

## 便携式电力工井可视化智能探测装置设计

黄震希, 黄毅标, 何书华, 陈祥伟, 汪华焰, 刘浩林, 肖振银

(国网福州供电公司, 福建 福州 350009)

**摘要:**为了提高电力井下作业安全性,检修电力井下是否含有毒气体及易燃易爆气体尤其重要。设计了便携式电力工井可视化智能探测装置,操作人员在地面可全景拍摄电力工井内的电缆设备,同时检测井下的有害气体含量。设计中采用了高清旋转摄像头实施拍摄,探测设备配置了气体浓度和种类检测识别装置,可以实时进行采集数据进行显示和报警。通过实验验证,该智能探测装置对电力电缆、井下气体浓度监测以及提高电力检修效率具有重要的应用价值。

**关键词:**电力工井; 电缆检修; 便携式; 智能探测装置; 气体检测

中图分类号: TN98

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.191142

中文引用格式: 黄震希, 黄毅标, 何书华, 等. 便携式电力工井可视化智能探测装置设计[J]. 电子技术应用, 2020, 46(5): 53–58.

英文引用格式: Huang Zhenxi, Huang Yibiao, He Shuhua, et al. Design of visualized intelligent detection device for portable electric well[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(5): 53–58.

### Design of visualized intelligent detection device for portable electric well

Huang Zhenxi, Huang Yibiao, He Shuhua, Chen Xiangwei, Wang Huayan, Liu Haolin, Xiao Zhenyin

(State Grid Fuzhou Power Supply Company, Fuzhou 350009, China)

**Abstract:** In order to improve the safety of underground power operations, it is especially important to overhaul the power underground to contain toxic gases and flammable and explosive gases. This paper designs a portable electric power well visualized intelligent detection device. The operator can panoramically photograph the cable equipment in the power well on the ground, and simultaneously detect the harmful gas content in the underground. The design adopts a high-definition rotating camera to perform shooting, and the detection equipment is equipped with gas concentration. And the type detection and identification device can collect and display data and display alarms in real time. It is verified by experiments that the intelligent detection device has important application value for power cable and downhole gas concentration monitoring and improving power maintenance efficiency.

**Key words:** power well; cable overhaul; portable; intelligent detection device; gas detection

### 0 引言

近几年来,随着城市电网改造的大规模进行,用于连接电缆通道电力工井的运用越来越广泛,电力输电线路十分复杂,电力工井中往往残留一些有害气体(如:硫化氢、甲烷、一氧化碳、氧气等),井下的有害气体给检修工人的检修造成极大的困难。为了解决城市电力检修遇到的困难,迫切需要研发一种新型的电力辅助作业工具。经查文献发现,文献[1]提出了一种单一的以微控制器为核心的新型便携式多气体检测仪,结合了气体检测和RFID技术,实现电力线路智能检修;文献[2]为了适应矿井的特殊环境,设计了危险气体探测双摇臂履带机器人,可实现煤矿深井无人探测;文献[3]使用了电力线载波传输技术,实现了井下有毒气体的远距离实时监测,有效保证了工作人员的人身安全,提高了工作效率;文献[4]–[5]介绍了电缆故障性质及其判断方法、探测技术

的应用及操作注意事项,分析了故障检测方法、预防对策及注意事项;文献[6]介绍了地下管线探测在电力电缆线路排查中的应用,通过电缆线路排查后挂牌,增强电缆管理效率;文献[7]介绍一种便携式XLPE电缆绝缘检测装置,该装置综合运用了电磁耦合法、超高频法和超声波法来检测电缆的局部放电信号;文献[8]–[9]介绍了基于单片机的有毒气体检测报警系统,都只是功能集中于报警监测单一气体的检测装置;文献[10]设计了一种电气火灾探测器,通过监测线路温度及剩余电流的数值大小,将报警信息上传给监控主机通知值班人员,从而预防电气火灾的发生;文献[11]介绍了电力物联网技术,但也只是单一电力检修过程中的应用技术。目前文献上没有完整提出兼顾电力勘察、气体检测、视频拍摄功能的电力检测设备,一部分设备集中在煤矿矿井的瓦斯等气体检测,一部分设备是针对地面输电杆塔故障巡检,

# 测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

还有一部分设备是专门的气体检测系统。对于在应用上实现电力巡检、气体检测、数据采集等多功能的集成电力检修设备则相对较少。本文提出一种集成气体检测、数据传输和电缆工况摄像的多功能复合电力巡检设备，能提高电力工人日常巡检地下电缆设备的效率。

## 1 设计基本功能和原理

便携式电力工井可视化智能探测装置涉及光、电传感器、控制科学等多学科，整合了环绕式视频拍摄、气体检测、电子标签读取、数据传输等不同系统，功能齐全。便携式电力工井探测装置具有以下基本功能：(1)环绕式拍摄和暗光条件下自动补光；(2)能够检测多种气体，并显示气体含量；(3)能读取电缆电子标签，并上传到电力巡检 APP 终端；(4)检测装置的检测杆可自由伸缩，适应不同深度的电力井；(5)具有绝缘、防水、防尘的能力；(6)探测装置可以进行多次充电，反复使用；(7)可通过程序智能控制相机系统。根据不同系统之间的原理和功能进行合理的组合，设计出了探测装置的简易模型，如图 1 所示，环绕式摄像头和自动补光配置位于探测头顶端，内置电机推动转向和换位；伸缩杆置于装置中部，由内置于手柄中的电机推动前进后退；无线射频识别(RFID)电缆电子标签读取模块安装在检测头端，用于传输电缆标签的信息；电源模块内置在探测装置的手柄中，同时手柄上设置手机支架存放手机，可接收 RFID 读取的电缆信息。

## 2 主要硬件结构设计

### 2.1 摄像模块

电力巡检装置的照相机系统包括电源系统、控制系统和拍摄系统。电源系统由外加的 12 V 锂电池提供，通过降压模块来满足不同器件对电力的需求；控制系统使用一块 STM8S003F3 芯片，主要负责相机拍摄、语音报警、相机转向灯等功能的实时控制；拍摄系统由相机转向系统和 LED 自动补光系统等组成。相机转向系统主要负责相机上下左右多角度的转向，全方位进行拍摄，同时拍摄系统配有了 LED 补光电路，保证相机在黑暗条件下的视频拍摄质量。该探测装置的整体系统原理图如图 2 所示。

#### 2.1.1 电源系统

整个相机系统的供电由安装在手柄的电源提供，电力输出需经过如图 3 所示的降压电路获得。设计采用可充电的 12 V 锂电池组，同时采用降压电路，可以给不同模块供电。电源系统通过降压后，还有 5 V USB 电压输出、12 V 电源电量显示等功能。

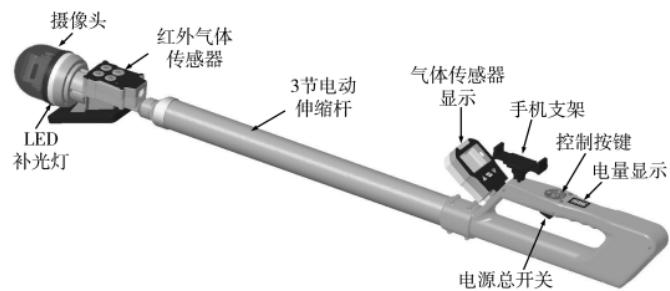


图 1 便携式电力工井可视化智能探测装置模型示意图

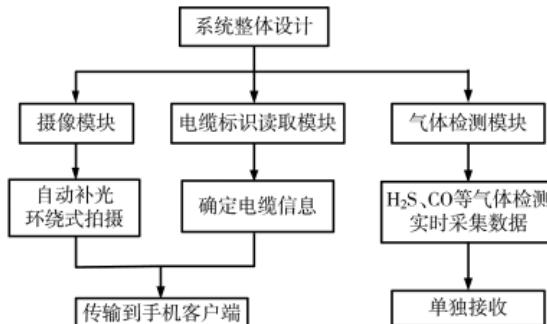


图 2 系统整体设计图

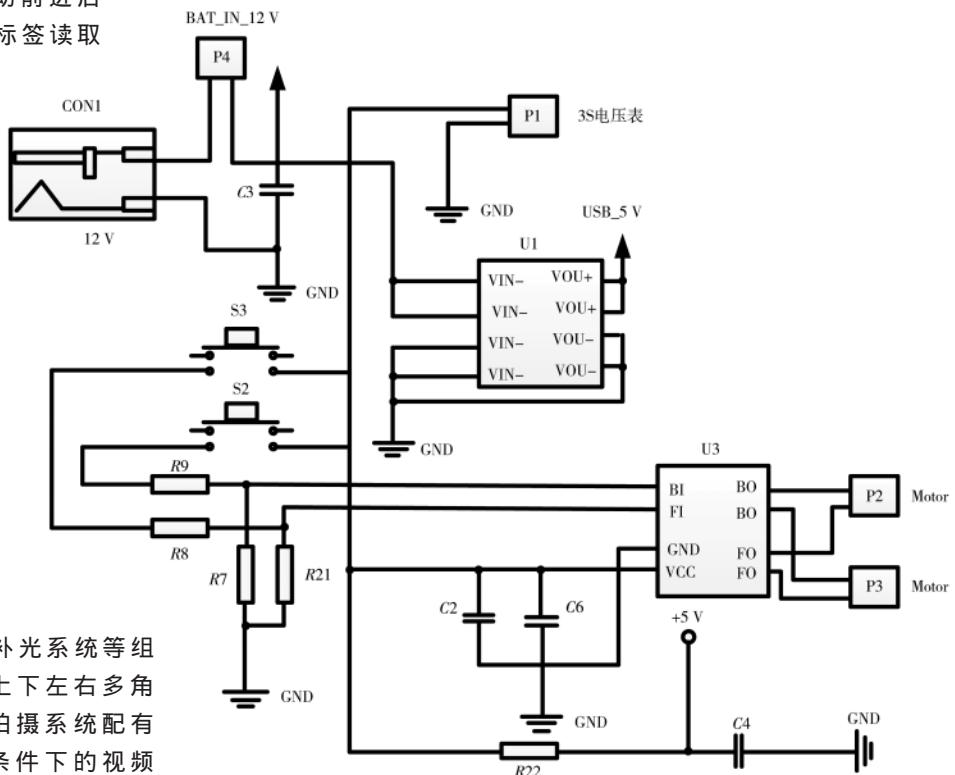


图 3 电源降压电路

工作原理：外部输入 12 V 电压，传输到 3S 电表，电表显示电源内部电量多少；12 V 电压通过降压模块降压，获得 5 V 电压，满足手机 USB 接口充电需求；开关 S2、S3 分别控制位于伸缩杆内部的两个电机运行，电机 Motor1 负责摄像头旋转，电机 Motor2 负责伸缩杆前进后退。当电源开关闭合，相机系统工作，开关 S1、S2 接入

测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

12 V 电源，通过 RZ7889 电机驱动芯片驱动电机 Motor1、Motor2 工作，同时电路总开关 S1 可以驱动 STM8S003F3 工作输出 5 V USB 电压控制信号，启动 RFID 读卡指令。

控制系统使用的是的一款高性能微处理器 STM8S003F3，作为装置控制系统的中心控制芯片，工作频率为 16 MHz，内含 32 个引脚，带哈佛结构和三极管通道，拥有 8 KB 的闪存和 1 KB 的 RAM，工作电压为 2.95~5.5 V；时钟控制灵活，4 个主时钟源：低功率晶体谐振荡器、外部时钟输入、内部可调 16 MHz RC、内部低功率 128 kHz RC。同时内含 28 个 I/O 接口、7 个 16 位 CAPCOM 定时器通道、3 个定时器互补输出通道、10 位的 ADC，高达 8 Mb/s SPI 和 400 kb/s 的 I<sup>C</sup> 等通信接口，外部接入 ADC 接口，实现数模转换；外部接入 UART，将要传输的资料在串行通信和并行通信之间加以转换；外部接入 SPI，实现无线数据传输；接入 USB 接口，实现有线通信，用来与手机终端进行信号传输。且支持睡眠待机停机等低功耗模式，其内部结构图如图 4 所示。装置搭载 STM8S003F3 芯片，外部 S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8 等开关输入控制信号，运行单片机内部写入的控制程序，输出信号控制相机拍摄、语音报警、相机转向等工作，单片机芯片布线图如图 5 所示。

工作原理：总开关 S1 启动，芯片工作，相机系统开

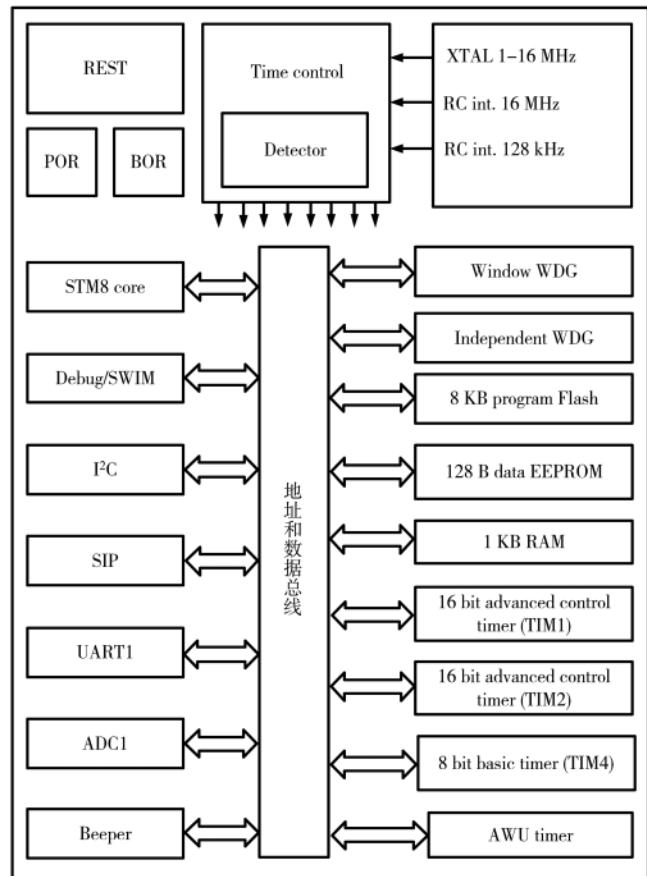


图 4 STM8S003F3 内部资源配置图

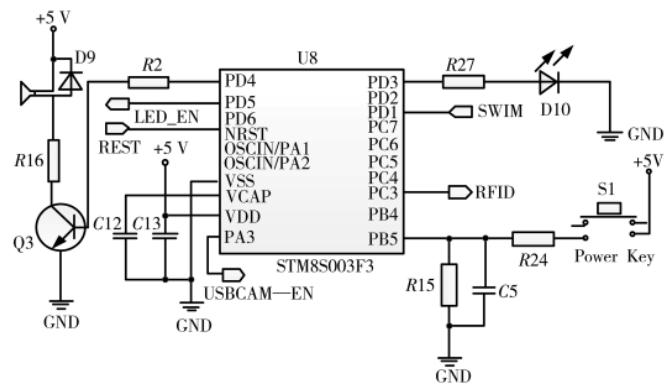


图 5 STM8S003F3 芯片布线

启,通过STM8S003F3的USBCAM\_EN接口控制RT9701GB功率转换开关,输出5V控制电压,接入一个CON\_8P连接器,结合两个L1105模块,控制相机的电机系统4个方向的三极管MMBT3904放大,结合微处理器的内部程序,输出报警语音;LED补光模块中,由STM8S003F3的LED\_EN接口输出高电平,通过MMBT3904三极管进行功率放大,控制CJQ4499场效应管,输出12V电压,使LED达到补光效果;NRST端口支持低电平复位;PA1、PA2端口外加振荡器,可以实现控制器补光和转向的定时启动。拍摄系统的相机拍摄、摄像头转向、相机并下拍摄补光、RFID读卡系统开启均由STM8S003F3芯片控制完成,外部输入单一控制信号,实现智能驱动控制。控制操作界面是安装在手柄处的控制面板,该控制面板包括5个方向键和2个伸缩按键,如图6所示。位于控制面板5个方向键中间的键是电源键,负责按指令启动摄像头、RFID、补光灯以及启动后的读卡指令,启动后长按可以实现关闭以上功能。其他4个方向键对应上、下、左、右分别控制摄像头的水平360°翻转以及90°向前翻转。2个伸缩按键可以通过电机驱动芯片,在收到伸、缩按键指令后,控制电机的正、反转,再带动丝杆实现伸缩。



图 6 控制面板示意图

### 2.1.3 拍摄系统

拍摄系统由高清摄像头、转向电机和自动补光装置组成。智能探测装置头内部设置 4K 高清摄像头和转向的机械结构，通过调控装置内的机械结构，可以全方位、

# 测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

全视角、高像素采集电力工井内部影像数据，并实时回传至可视终端，实现全景可视化探测。摄像头的内置电机在人为操控下，摄像头由电机齿轮带动旋转，可以实现摄像头4个方向的自由转动，如图7所示，开关S4、S5、S6、S7分别对应上下左右4个按键，闭合S4实现相机摄像头向上360°翻转，闭合S5实现相机摄像头向下360°翻转，闭合S6实现相机摄像头向左90°翻转，闭合S7实现相机摄像头向右90°翻转。根据不同深度的电力工井，可按动伸缩开关，伸缩杆由电机带动丝杆旋转，从而推动伸缩杆变换长度，实现灵活勘测。电机系统的供电系统由电源降压系统5 V USB电源供电，与开关S5、S6、S7、S8及L9110S推挽式功率放大器构成回路，驱动电机转动，实现相机摄像头多角度拍摄。

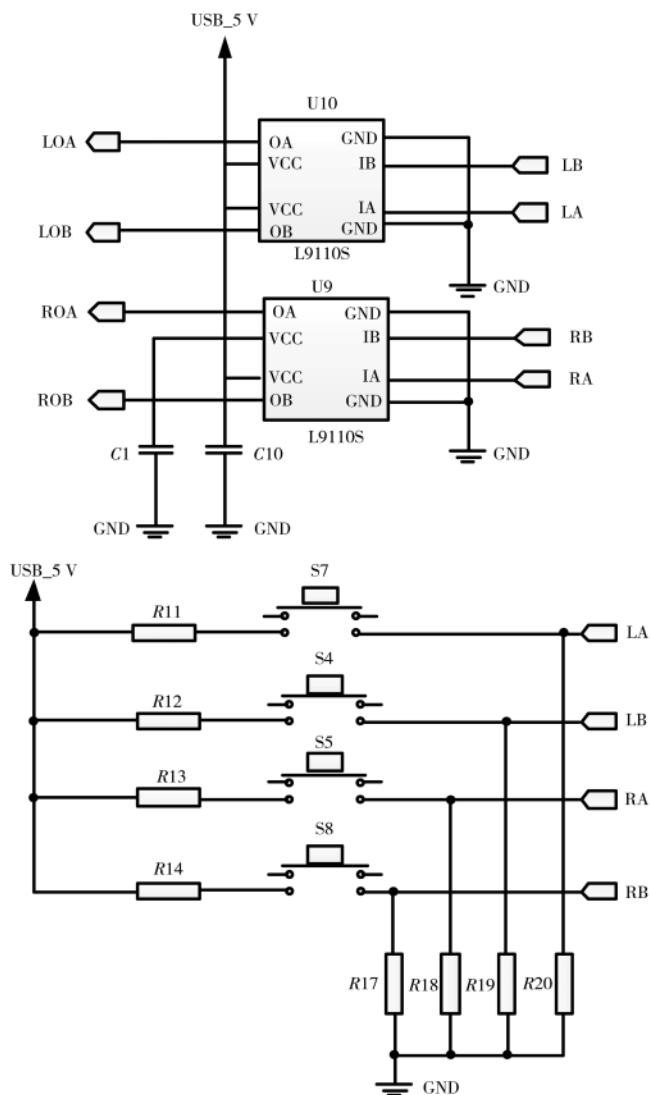


图7 相机电机控制电路图

考虑到井下光线不足，智能探测装置配置了自动补光部件，根据井下光线情况自动补光，同时也支持手动调光，确保所拍摄的影像数据清晰可见。如图8所示，STM8S003F3芯片接口LED\_BN输入控制信号，通过三极

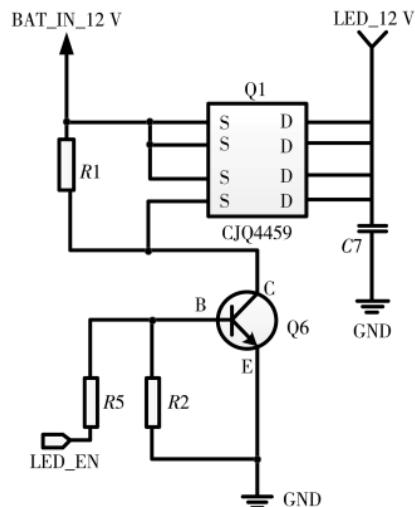


图8 相机系统补光电路

管放大作用控制CJQ4459模块，从而控制12 V LED灯的供电，配合STM8S003F3控制芯片的控制信号，进行相机拍摄补光。

## 2.2 气体检测系统

为了确定气体种类和浓度，装置配置了气体检测辅助功能模块，在探测电力工井下气体种类的同时，监测井内各种气体浓度含量并对异常状态报警提示，保证现场工作人员人身安全。探测装置配置的气体检测仪可检测的气体种类也十分多样，可以检测的气体有：硫化氢、一氧化碳、氧气、二氧化硫、磷化氢、氨气、二氧化氮、氯化氢、氯气、二氧化氯、臭氧和其他可燃气体等多气体。

气体检测模块使用的是红外气体传感器。红外气体传感器是一种基于不同气体分子的近红外光谱选择吸收特性，利用气体浓度与吸收强度关系，鉴别气体组分并确定其浓度的气体传感装置。红外气体传感器的基本原理示意图如图9所示，气体进入传感器内部，利用气体浓度与吸收强度关系，判别气体种类。红外传感器的应用广，可靠性很高，选择性好，精度高，无毒，受到环境的干扰小，寿命比较长。一般气体传感器都集成在一个电子装置模块中，常见气体检测集成模块种类如图10所示。

基于上述原理，该探测装置使用的是如图11所示的海帅BH-40四合一有毒有害气体检测仪，即可燃氯气

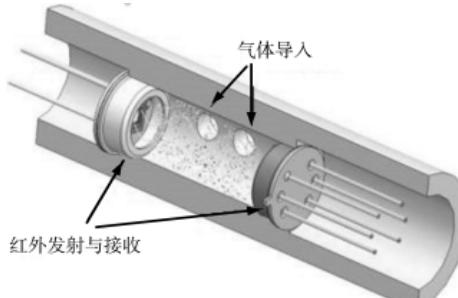


图9 红外气体传感器的基本原理示意图

# 测控技术与仪器仪表

## Measurement Control Technology and Instruments



图 10 常见气体检测集成模块



图 11 海帅 BH-40 气体检测器

氧气硫化氢浓度便携式检测仪,基本满足常见的电力井下作业要求。海帅 BH-40 气体传感器具有低电流、响应速度快、测量范围大、能够适应复杂的工作环境等优点,基本参数如表 1 所示。探测装置的整个系统由检测传感器和气体数据显示屏构成,两者之间通过同轴电缆相互通信。

表 1 气体检测模块的相关参数

项目	参数
工作电流/mA	≤50(催化≤100)
测量气体	有毒、可燃气体、挥发性有机物气体
测量范围	0~10 000
检测原理	红外气体传感技术
测量单位	ppm、%VOL
响应时间/s	<30
预热时间/s	30
工作温度/℃	-20~70
工作湿度/%RH	10~95(无凝露)

在实际的电力井下测设发现,在 4 个不同的电力工井 1#、2#、3#、4# 进行了气体测试,测试结果如表 2 所示,不同的电力井可燃气、氧气浓度、一氧化碳、硫化氢浓度不同,海帅气体检测器基本满足一般电力工井中气体检测的要求。

### 2.3 电缆电子标识信息读取系统

电缆电子标识信息读取系统结合了电缆电子标签、

表 2 4 个不同的电力工井测试结果

测试井号	可燃气/%LEL	氧气/%VOL	一氧化碳/PPM	硫化氢/PPM
1#	0	22.3	0	0
2#	0	22.3	56.9	0
3#	78	22.0	40	1
4#	79	22.1	2	0

RFID 和手机终端数据显示等技术,为人工检修提供便利。目前,在各种井下配电网中的电缆均已加挂 RFID 电子标识,可通过无线电信号识别特定目标并读写相关数据,而无需识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触。在电缆上加挂 RFID 标识牌,通过特定扫描仪器扫描标识牌即可在智能终端获取相关信息数据,同时挂载了 RFID 电子标识的电缆线,在高清摄像机的拍摄下,检修人员能够清晰观察井下电缆表皮是否破损、变形,以及电缆周围是否发生积水状况,结合探测装置的电缆电子标识的读头装置,无需人员下井,即可通过装置自动伸缩功能在井上扫描井内电缆的电子标识牌,实时将电缆所在的位置和参数信息上传到终端,检修人员即可对故障信息进行收集。

电缆信息由 RFID 标签确定,并通过传递实现人机交互。为实现智能化功能应用,装置配置了智能终端,该智能终端可搭载 7 英寸高清 LCD 显示屏,可清晰显示采集的视频图像,流畅运行终端设备。基于 Android7.0 系统四核 ARM 64 位 Cortex-A53 架构,主频 1.8 GHz, 支持全网通 4G 模块;支持扩展 GPS 模块、SATA 硬盘(USB3.0)、HDMI 视频采集(USB3.0)、800 万像素 USB 摄像头,保证井下信息的准确采集并显示。后背拓展接口集成嵌入式控制板、各类数据接口,实现对装置的数据顺利收发。装置的智能终端是专门用于电力通道巡检的 APP,在 APP 的操作界面上,电力工人可以定位当前检修人员位置,可以对地图进行放大和缩小,在地图上点击查看电缆设备信息,同时兼有 RFID 扫描功能,能够将采集的信息传回终端。RFID 信息读取流程如图 12 所示,RFID 采集来的信息由蓝牙传输到智能终端后台,操作手机 APP 便可获取电缆信息,使得整个检修过程更加简单。

### 3 结论

本文介绍了一种便携式电力工井可视化智能探测装置设计方案,经过加工制造成品设备后,在实际的电力工井中进行巡检测试。经过多次测试发现,便携式电力工井智能探测装置的

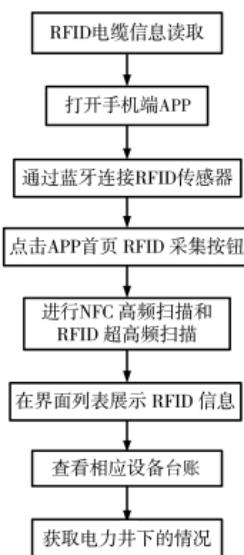


图 12 RFID 信息读取流程图

# 测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

气体检测模块检测、视频拍摄、电缆电子读取均能正常运行,气体浓度种类显示、视频拍摄传输、电缆电子标签读取均达到预期设计效果,证明该装置对于辅助电力检修工人有较大帮助。

## 参考文献

- [1] 陈燕,陈阳.基于ARM的井下便携式多气体检测仪研究[J].仪表技术与传感器,2014(3):20-22.
- [2] 郭艳梅,石岩,岳红新.煤矿危险气体探测机器人结构和防爆设计[J].煤炭技术,2016,35(9):260-261.
- [3] 张恒,贺秀玲.基于电力线载波传输技术的井下有毒气体监测系统的设计[J].工矿自动化,2010,36(2):87-89.
- [4] 倪少军.煤矿井下电力电缆故障分析及探测技术应用[J].神华科技,2011,9(2):24-25.
- [5] 杨占龙.恶劣环境下电力电缆故障分析及探测方法[J].商情,2017(5):201.
- [6] 张信安.地下管线探测在电力电缆线路排查中的应用[J].城市道桥与防洪,2014(7):399-401.

(上接第52页)

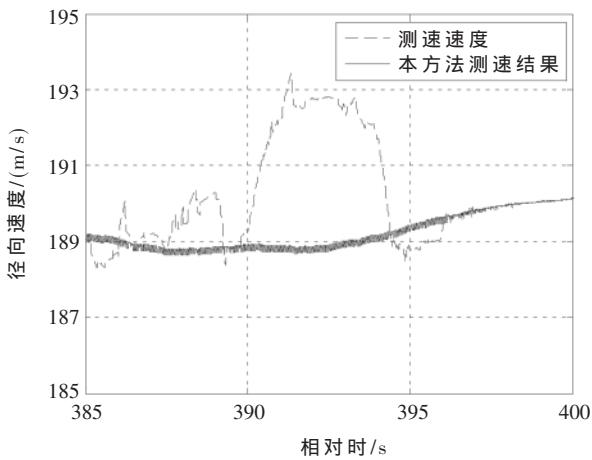


图10 某雷达跟踪机载应答机的测速结果3

法均可以保证测速系统持续连续稳定地跟踪,消除了跳谱线的错误。

## 5 结束语

单脉冲测量雷达径向速度参数的测量结果对目标定轨具有重要意义,而测速结果解模糊又是单脉冲测量雷达测速系统的关键,受目标特性的影响,回波信号出现时常跳变,非常容易造成测速结果跳谱线。本文提出的方法通过对测速回路误差能量的判别,可以及时判别跳谱线现象,并及时纠正错误,保证测速结果连续有效。通过对实际雷达记录信号的反演,证明该方法是有效的。

## 参考文献

- [1] 王德纯,丁家会,程望东.精密跟踪测量雷达技术[M].北京:电子工业出版社,2006.

- [7] 耿旭旭,张丽,郭灿新,等.便携式XLPE电缆绝缘检测装置[J].电工技术,2009(11):27-29.
- [8] 冯凯,郭雨,赵端,等.井下热电能量收集装置研究与设计[J].电子技术应用,2018,44(12):93-96.
- [9] 杨扬,陈亮.有毒气体检测报警系统的研究[J].科技风,2019(25):86.
- [10] 岳云涛,贾佳,王靖波.基于LoRa无线传输技术的电气火灾监控系统设计[J].电子技术应用,2018,44(12):32-35.
- [11] 喻昊,何峰,徐俊,等.基于窄带物联网技术的电力井感知网络构建[J].江西电力,2018,42(10):40-42.

(收稿日期:2019-10-31)

## 作者简介:

黄震希(1992-),男,硕士,助理工程师,主要研究方向:电力系统及其自动化。

黄毅标(1982-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力系统及其自动化。

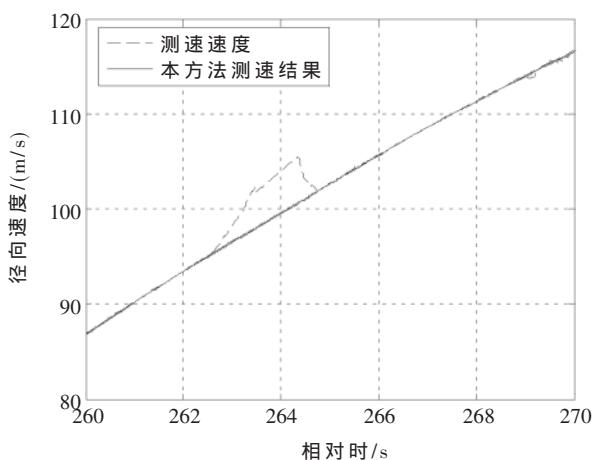


图11 某雷达跟踪机载应答机的测速结果4

- [2] 杰里L·伊伏斯,爱德华K·里迪.现代雷达原理[M].卓荣邦,杨士毅,张全金,等,译.北京:电子工业出版社,1991.
- [3] BARTON D K, LEONOV S A. Radar technology encyclopedia[M].[S.l.]: Artech House, 1997.
- [4] 徐敏.单脉冲测量雷达测速技术研究[J].现代雷达,2005,27(1):58-61.
- [5] 蔡玖良,桂佑林,汪文英.一种单脉冲测量雷达测速新方法[J].现代电子技术,2014,37(15):15-19.

(收稿日期:2019-11-21)

## 作者简介:

程望东(1963-),男,研究员级高级工程师,主要研究方向:雷达总体、雷达伺服系统等。

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所