO\_put() 中调用微型驱动函数 DEV\_SJA1000\_issue() 和 DEV\_SJA1000\_reclaim() 依次将数据写入 SJA1000 的发送缓冲区。

接收数据过程: SJA1000 接收缓冲区收到数据时产生接收中断,便触发 F2812 的 XINT1 发生,HWI\_Rx 开始运行,调用 SWI\_Post(), SWI\_Rx 运行并调用 SIO\_get(),在 SIO\_get() 中调用 DEV\_SJA1000\_issue() 和 DEV\_SJA1000\_reclaim() 将接收的数据保存到 F2812 的内存中,完成数据接收。

其发送和接收的过程和 F2812 内置 eCAN 模块的发送和接收基本上一样,在此就不再赘述。

### 3.2.3 接口电路的软件读写操作

将 CAN 控制器 SJA1000 的地址和数据线映射为 F2812 的外部程序存储器 XINTF Zone 0 和 XINTF Zone 1 区域,在 DSP 控制器上的地址分别为 0x4000 和

0x2000。

要访问 CAN 控制器的某一寄存器时要分 2 步来实现,第一句给出该寄存器的地址,第二句访问该寄存器地址里的数据。当传送地址时地址总线的 A14 为 1,而当传送数据时地址总线的 A14 为 0,进而实现了地址和数据的分时传送。C 语言编程实现为:

```
#define DEVADDR 0x4000 //定义 SJA1000 的基地址
#define ABSWORD(a) *((unsigned int *) (a))
BYTE XCan_CanRead(long devAddr, int offset)
{ //实现读操作
    ABSWORD(devAddr + 1) = offset;
    delay(100);
    return (ABSWORD(devAddr) & 0x00FF);
}
void XCan_CanWrite(long devAddr, int offset,
```

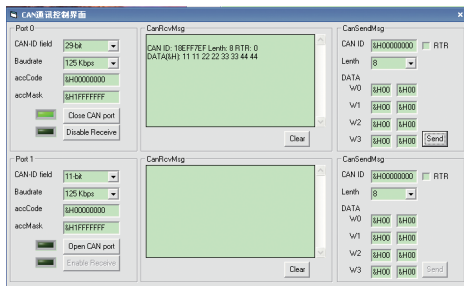


图8 CAN通信调试界面

Fig.8 CAN communication debugging interface

```
BYTE data)
{ //实现写操作
    ABSWORD(devAddr + 1) = offset;
    delay(100);
    ABSWORD(devAddr) = data;
}
```

#### 4 试验结果分析

本课题将设计的通信电路在实际的飞机电源控制器上进行了试验验证。通过计算机内的 CAN 板卡模拟上位机,与飞机电源控制器上的 CAN 总线通信电路进行通信。

由图 8 可以看出,飞机交流电源控制器能够准确的接受 CAN 板卡发送的数据,并将其再次返回到 CAN 板卡的接收端。试验结果表明,该通信电路运行稳定,数据传输准确,符合设计要求。

```
volatile int *SJA_Adr = (volatile int *);
//CAN 控制器地址线,映射为 XINTF Zone 1
volatile int *CANData=(volatile int *) 0x2000;
```

```
//CAN 控制器数据线,映射为 XINTF Zone 0
int SR; //定义一变量,读取状态寄存器的值
SJA_Adr [0] = 0; //提供 CAN 控制器寄存器地址
*CANData = 0x2; //提供 CAN 控制器寄存器数据
SJA_Adr [2] = 0; //提供 CAN 控制器寄存器地址
SR = *CANData; //读取 CAN 控制器数据。
```

#### 参考文献

- [1] 于泉.基于 DSP 的飞机交流电源功率控制器的设计[D].西安:西北工业大学,2008.
- [2] 刘和平.数字信号处理器原理、结构及应用基础-TMS320F28x.北京:机械工业出版社,2007.
- [3] Hank P. SJA1000 stand-alone CAN controller philips semiconductors 2000.
- [4] MAX 7000A Programmable LogicDevice Data Sheet.VER4.3. ALTERA, 2002.
- [5] Texas Instruments.TMS320F28x Enhanced Controller Area Network (eCAN) Peripheral Reference Guide. 2004.
- [6] Texas Instruments.TMS320C28x DSP/BIOS Application Programming Interface (API) Reference Guide. 2004.

(责编 小城)

(上接第 117 页)

口,断口上有孔洞,裂纹源附近的组织较为疏松(图 5(c)),有少量韧断,基本上是沿晶断裂,故断裂延伸率较低。

#### 4 实际零件的焊接

采用如上的试验参数对实际零件进行焊接,焊缝成型良好,X 光检测合格。

#### 5 结论

- (1)通过工艺试验研究,可实现 30CrMnSiA 轴类结构的电子束焊接;
- (2)拉伸试验结果表明,焊接接头与母材基本等强;
- (3)拉伸断口位置多在焊缝区域,但若焊缝中存在气孔及疏松组织会极大降低材料的延伸率。

#### 参考文献

- [1] 王亚军,毛智勇.1420 铝锂合金电子束焊接接头力学性能.航空工艺技术,1998(6): 12-13.
- [2] 许昌鑫,管敦惠.常用结构钢金相图谱.北京:国防工业出版社,2010.
- [3] 陶春虎,赵爱国,王理.航空发动机用材料断口分析及断口图谱.北京:国防工业出版社.2007.
- [4] 雷华东.调质状态下 30CrMnSiA 钢的激光焊接接头性能与组织.应用激光,2003,23(6): 322-326.

(责编 泰山)