

# 基于 RT-Thread 的便携式健康监测仪的设计\*

蔡曙光<sup>1,2</sup> 陈焱焱<sup>2</sup> 马祖长<sup>2</sup> 许金林<sup>2</sup> 张文杰<sup>1,2</sup>

(1. 安徽大学电子信息工程学院 合肥 230601; 2. 中国科学院合肥物质科学研究院 合肥 230031)

**摘要:** 随着社会的发展、生活水平的不断提高,人们对自身健康问题更为重视,而传统的健康监测设备缺乏有效的健康管理功能。为此,介绍了一种便携式健康监测仪的软硬件设计,该设计采用基于 Cortex-M4 内核的 32 位低功耗处理器作为系统的控制核心,采用 RT-Thread 实时操作系统作为系统的软件平台。系统可实现心率测量、额温测量、计步与能耗监测、健康任务管理等功能。进而通过健康检测—干预方案生成—干预方案执行监测—干预效果评估(健康再检测)的闭环管理模式,不断改善和促进健康。

**关键词:** RT-Thread; 健康监测; 健康管理; 心率; 能耗; 干预方案

**中图分类号:** TH789 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 310.61

## Design of portable health monitor based on RT-Thread

Cai Shuguang<sup>1,2</sup> Chen Yanyan<sup>2</sup> Ma Zuchang<sup>2</sup> Xu Jinlin<sup>2</sup> Zhang Wenjie<sup>1,2</sup>

(1. School of Electronic and Information Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China;

2. Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** With the development of society and the continuous improvement of living standards, people pay more attention to their own health problems. However, the traditional health monitoring equipment lack of effective health management capabilities. In this respect, this paper describes the hardware and software design of a portable health monitor in which a 32-bit low-power processor which based on Cortex-M4 kernel was used as the control core and the RT-Thread real-time operating system as the software platform. Functions such as heart rate measurement, the forehead temperature measurement, step count and energy consumption monitoring, health task management can be realized through the system. Then through the closed-loop management mode of health check-intervention program's generation-intervention programs execution monitoring-intervention assessment (health re-checking) to improve and promote health constantly.

**Keywords:** RT-Thread; health monitoring; health management; heart rate; energy consumption; intervention program

## 1 引言

随着生活节奏的加快,人们面临着各方面的压力,体质普遍变差,各种疾病的发病率都呈现上升的趋势<sup>[1]</sup>;同时,人们生活水平和健康意识在不断提高,人们迫切需要随时了解与自身健康相关的信息<sup>[2]</sup>,而传统的健康监测设备一般存在以下一些问题:1)没有考虑到监测的便携性,给使用者的日常生活和工作带来了较大影响,如多参数监护仪等;2)满足便携性,但能够监测的健康参数较少,如便携式心电图监测仪等;3)对用户健康状态只进行监护而不进行健康干预,未能实现健康任务管理功能,如远程医疗监护系统、穿戴式健康监测设备等。

基于 RT-Thread 实时操作系统的便携式健康监测仪

能够测量人体的多种主要健康参数(如心率,额温,步数,能耗),并定时将这些信息上传至健康服务器端。医生或专家在服务端通过查看用户健康参数信息和运动信息,制定相应的运动处方,以健康任务方式下发至便携式健康监测仪设备;通过闹钟或振动模式提醒用户完成健康运动任务,防止用户执行健康任务时懈怠,同时对任务执行情况进行实时跟踪监测,实现了健康检测—干预方案生成—干预方案执行监测—干预效果评估(健康再检测)的闭环管理模式,以达到不断促进健康的目的。

## 2 系统总体设计

基于 RT-Thread 实时操作系统的便携式健康监测仪主要采集心率、额温、人体姿态和能耗等人体重要健康参

收稿日期:2015-04

\* 基金项目:国家科技支撑计划课题(2013BAH14F01)、安徽省自然科学基金项目(1308085MF99)

数,并能够实现数据的保存、上传和接收以及人机交互功能。其总体结构如图 1 所示。

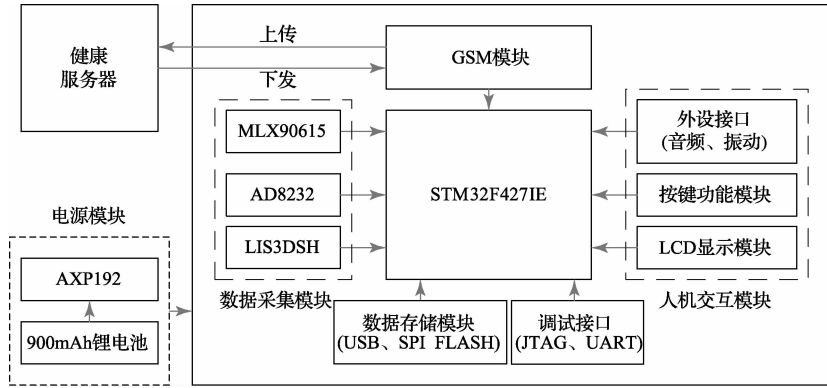


图 1 系统结构示意图

系统主要由核心控制器 STM32F427、数据采集模块、数据存储模块、GSM/GPRS 模块、电源模块、调试接口及人机交互模块组成。为了使系统具有很高的实时性和可靠性,系统采用嵌入式实时操作系统 RT-Thread 协调各功能模块工作。

### 3 硬件设计

#### 3.1 心电图信号的采集与预处理

心脏功能是人体重要的生理参数,而心脏功能最基本的参数是心率<sup>[3]</sup>。心率的测量则以心电图(ECG)信号中

QRS 波群的准确定位为依据。图 2 利用心率监护仪模拟前端 AD8232 并设计外围电路可实现 ECG 信号的采集与预处理。

系统采用锂电池进行供电,采集获得的 ECG 信号存在以下主要干扰:1)基线漂移;2)肌电干扰;3)测量时手臂和上身运动产生的运动伪像<sup>[4-6]</sup>。为消除干扰,选用 7~24 Hz 的带通滤波器作为最终的滤波设计选择;该滤波器组合的窄带特性能消除任何其他伪像和线路噪声,但会使 ECG 信号波形失真,然而其 QRS 波群中的 R 波波形明显,不影响心率测量,采集获得的 ECG 信号波形如图 3 所示。

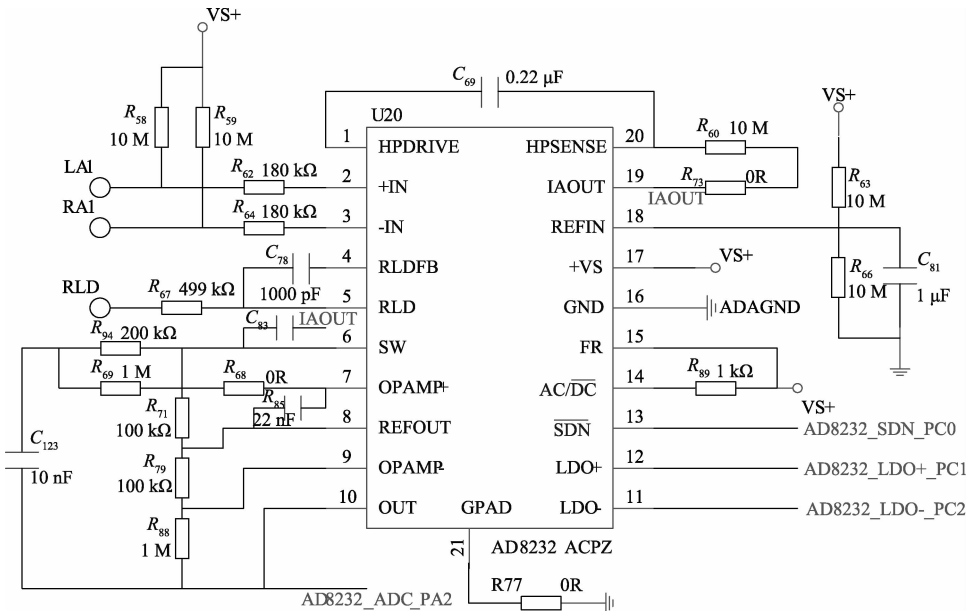


图 2 ECG 信号采集电路原理图

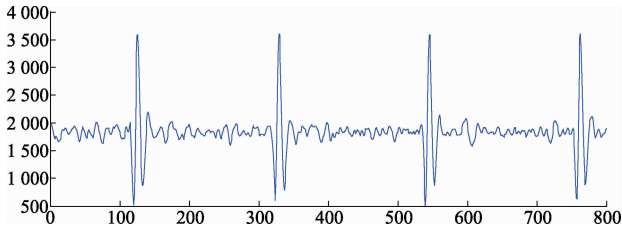


图 3 ECG 信号波形图

### 3.2 温度及加速度信息的采集

温度的采集选用红外温度传感器 MLX90615<sup>[7-8]</sup>。MLX90615 是一款用于非接触温度测量的红外温度计,其内部集成了低噪声放大器,16 位 ADC 和强大的 DSP 的 MLX90325 单元,所测温度值可通过串行两线 SMBUS 兼容协议获得。

加速度传感器 LIS3DSH 能够实现对三个轴加速度信号的数字输出,通过 MCU 以固定频率访问 LIS3DSH 可获得三个方向加速度信号  $A_x$ 、 $A_y$ 、 $A_z$ , 然后计算其和向量  $A$  滤除采集装置姿态对采集到的人体加速度的影响<sup>[9]</sup>, 和向量的计算公式如下式(1)所示。

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (1)$$

### 3.3 人机交互模块

为实现用户与便携式健康检测仪的交互,设计人机交互模块,其由液晶显示模块、按键、振动马达和扬声器组成。液晶显示模块选用低功耗的 JLX12864G-1016 型液晶显示模块。振动马达和扬声器用于健康任务提醒。另外系统设置了六个按键,分别为电源键和五个功能按键(上、下、左、右和 OK 键),其外观效果图如图 4 所示。

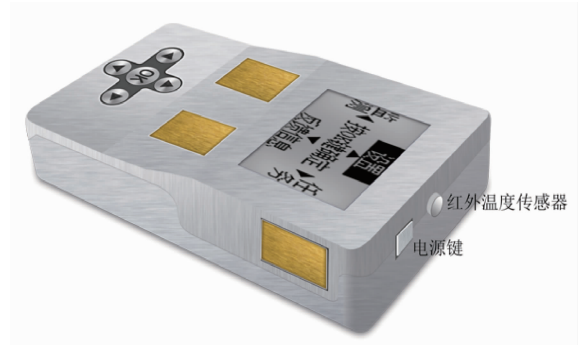


图 4 外观效果图

### 3.4 电源模块

该模块选用电源管理芯片 AXP192 对各个功能模块的电源进行管理,保证系统有且仅有正在使用模块的电源处于开启状态,其余电源均关闭,从而在硬件层保证系统的低功耗性。

## 4 软件设计

本系统是一个复杂的多任务系统,需要实现的功能包括按键扫描、界面显示、心率测量、额温测量、计步及能耗监测、与服务器的数据交互等,为了实现系统的实时性和充分利用单片机内核 CPU 的性能,选用 RT-Thread 作为系统的嵌入式实时操作系统,基于 RT-Thread 的内核多任务管理机制对系统各任务进行协调管理。系统的软件框图如图 5 所示。

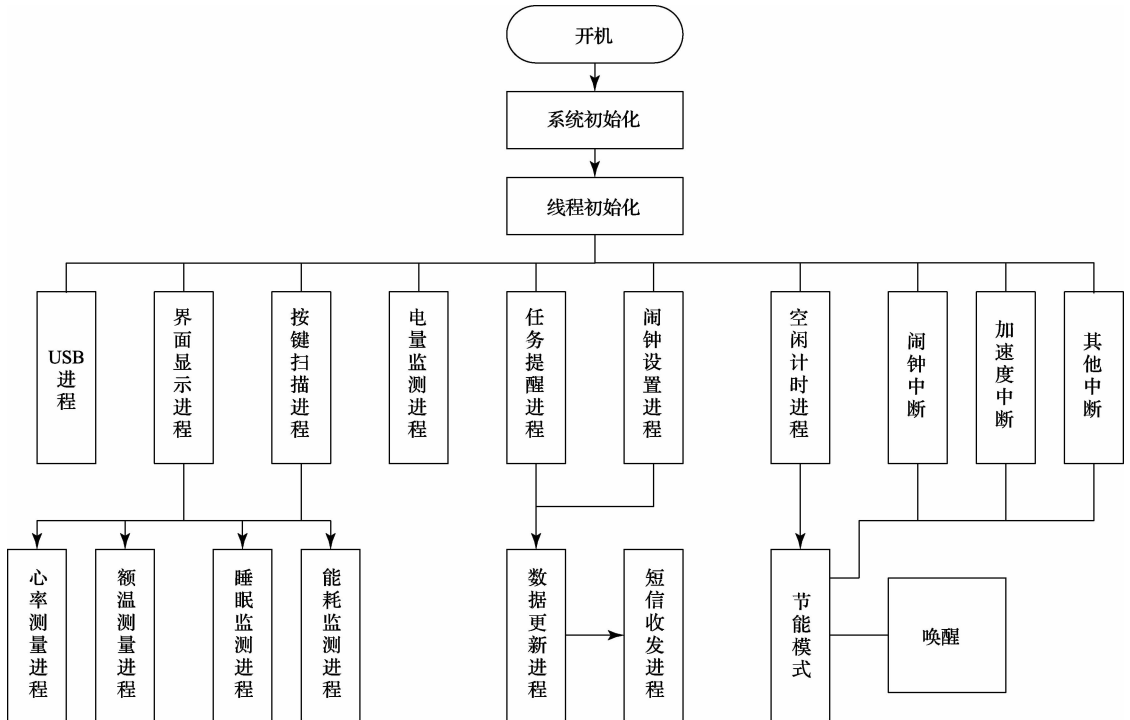


图 5 软件框图

首先系统开机之后进行初始化(包括时钟、I/O口、RTC、UART3、I<sup>2</sup>C及LCD等初始化)。系统初始化后对各子任务进行线程初始化。当系统空闲时进行计时,计时时间到达后或主动按开/关机键系统可进入节能模式:MCU进入STOP模式,大部分模块的电源(如LCD、UART等)关闭。而加速度中断、闹钟中断、电源键的按键中断以及其他中断均可以将系统从节能模式唤醒。

### 4.1 心率测量

用户通过人机交互进入心率监测界面,连接好双手电极并按确认键可开启心率测量进程。心率测量的软件框图如图6所示。首先对输入的模拟ECG信号以200 Hz频率进行AD采样,将其转化为数字ECG信号,数字信号通过平滑滤波获得更为平滑的信号,然后用阈值法对其进行R波检测,获取平均RR间期,最后通过平均RR间期计算心率值,输出结果。

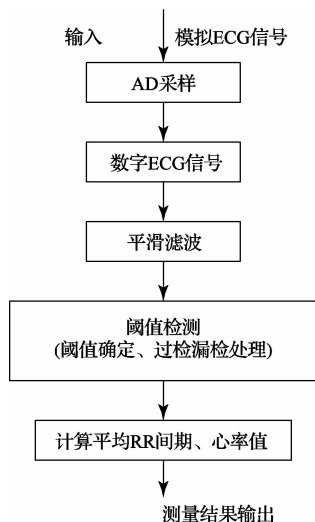


图6 心率测量软件框图

为验证测量结果的准确性,本文用便携式健康检测仪(PHM)与博能(Polar)心率表同时对45名志愿者进行了心率测量,并对测量结果用差值进行Bland-Altman分析,进行一致性评价。如图7所示,95%LoA为(-2.3,2.7),45个点只有一个点位于LoA范围以外,比例为2.22%。在一致性界限范围内,差值的绝对值最大为2,在可接受范围内。同时,经计算LoA的可信区间为(-3.0,3.6),该范围明显大于95%LoA本身,因此可以认为两种测量方法具有较好的一致性,本文测量方法较为准确。

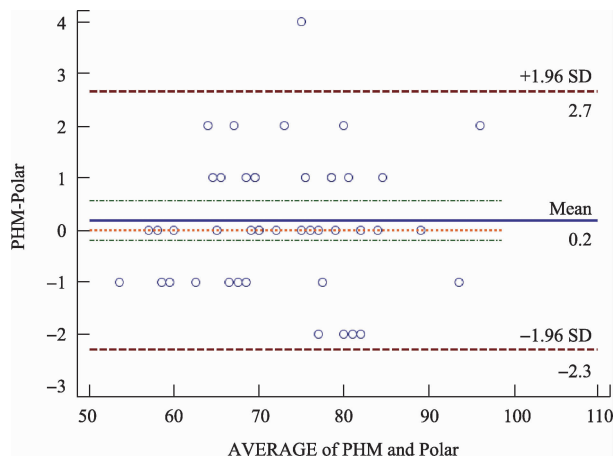


图7 Bland-Altman分析

### 4.2 额温测量

上述利用MLX90615设计的温度测量模块可较为准确测量物体温度,为进一步研究其准确性,利用红外温度传感器和水银温度计同时测量10组温开水的温度,红外温度传感器测量温度时,每隔一定时间读取一次读数,共读取3次,将3次测量取平均值作为测量结果。测量结果记录如表1所示。

表1 测量结果

	°C									
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
水银温度计	41.0	39.0	40.0	42.0	37.4	36.0	42.5	40.8	36.5	38.5
温度测量模块	41.3	39.1	39.9	41.8	37.4	35.9	42.5	40.6	36.3	38.1
相差温度	0.3	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.4
平均相差	0.16									

便携式健康监测仪利用该温度模块可测量人体前额表面温度。一些研究者通过对住院病人进行大样本测温,得出人体额温与腋温的拟合关系式<sup>[9]</sup>。基于人性化的设计,该设计利用其研究所得出的拟合关系式计算出对应体温值,与额温值一同显示在界面上,用于发热预警及干预方案控制。

### 4.3 计步及能耗监测

随着人们生产和生活方式的转变,运动不足、摄入能

量过剩是一个普遍存在的社会问题。医学研究表明,能量代谢失衡是肥胖症、高血压、糖尿病、心脏病、脑卒中等慢性非传染性疾病的重要诱因,保持能量平衡是防治代谢性疾病的关键<sup>[10]</sup>。而保持能量平衡的前提是运动能耗的在线检测与量化评估。通过对LIS3DSH的信息采集、特征提取和信息处理获取运动中的步频信息(每分钟步数),并根据适合中国人群的步频能耗模型<sup>[11]</sup>计算运动中的能量消耗,可实现运动能耗的量化评估。该模型在跑步机与

实地环境分别进行了验证,具有较高的精度水平,其能耗评估精度的关键在于计步的准确性。为验证本文计步的

准确性,在慢速、中速、快速三种不同步频速度下各进行了 10 组实验,每次实验行走 300 步,实验结果如表 2 所示。

表 2 实验结果

实验次数	计步结果			实验次数	计步结果		
	慢速	中速	快速		慢速	中速	快速
1	302	302	304	6	300	302	302
2	301	302	300	7	299	298	302
3	301	303	300	8	301	303	300
4	302	301	301	9	302	300	301
5	301	301	302	10	301	301	302
准确率	慢速:99.6%		中速:99.4%	快速:99.5%		综合:99.5%	

#### 4.4 数据管理及健康任务管理

系统的数据交互框图如图 8 所示。用户基本信息(用户设置获得,如性别、年龄等)、用户的健康参数测量结果、健康任务(包括监测任务和运动任务)的内容、健康评价信息(如晨脉评价、能耗评价及综合评价等),任务提醒时播放的 MP3 文件等数据将以 TXT 文本方式存入 SPI FLASH 映射的 8 M 磁盘空间中。

为方便系统与健康服务器间的通讯,设计采用 GSM/

GPRS 模块 SIM900A 实现数据的上传和下发。系统定时向健康服务器上传用户每天的健康参数测量结果及健康任务执行情况,这些数据可通过读取 SPI FLASH 中的 TXT 文本获得,医生或专家可在服务端查看用户健康参数及历史数据,分析用户的健康状况,提出运动处方以及相应的健康评价<sup>[12]</sup>,服务器将其生成新的健康任务及健康评价下发至健康终端。

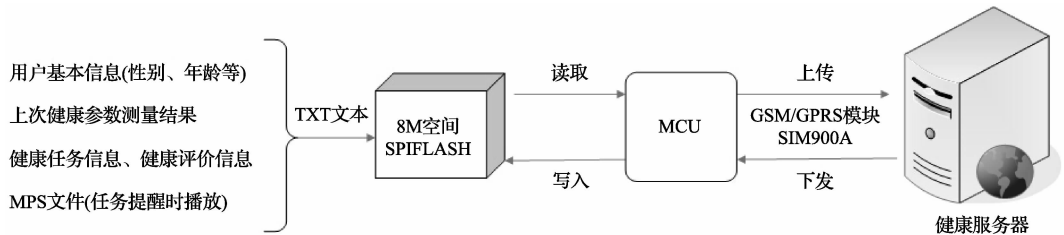


图 8 数据管理框图

## 5 结 论

综上所述,基于 RT-Thread 的便携式健康监测仪有如下特点:1)体积小,便于携带,不影响日常生活和工作;2)能够测量人体多种健康参数,如心率、额温、能耗等;3)能够与服务端进行交互通讯,将健康数据上传至服务器,并从服务器端获取个性化健康任务和健康评价;4)实现健康任务管理,以闹钟和振动模式提醒用户按时执行健康任务,对个性化健康任务的执行情况进行跟踪监测,实现了健康检测—干预方案生成—干预方案执行监测—干预效果评估(健康再检测)的闭环管理,不断促进健康。

### 参考文献

[1] 张秀娟,程飞龙.基于 STM32 的便携式生命体征监护仪设计[J].嵌入式技术,2013,39(11):20-23.

- [2] 李娜.基于人体运动状态识别的可穿戴健康监测系统设计[D].北京:北京工业大学,2013:123.
- [3] 朱迅杰,邓焱.基于 Lab VIEW 小波分析包的病态心电信号处理[J].电子测量技术,2013,36(4):7-10.
- [4] 苏维嘉,张金刚.低功耗便携式心电仪的设计[J].电子技术应用,2011,37(12):37-39.
- [5] 马玉润.ECG 预处理与 QRS 波群检测技术研究[D].甘肃:兰州大学,2013:60.
- [6] 周平,汪丰,刘梦星,等.非接触式心电测量的噪声抑制研究[J].仪器仪表学报,2013,34(10):2226-2230.
- [7] 刘岩俊.基于 DSP 的嵌入式温度测量系统设计与实现[J].国外电子测量技术,2014,33(1):78-81.
- [8] 胡鸿志.基于新型温度传感器的数字温度计设计[J].电子测量与仪器学报,2011,25(8):

741-744.

- [9] 郝小鹏, 原遵东, 乐恺, 等. 额温的生理基础及其外界影响因素研究[J]. 中国国境卫生检疫杂志, 2011, 34(2): 89-94.
- [10] 湛晓安, 王人卫, 白晋湘. 体力活动, 体适能与健康促进研究进展 [J]. 中国运动医学杂志, 2012, 31(4): 363-372.
- [11] 中国科学院合肥智能机械研究所. 中国人群步行运动的关键特征参数建模[R]. 2010.
- [12] 于功敬, 熊毅, 房红征. 健康管理技术综述及卫星应用设想[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(3):

227-232.

## 作者简介

**蔡曙光**, 工学硕士, 目前主要研究方向为健康体征信息获取、智能化信息处理、新型健康管理理论。

E-mail: 287393124@qq.com

**陈焱焱**, 工学博士, 副研究员, 主要研究方向为健康体征信息获取、运动生理信息获取、智能化信息处理、新型健康管理理论和医学超声领域。

E-mail: cyy1983@126.com

(上接第 87 页)

- [7] DUNSMORE J, ERICSSON J. A novel method for measuring phase and group delay of mixers without a reference mixer [C]//Microwave Measurements Conference (ARFTG), 2010 75th ARFTG. IEEE, 2010: 1-7.
- [8] 韩璐, 高申翔, 沈小青. 混频器矢量表征测试方法研究[J]. 宇航计测技术, 2012, 32(2): 50-53.
- [9] 王耀光, 袁太文. 基于 IVI 技术的混频器自动测试系统设计[J]. 科技资讯, 2011 (13): 1-2.
- [10] 黄锦涛. X 波段和 Ka 波段混频器的研究[D]. 电子科技大学, 2013.

- [11] 桑志勇, 高申翔, 霍莹, 等. 基于失配修正的变频损耗测量技术研究[J]. 宇航计测技术, 2013, 33(4): 67-70.

## 作者简介

**黄志芳**, 1989 年出生, 研究生, 主要研究微波器件的测试技术及自动化系统。

**罗宏伟**, 1968 年出生, 博士, 研究员级高工, 主要从事电子器件检测试验、质量可靠性评价、失效模式/机理分析、可靠性设计等方面的研究工作。