

文章编号: 1672-2892(2010)05-0588-06

## 钒电池智能监控管理系统设计

漆阳华

(中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 根据各种环境参数、钒电池运行参数等与钒电池性能的关系的初步研究成果, 设计了一种钒电池智能监控管理系统。本系统采用单片机的监控方案, 使用 LTC6802 采集多路串联电压, 通过以太网通信实现单片机与监控主机的数据交换, 实现了监控管理系统的信息采集、分析和控制功能。通过该系统的部署, 钒电池研究人员可以在钒电池研制阶段快捷地获取更加翔实的钒电池运行参数, 从中找出对钒电池的影响因素, 加快钒电池的研究与应用进度。

**关键词:** 钒电池; 智能监控; 管理系统

**中图分类号:** TN307; TM911

**文献标识码:** A

## A design of intelligent monitor and manage system for vanadium batteries

QI Yang-hua

(Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

**Abstract:** According to the early research of the relationship among the capability of vanadium batteries and various environmental parameters, the runtime parameters of vanadium, an intelligent monitor and manage system for vanadium batteries was designed. The data gathering, analyzing and control functions of the system were implemented by using a Micro Control Unit(MCU) as a controller, and LTC6802 was adopted to gather multi-channel voltage in serial. Data exchanging between the MCU and the monitor host computer was realized by ethernet. Through this system, the researchers can quickly obtain more full and accurate data of vanadium batteries in its R&D stage, therefore quicken the progress of the research and application of vanadium batteries.

**Key words:** vanadium batteries; intelligent monitor; manage system

钒电池是近年来兴起的高效储能、绿色环保、反复可充放的新兴能源。目前国内外对钒电池研究与应用还处在性能完善阶段, 未完全进入工程应用。对钒电池的研究主要集中在各种价态的钒离子、电堆中的电极板、隔膜等性能方面, 尚无对监控设备进行系统研究的相关文献可以查阅、参考。

电池组的库仑效率随着充放电电流的增大而增大, 最高可达 95.09%。电池组的能量效率随着充放电电流的增加而减小, 最高可达 81.32%<sup>[1]</sup>。钒电解液在过充及贮存过程中容易析出 V(V)沉淀, 钒溶液过充后, 析出的 V(V)黄色结晶会堵塞泵, 阻碍电解液的循环, 也会大量附着在碳毡上, 降低充放电效率<sup>[2]</sup>。1989年 M Skyllas Kazacos 发现充电深度越深, 相同的浓度、酸度下电解液在高温时 V(V)越容易沉淀出来。1990年 M Kazacos 等人发现充电后的正极钒在满充的状态下, 如果长期贮存存在一个持续升温状态下, V(V)的晶体化产物会慢慢地从溶液中沉淀出来, 沉淀速率和程度取决于钒离子浓度、温度和硫酸的浓度<sup>[3-4]</sup>。电解液的流量大小对多孔电极内部传质有较大影响, 流量过小, 多孔电极内部浓差极化严重, 电压效率低<sup>[5]</sup>。

综上所述, 充电电流大小、充电深度、电解液温度以及流量均会影响钒电池的性能。本文以此为出发点, 设计一套智能管理系统, 对钒电池的电解液温度、流量以及充电过程进行监测, 实时采集、记录钒电池主要运行参数, 当发现系统异常时, 给出报警信号, 直至停止系统运行, 确保钒电池系统安全可靠运行。

### 1 钒电池概况及其监控系统主要功能及指标

钒电池系统一般由电堆(cell stack)、储液罐(jar)、液体循环管道、泵(pump)、充放电控制柜(charge and discharge

收稿日期: 2009-12-24; 修回日期: 2010-03-11

基金项目: 科工经[2008]423号, 液流钒电池储能系统产业化开发

controller)以及逆变器(reverser)等构成,如图 1 所示。

本系统的钒电池电堆由 10 个单体电池组成。监控系统的主要功能有数据采集、充电器控制、漏液检测、异常报警、钒电池安全报警、数据存储等。本系统主要功能:

1) 数据采集

采集数据类型有:单体电池电压、电解液高度、流量、压力以及储液罐内电解液温度,其具体指标如表 1 所示。

表 1 数据测量类型及指标

Table1 Type and guidelines of data measure

type	range	precision	amount
voltage	0 V-3 V	1%FS	10
height	0 m-2 m	1%FS	2
flux	0 min-2 00l min	1%FS	2
pressure	0 MPa-1 MPa	1%FS	2
temperature	-50 ℃-100 ℃	1%FS	2

2) 充电器工作过程监控

通过 RS485 接口设置充电器充电过程参数,读取并记录充电电压、电流值,监视充电器工作状态。

3) 电解液漏液检测

检测钒电池运行过程中是否有漏液。如果有,则以开关量的形式向控制器输出,由控制器给出电解液泄露异常信号。

4) 异常报警

异常类型:单体电池电压异常,温度异常,液位异常,流量异常,压力异常,电解液泄露等。

5) 钒电池安全保护

保护动作:停止充电器工作,10 s 后停止泵运行。

6) 数据存储

存储数据内容:液面高度、温度、流量、压力、单体电池电压、充电电压、充电电流、运行时间等参数值。

2 系统总体方案

钒电池智能监控管理系统在整体物理结构上分为运行控制器(Running controller)和监控管理单元(monitor and manage unit) 2 部分(如图 2 所示),主要包含传感器、电池单体电压采集盒、钒电池运行控制器、钒电池监控管理单元等部件。

钒电池运行控制器以单片机 C8051F340 为核心,包含了传感器、电压采集盒、主要的执行器(泵,报警器,充电器等)和以太网接口,主要完成钒电池运行参数采集、数据分析、报警输出等功能。运行控制器定时(1 s)采集信号,经初步滤波处理后,通过以太网接口发送到监控管理单元,与保存参数的相应报警阈值比较,当参数异常时,根据危害度执行三级报警输出。运行控制器通过 RS485 接口与电池充电器连接,可设置充电器充电过程参数,读取充电电压、电流值,监视充电器工作状态。

钒电池监控管理单元为标准 PC 机,通过以太网与运行控制器连接,主要提供人机接口,包括采集信号的数据分析、显示(数据和曲线)、记录等;设置运行控制器的工作模式和参数;辅助运行控制器完成传感器标定等需要人机接口的工作。

3 钒电池运行控制器组成和原理

单体电池电压采集的路数较多,如采用传统的方法为每组电压设计采集电路<sup>[5-7]</sup>,则会提高成本和复杂度。

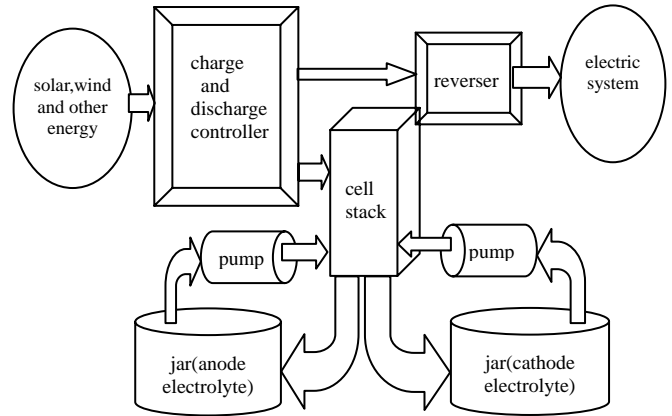


Fig.1 Structure of vanadium batteries  
图 1 钒电池基本构成

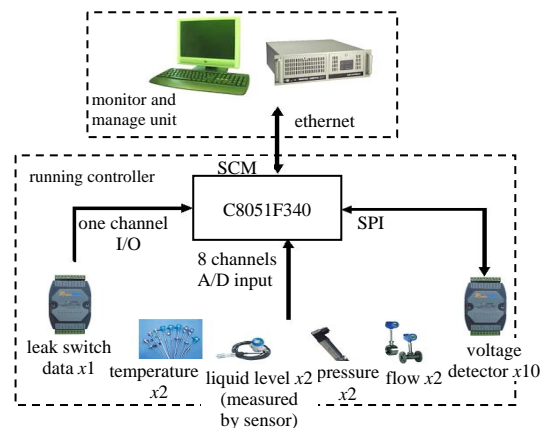


Fig.2 Structure of intelligent monitor and manage system for vanadium batteries  
图 2 钒电池智能监控系统组成图

因此,系统以 LTC6802<sup>[8]</sup> 电池管理芯片为主要测量器件,以 12 路串联信号为一组设计电压采集盒(voltage detector),每个采集盒内包含一片 LTC6802 芯片。电压采集盒安放在电池附近,通过 SPI 接口与控制芯片通信,电路设计简单易实现,控制了成本。并且多个电压采集盒可以串联起来,实现多路串联电压信号的测量,具有强大的扩展性能,能满足多于 12 路的单体电池电压采集需求。

对于大量的电解液泄漏,通过 2 个储液罐的液位变化来检测,对于小的滴漏,在每个可能的漏点下安装一个漏液收集罐,罐中安装一对导线接点,多个漏点的接点可并联后接到控制器。有漏液情况发生时,则导线接点导通,代表电解液泄露的开关量发生变化。

传感器在满足系统测量指标的前提下,还必须能够适应钒电池电解液的强酸性环境。系统中测量电解液温度、储液罐内电解液液位以及电解液流量所使用的传感器输出信号满足工业测量标准,为 4 mA~20 mA 电流信号,利用精密电阻将其转换为电压信号后输入至 A/D 转换器。

系统设计了泵开关(pump switch)、报警器(annunciator)和充电器(charger controller)3 类可控执行机构,分别针对异常状况时的处理和充放电的控制。泵运行需要 220 V 交流电源,因此泵开关采用继电器加交流接触器的两级隔离控制来实现。报警器采用 2 种方式:报警灯,蜂鸣器。充电器控制接口采用 RS485,可以设置充电器工作模式、参数,读取工作状态、电压电流等。对充电器的控制依据来源于电池堆的总电压值、电流值等。电池堆的总电压值采用单体电压值求和的方式得到。

系统使用 PC 机作为主要的人机接口,通过智能控制软件实现各种数据的显示、处理和存储等。运行控制器控制芯片与 PC 之间采用以太网接口进行连接,实现数据通信。

运行控制器控制芯片采用 Silicon Labs 公司的单片机 C8051F340,该单片机内部资源丰富,满足系统的要求。以太网接口通过以太网控制器(ethernet network controller)CP2201 实现。

电源模块(power supply)选用 24 V/5 A 直流电源,给各个继电器模块供电,经过电压转换为 3.3 V 后给其他芯片供电。

运行控制器使用非易失存储器保存工作参数及报警时测量参数,利用少量 LED 指示其工作状态,能独立于监控管理单元单独运行。

系统运行控制器的组成框图如图 3 所示。

系统使用一个电压采集盒,输入 10 路电压信号。电池盒之间可以通过 SPI 接口进行串行连接,实现多路电压测量,其中最顶层的电压采集盒的输入电压路数可以小于 12 路。

LTC6802 还可以检测电压值是否过压或者欠压,即能够检测出单体电池电压异常情况<sup>[5]</sup>。

#### 4 监控管理单元组成及功能

监控管理单元由具有以太网通信接口的 PC 机构成。监控管理单元负责将报警阈值下载到运行控制器 MCU 中,由运行控制器 MCU 根据测量值自动判别并发出报警信号及安全保护程序。监控管理单元的作用:1) 设定运行控制器工作模式、参数;2) 监视控制器运行状态,显示、记录实验参数,需要时,可干预控制器运行。

监控管理单元完成运行控制器的参数设置后,如果不需要显示、记录运行数据,可以关闭,运行控制器可独立运行。根据钒电池系统运行特点及监控管理系统功能,监控管理系统主要有 3 种工作模式:

1) 传感器标定:通过与标准传感器结果比较(可通过 PC 键盘输入),计算传感器的标定系数,并下载到控制器的非易失存储器中。

2) 读取系统正常(初始)测量值:电池系统工作一定时间,待储液罐液位及各项运行参数稳定后,采集一段时间的测量值,取平均后作为系统正常测量值,保存在非易失存储器中。

3) 监控运行:定时 1 s 采样各测量参数,滤波处理后,与正常值比较,以判断是否出现异常(漏液、串液、电池体温度、压力变化、单体电压异常等),根据阈值和判断决定是否报警和启动安全保护,同时将采集数据发

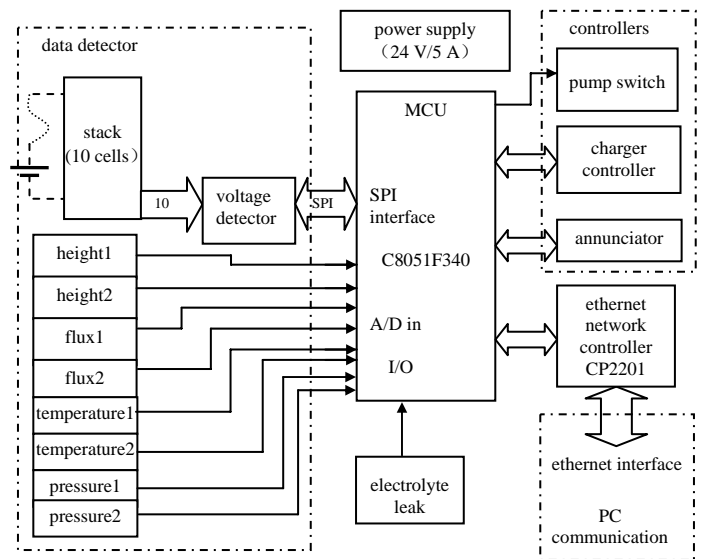


Fig.3 Structure of running controller

图 3 运行控制器组成图

送到监控管理单元显示、储存等。例如，当系统采集到的温度值高于系统设置的安全值时，将启动异常报警和安全保护，从而实现钒电池运行时的监护。

## 5 钒电池智能监控管理系统的软件组成

系统软件包括 2 个部分：运行控制器程序和监控管理软件。运行控制器程序设计使用 KeilC 和 Linear 公司提供的 TCP/IP 配置软件等开发工具，监控管理软件使用 LabVIEW 软件进行开发。系统软件的组成如图 4 所示。

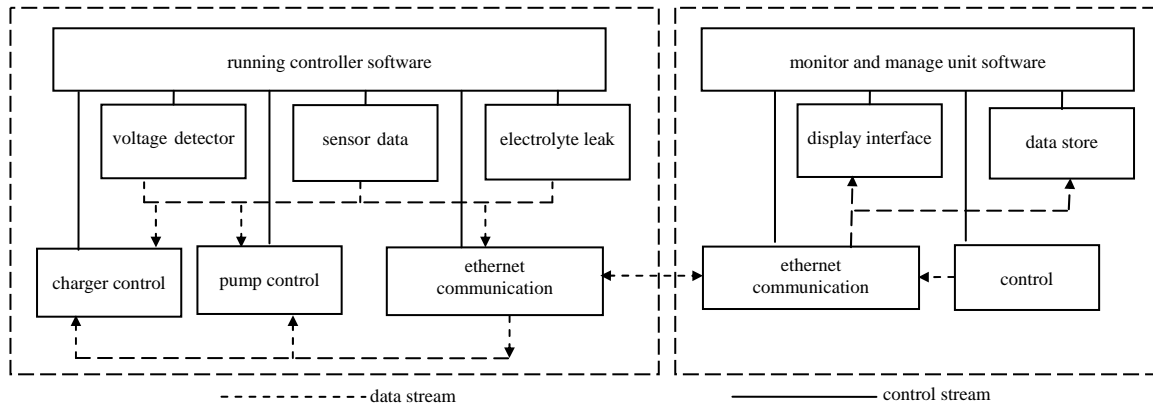


Fig.4 Structure of system software  
图 4 系统软件组成图

运行控制器程序的主要功能是完成协调各个数据采集模块、控制模块以及通信模块的工作。具体功能是采集单体电池电压值、储液罐液体温度和液位、循环管道内的液体流量、压力；将采集到的数据与预先装订的运行参数进行比较来实现异常判别，当发生异常时执行报警动作；利用通信模块接收监控管理单元发送的装订数据或者命令，并进行相应操作，定时向监控管理单元发送钒电池实时运行参数。

监控管理软件的主要功能有：执行运行控制器的各种参数(包括流量、压力、温度、电压的正常值范围，采集时间间隔等)的装订；接收运行控制器传输的各种运行参数，对参数进行分析和处理，向管理人员输出友好的数据显示界面；发现有异常情况发生时，使用警告窗口或者其他图形界面的方式报警，显示故障的详细信息；存储钒电池运行过程中的原始数据以及处理后的数据，存储时间间隔在 1 s~1 800 s 内可调。

对运行控制器程序和监控管理软件实行模块化设计，在主线程内根据系统运行时序调用各软件模块实现运行控制器和监控管理单元的相应功能。

### 5.1 运行控制器软件组成

运行控制器软件由单体电池电压测量、传感器数据测量、漏液开关量测量、报警器控制、充电器控制、泵控制、以太网通信、参数装订等多个模块组成(图 4 的 running controller software 部分)，各模块具体功能如下：

**单体电池电压测量：**模块通过 SPI 接口，操作 LTC6802-1 器件，启动多个电压采集盒的 120 路电压信号的同时测量，并读取每路电压信号值，存储待用。

**传感器数据测量模块：**利用运行控制器 MCU 的 A/D 转换器，分时启动温度、流量、液位、压力共 8 路模拟量的数字转换，分别读取转换结果，存储待用。

**漏液开关量测量模块：**利用运行控制器 MCU 的 I/O 口，读取漏液开关量，存储待用。

**报警器控制模块：**运行控制器根据测量的各类参数，判断出某个参数值处于异常值范围内时，启动异常处理流程。根据需要启动声、光报警器，并设置其工作模式。

**报警级别：**1 级：发出断续的光警告信号，提示操作人员，系统出现了不好的变化；2 级：发出断续的声、光警告信号，提示系统出现较严重的故障；3 级：发出持续的声、光警告信号，同时执行钒电池安全保护。

**充电器控制模块：**运行控制器根据装订的充放电参数(充电电压，电流)，设置充电器的工作模式和工作参数，并实现启动、停止等动作。

**泵控制模块：**实现泵的启动和停止动作。并提供自动控制、手动控制 2 种控制模式。

**以太网通信模块：**主要实现数据的发送和接收功能。运行控制器的发送数据由测量到的温度、压力、流量、液位、电压、电流、开关量及异常信息等组成。这些数据按照一定的顺序和格式组成通信数据包，进行发送。运

行控制器接收监控管理单元的需要装订的参数和命令。需要装订的参数包括温度、压力、流量、液位、单体电池电压、开关量的正常值范围,充电电压、电流,参数存储时间间隔等。接收到的命令包括系统测量的启动、泵的控制、报警器的控制等等。将从监控管理单元接收到的装订参数,存储于运行控制器存储器上并调入内存使用。

## 5.2 监控管理软件组成

监控管理软件主要由显示界面、以太网通信、数据存储和简单的控制模块组成(图4的 Monitor and manage unit software 部分),各模块具体功能如下:

**显示界面模块:**提供友好的人机界面,通过合理的布局,向用户显示钒电池运行过程中各重要部位的参数和状态。

**以太网通信模块:**实现以太网数据发送和接收功能,与运行控制器构成完整的通信链路。其发送的数据和接收的数据分别见运行控制器的接收数据和发送数据。

**数据存储模块:**根据需要设定数据存储时间间隔,并将数据以图表等形式存储于 excel 格式文件,供用户调出查看。存储方式:1)运行控制器应急存储,系统发生异常、通信故障时存储于运行控制器的 flash 中;2)监控管理单元存储,实时存储系统正常运行参数,以 excel 格式文件保存。

**控制模块:**钒电池监控运行模式下,监控管理单元通过发送控制命令给运行控制器的方式实现必要的远程控制功能。监控管理单元控制功能主要有:启动参数测量,控制泵的开关,控制报警器等。

## 6 系统测试结果

系统的电解液高度、压力、流量和温度,获取标准值比较困难,且其经过传感器转换、信号调理后的电压值约为 1.5 V,因此在测试时,使用基准电压信号模拟高度、压力、流量和温度信号输入(基准电压值由万用表 DT9973 手工测得,为 1.426 V),数据测试结果如表 2 和表 3 所示。

其中,表 3 中的实际电压值(表中的 actual voltage)由万用表 DT9973 手工测得。由表 2 和表 3 可知,系统数据采集精密度均在 1% 以内,满足设计要求。

经过对该系统其他部分的测试及整体联试,系统运行良好,满足设计要求

表 2 测试结果

type	results/mV	error/(%)
height	1 428	1.4
	1 433	4.9
pressure	1 440	9.8
	1 429	2.1
flux	1 433	4.9
	1 433	4.9
temperature	1 435	6.3
	1 440	9.8

表 3 测试结果

type	results/mV	actual voltage/mV	error/(%)
voltage	1 424	1 421	2.1
	1 428	1 424	2.8
of	1 437	1 433	2.8
	1 438	1 434	2.8
monomer	1 435	1 431	2.8
	1 421	1 417	2.8
battery	1 406	1 401	3.6
	1 411	1 407	2.8
	1 417	1 412	3.5
	1 419	1 415	2.8

## 7 结论

本智能管理监控系统是专门应用于钒电池全系统监测的系统,适用于钒电池初期研发及后期应用等阶段。本系统采用单片机的监控方案,监测手段灵活;采用以太网通信实现数据交换,通信距离远,可实现远距离控制;采用 LTC6802 测试多路串联电压,简化了电压信号调理电路,提高了系统扩展性。

**致谢:**感谢李映华研究员在系统方案设计论证阶段给予的指导。

### 参考文献:

- [1] 陈茂斌,孟凡明,李晓兵,等. 全钒电池组的充放电性能[J]. 电源技术, 2008,32(4):225-227. (CHEN Mao-bin,MENG Fan-ming,LI Xiao-bing,et al. Charge-discharge performance of all vanadium redox flow battery[J]. The technology of power supply, 2008,32(4):225-227.)
- [2] 常芳,孟凡明,陆瑞生. 钒电池用电解液研究现状及展望[J]. 电源技术, 2006,30(10):860-862. (CHANG Fang,MENG Fan-ming,LU Rui-sheng. Development and prospect of the vanadium electrolyte for the vanadium battery[J]. The technology

- power supply, 2006,30(10):860-862.)
- [ 3 ] Kazacos M,Cheng M,Skyllas K M. Vanadium redox cell electrolyte optimization studies[J]. Journal of Applied electrochemistry, 1990,20(3):463-467.
- [ 4 ] 滕祥国,赵永涛,武增华,等. 温度对钒电池性能的影响[J]. 电源技术, 2009,33(7):587-589. (TENG Xiang-guo,ZHAO Yong-tao,WU Zeng-hua,et al. Effects of temperature on the performance of vanadium redox flow battery[J]. The technology of power supply, 2009,33(7):587-589.)
- [ 5 ] 吕正中,胡嵩麟,武增华,等. 全钒氧化还原液流储能电堆[J]. 电源技术, 2007,31(4):318-321. (LV Zheng-zhong,HU Song-lin,WU Zeng-hua,et al. Vanadium redox flow energy storage stack[J]. The technology of power supply, 2007,31(4):318-321.)
- [ 6 ] 张承宁,朱正,张玉璞,等. 电动汽车动力电池组管理系统设计[J]. 计算机工程与应用, 2006,42(25):220-222. (ZHANG Cheng-ning,ZHU Zheng,ZHANG Yu-pu,et al. Design on Management System for Traction Battery Packs in Electric Trans. Vehicle[J]. Computer Engineering & Application, 2006,42(25):220-222.)
- [ 7 ] 祁娜,姚舜. 单体电池电压采集系统设计与实现[J]. 鱼雷技术, 2008,16(2):42-45. (QI Na,YAO Shun. Design and implementation of Single Battery Voltage Sampling System for Wire-guided Torpedo[J]. Torpedo technology, 2008,16(2):42-45.)
- [ 8 ] Linear. LTC6802-1 Multicell Battery Stack Monitor(datasheet)[EB/OL]. (2008-09-26). <http://www.etmchina.com/>.

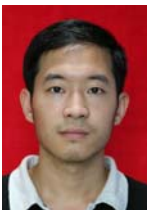
#### 作者简介：



漆阳华(1983-), 男, 四川省遂宁市人, 硕士, 主要从事测控技术研究与应用.email:creatist@163.com.

(上接第 568 页)

#### 作者简介：



胡茂海(1982-), 男, 四川省遂宁市人, 研究实习员, 主要从事数字信号处理研究工作.email: humaohai@xleda.com.

叶江峰(1974-), 男, 江西省安福县人, 副研究员, 主要从事数字信号处理研究工作.

严俊(1981-), 男, 四川省绵阳市人, 研究实习员, 主要从事数字信号处理研究工作.

蒋鸿宇(1983-), 男, 四川省绵阳市人, 中国工程物理研究院电子工程研究所博士研究生, 主要从事高速率数字采集、通信信号处理相关研究.

张伟(1986-), 男, 四川省德阳市人, 研究实习员, 主要从事数字信号处理研究工作.