

注：国家自然科学基金（No. 51974250）；国家自然科学基金（No. 41874158）；陕西省自然科学基金基础研究计划（No. 2018JQ5133）；陕西省教育厅重点实验室项目（No. 17JS106）

摘要：针对传统救援井系统信号传输速率低、信号误码率高等问题设计了基于双路 DSP 的救援井探测数据通信系统。首先，地面控制系统以 CMD 模式下发命令。一路 DSPIC1 控制 HD-15530 将 CMD 模式下发的命令解码，然后指示另一路 DSPIC2 响应 CMD 命令，控制 AD7656 采集数据。DSPIC2 控制 HD-6409 将采集的数据以 M5 的工作模式编码上传地面控制系统。同时为防止 M5 模式上传异常，DSPIC2 将数据传输至 DSPIC1，通过 HD-15530 以 M2 模式编码上传地面控制系统。该系统采用两路 DSPIC 分开控制编码与解码，数据可以两种模式编码上传，实现高效率、低误码率的数据通信。

关键词：DSPIC；曼彻斯特码；救援井；HD-15530；HD-6409；SPI

中图分类号：P634.8

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2020)01-0023-04

收稿日期：2019-12-05

基于双路 DSP 的救援井探测数据通信系统

许林康 张营 李丹 王港 党博

西安石油大学，陕西西安 710065

一、引言

人们在油气井开采过程中一旦发生井喷失控，它将是油气井开采中无法估量的灾难事故。如果不及时控制井喷事故频发所带来的问题，不仅会直接造成油气资源的浪费、危及施工人员的安全，而且对环境造成严重污染^[1]。救援井正是在发生井喷事故的情况下对事故井进行救援的过程。

通常救援井施工在距离事故井有一段距离的安全区域处，并且在实际情况下的钻井作业中，救援井的实施是为了与事故井井眼交汇连通，连通后再将高密度压井液注入救援井中，控制事故井发生的井喷等事故^[2-3]。

救援事故井是通过七芯电缆将电磁探测仪器下放到救援井，通过给多线圈阵列探头的发射线圈施加双极性阶跃信号，在发射激励的间隙，接收线圈中会感应出随时间变化呈指数衰减的二次场感应电动势，感

应电动势随救援井与事故井的距离增大而减小。在探测早期，感应电动势随距离的增加衰减速率较快，在探测晚期，感应电动势随距离的增加衰减速率较慢^[4]。通过分析仪器探头阵列接收线圈的二次涡流场信息，可对救援井距事故井的距离方位信息进行探测。

井下七芯电缆通信主要采用 MIL-STD-1553 航空器用时分复用数据总线标准，是一种成熟的方法。这种通信方式具有 3 个总线通信通道，分别是 M2、M5 和 CMD（M2 和 M5 都是上传数据模式，M2 通道速率为 41.66kbps，M5 通道速率为 93.75kbps，CMD 为下发命令模式，通道速度为 2083kbps）^[5]。但是这种通信需要总线下发命令向测试模块要数据，对于传统的仪器，这种通信方式没有问题，但对于电磁类救援井探测仪器就会出现丢帧问题。具体表现在：基于瞬变电磁法的救援井仪器存在固定的测试周期和地面系统通信周期不配对，由于两者响应时间不同，想要做

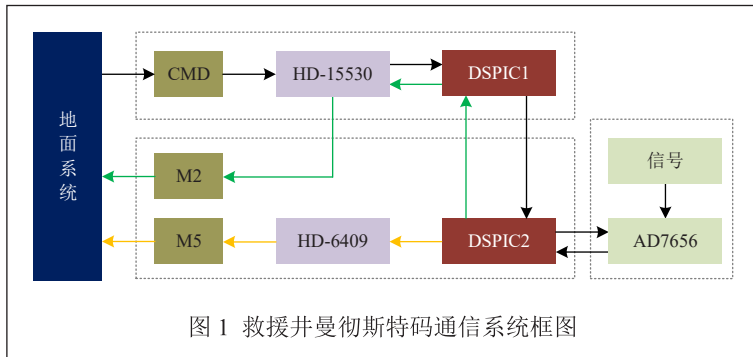


图 1 救援井曼彻斯特码通信系统框图

到同步工作存在一定技术难度。例如瞬变电磁探测周期为 40ms，由于地面和井下始终不能完全一致，无论是定时还是定深度索要数据，发命令后再测试，测试周期长达 40ms，而 1553 总线要求的响应时间较短（通常为 5ms~10ms 以内），很容易造成通信失效。而如果将测试数据事先存储在测试短接中，则有可能出现收到命令时数据尚未测完，没有任何可用数，即 40ms 的本身测试周期尚未结束，没有数据，造成当前测试周期失效。

针对这一问题，本文设计了一种基于双路 DSP 的救援井探测系统数据通信系统并挂载地面系统，实现救援井系统的高速率、低误码率通信，高效率地探测通信获取高质量的事故井数据，依据获得信息设计救援方案控制井喷，从而把井喷事故所带来的影响降到最低。

二、救援井曼彻斯特码通信系统

救援井曼彻斯特码通信系统包括：

解码模块：CMD、HD-15530、DSPIC1；

编码模块：M2、HD-15530、DSPIC1、M5、HD-6409、DSPIC2；

采集模块：DSPIC2、AD7656。

救援井曼彻斯特码通信框图如图 1 所示。地面系统以 CMD 下发命令，经由变压器降压并将双极性的 CMD 命令转变成单极性的信号，进入 HD-15530 进行解码，解码输出的信号发送至 DSPIC1，依据 CMD 命令指示回复命令或发送数据。DSPIC1 通过 I/O 通信指示 DSPIC2 进行探测数据采集，DSPIC2 和 AD7656 通过 SPI 通信，AD7656 将采集的数据传输给 DSPIC2 再

通过 HD-6409 编码以 M5 上传至地面系统。为了防止 M5 数据传输异常，增加 M2 模式，两路 DSPIC 直接通过串口传输数据，通过 DSPIC1 上传至 HD-15530 以 M2 模式编码上传至地面系统。

三、解码模块

1、硬件设计

救援井曼彻斯特码通信系统中，解码模块使用 DSPIC1 作为主控芯片，HD-15530 作为 CMD、M2 模式通信芯片，前端 CMD 下发命令速率为 20.833kbps，M2 通信速率为 41.66kbps。由于两种模式下的通信速率不同，需要分别对 CMD、M2 分配时钟，解码的转换时钟 12 倍的数据速率，由此可得解码速率为 250kbps；相同地 M2 模式下的时钟是 12 倍的数据速率，M2 的速率为 500kbps。由于 HD-15530 需要两种不同频率的时钟，通过 4MHz 有源晶振，使用 CD54HC4040 分别做 16 分频、8 分频。图 2 所示为 HD-15530 电路图。

2、软件设计

DSPIC1 对 HD-15530 进行 CMD 解码操作控制，通过 I/O 进行命令，数据解码程序流程图如图 3 所示。

主控对 HD-15530 进行 I/O 系统配置，CMD 命令

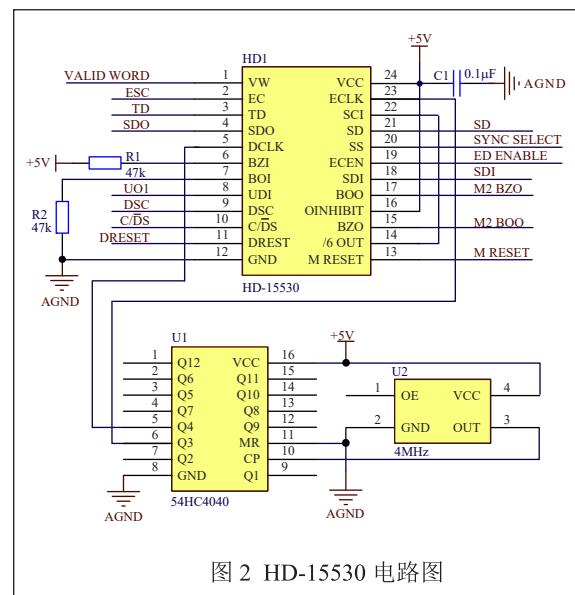
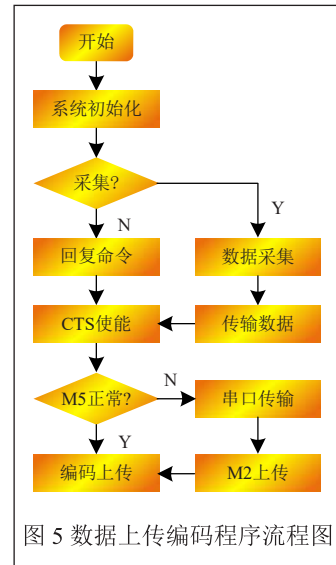
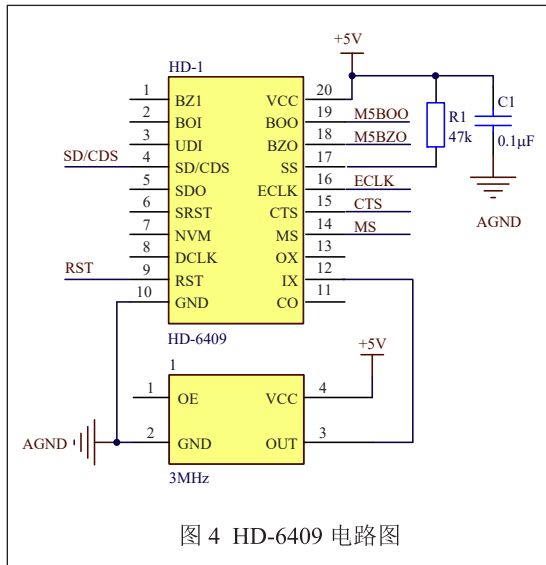
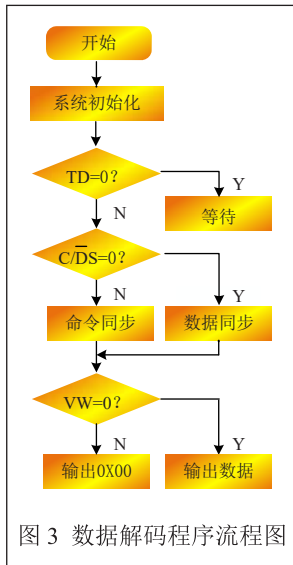


图 2 HD-15530 电路图



下达，首先通过判断 TD（提取数据）是否为 0，为 0 时需要等待表示 CMD 未下达，为 1 时命令到达。接着判断 C/\overline{DS} （命令 / 数据选择）是否为 0，为 0 表示数据同步，为 1 表示命令同步。依据 0/1 对命令进行分类，数据解码之后判断 VW（有效字）是否为 0，为 0 表示解码无错，为 1 表示解码有误，输出 0X00。

四、编码模块

1、硬件设计

对接收到 ELIS 的命令进行解码，DSPIC2 响应解码的指令，通过 HD-6409 编码回复命令或者上传数据，数据通过主控 DSPIC2 与 AD7656 通过 SPI 通信传输数据。M5 模式传输速率为 93.75kbps。由于 HD-6409 内部速率可以选择 32 倍分频和 16 分频，HD-6409 对 3MHz 有源晶振 32 倍分频。图 4 为 HD-6409 电路图。

2、软件设计

DSPIC2 分别控制 AD7656 采集和 HD-6409 以及与 DSPIC1 通信，响应 DSPIC1 解码出的指令，传输数据。数据上传编码程序流程图如图 5 所示。

一组命令解码完成后，DSPIC1 通过 I/O 口与 DSPIC2 通信指示，DSPIC2 系统初始化。首先判断是否采集，如果采集，通过 SPI 与 AD7656 通信，打开 AD7656，采集完数据传输数据，否则回复命令；然后使能 CTS（清除发送）打开 HD-6409，判断 M5 模式

传输是否正常，如果为否，DSPIC2 将数据通过串口发送给 DSPIC1，DSPIC1 控制 HD-15530 将数据以 M2 模式编码上传。如果是，则直接控制 HD-6409 以 M5 模式直接编码上传。

五、实验总结

为了验证通信系统的性能，使用一路 HD-15530 编码发送至通信系统，模拟发送命令，系统解码、编码上传。通过示波器采集并显示解码信号，串口输出编码后的信号。

图 6 是解码之后示波器采集显示的图，图中显示的信号以二进制显示，上升沿为 0，下降沿为 1。可读出图 6（a）中 0001011000110011 为十六进制的“16 33”，相同地可读出图 6（b）中 0001011001000001 为十六进制的“16 41”。解码信号通过串口发送至编码模块，信号编码发送，通过串口显示出十六进制的数字信号。

由图 6（c）串口助手显示，可知在一直发送的命令为“16 33”和“16 41”两组命令。通过模拟实验，示波器上图显示的信号无失真，信号可以通过观察直接读出。将编码信号通过串口显示，两者相互验证，上述模拟下发命令。在循环发送的过程中，未出现一帧信号的错误。

六、结论

本系统利用 dsPIC 强大的数据处理能力, 使用两路 dsPIC 分别控制 HD15530 和 HD6409 编解码芯片, 使用 CMD、M2 和 M5 不同编解码通道使得编解码操作并行工作可以解决电磁探测系统与通信丢帧问题, 编解码可以同时进行, 大大提高数据

通信效率; 两种编码模式互补工作, 一旦一方传输信息异常, 有效的信息会以另一种模式上传地面系统, 保障了井下信号传输的有效性。这种信号传输系统实现了救援井曼彻斯特码通信解码和探测信号的实时采集与编码, 有效地保证了通信系统信号传输的高效性和质量, 使得救援井探测时间大大地缩短, 为救援事故井提供最有效的信息, 将事故井所带来的影响降到最低。

参考文献

- [1] 杜钢, 于洋飞, 熊朝东, 等. 钻井井喷失控因素分析及预防对策 [J]. 中国安全生产科学技术, 2014, (2): 120-125.
- [2] 刁斌斌, 高德利, 唐海雄, 等. 救援井与事故井邻井距离探测技术 [C]// 第十六届全国探矿工程 (岩土钻掘工程) 技术学术交流年会, 2011: 201-205.
- [3] 殷志明, 张红生, 周建良, 等. 深水钻井井喷事故情景构建及应急能力评估 [J]. 石油钻采工艺, 2015, (1): 166-171.
- [4] 杨玲, 党博, 刘容, 等. 救援井瞬变电磁探测传感器建模与仿真 [J]. 传感器与微系统, 37, (11): 37-39, 43.
- [5] 谢宾, 刘曦, 林群, 等. 采用串行通信接口的同步时分多路复用总线通信方法 [J]. 自动化与仪器仪表, 2019, (5): 161-163.

Data Communication System for Rescue Well Detection Based on Dual-Channel DSP

XU Lin-kang, ZHANG Ying, LI Dan, WANG Gang, DANG Bo
(Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Aiming at the low signal transmission rate and high signal error rate of traditional rescue well systems, a dual-channel DSP-based rescue well detection data communication system is

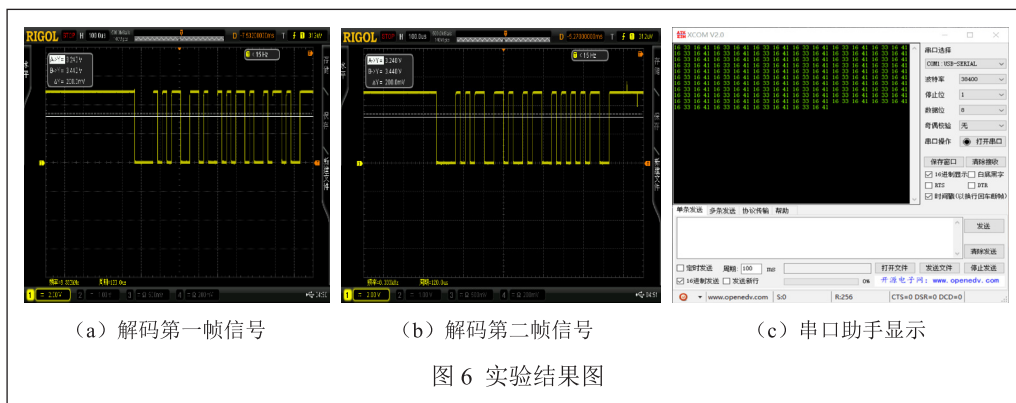


图 6 实验结果图

designed. Firstly, the ground control system issues commands in CMD mode. One dsPIC (DSPIC1) is adopted to control HD-15530 decoding the CMD commands. Then DSPIC1 instructs another dsPIC (DSPIC2) to respond to the CMD commands and control the AD7656 acquiring the rescue well data. The collected data are encoded in M5 mode by HD-6409 and upload to the ground control system. At the same time, the collected data are transferred from DSPIC2 to DSPIC1 and uploaded to the ground control system in M2 mode encoded by the HD-15530 to prevent failed M5 data transmission. The system uses two dsPICs to control encoding and decoding separately. The data can be encoded and uploaded in two modes to achieve high efficiency and low error rate data communication.

Key words: dsPIC; Manchester code; rescue well; HD-15530; HD-6409; SPI

作者简介

许林康: 西安石油大学, 硕士在读生, 研究方向为仪器仪表计量技术。

通信地址: 陕西西安雁塔区电子二路东段 18 号西安石油大学
邮编: 710065 邮箱: 1285374083@qq.com

张营: 西安石油大学, 硕士在读生, 主要研究方向为测试计量技术及仪器。

李丹: 西安石油大学, 硕士在读生, 研究方向为仪器仪表计量技术。

王港: 西安石油大学, 硕士在读生, 研究方向为测试计量技术及仪器。

党博: 西安石油大学, 副教授, 研究方向为地球物理测井。