

煤矿井下应急救援无线生命体征监测系统设计

宋先明¹, 温良², 王红尧², 殷大发², 李起伟², 姚永辉², 孟庆勇²

(1. 兖矿集团有限公司 救护大队, 山东 邹城 273500; 2. 煤炭科学研究总院, 北京 100013)

摘要: 针对现有煤矿应急救援中通信指挥系统技术落后, 无法获取救护队员个体体征参数等各种信息的现状, 提出了无线生命体征监测技术在煤矿应急救援中的应用研究, 介绍了无线生命体征监测系统总体结构, 研究了无线生命体征监测关键技术, 包括生命体征传感器结构设计、生命体征监测通信协议设计以及救护队员生命体征监测软件设计。研究结果可为井下救护队员自身采取针对性措施确保自身安全提供依据。

关键词: 生命体征; 应急救援; 无线监测; 传感技术; 煤矿

中图分类号: TD77.4 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2012)06-0086-03

Design of Wireless Monitoring and Measuring System with Vital Signs in Mine Emergent Rescue

SONG Xian-ming¹, WEN Liang², WANG Hong-yao², YIN Da-fa²,

LI Qi-wei², YAO Yong-hui², MENG Qing-yong²

(1. Emergency Rescue Teams, Yanzhou Coal Group Co. Ltd., Zoucheng 273500, China;

2. China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: According to the technology backward of the communication command system in the available mine emergent rescue, it is hard to obtain an individual vital signs parameter and different information status of each rescue member and thus the application study on the wireless monitoring and measuring technology of the vital signs to the mine emergent rescue was provided. The paper introduced the general structure of the vital signs wireless monitoring and measuring system and had a study on the key technologies of the vital signs wireless monitoring and measuring, including the structure design of the vital signs sensor, the design of the vital signs monitoring and measuring communication protocols and the design of the vital signs monitoring and measuring software for the mine rescue members. The study results would provide the basis for the mine rescue members to take the right measures to ensure self safety.

Key words: vital signs; emergent rescue; wireless monitoring and measuring; sensing technology; coal mine

由于煤矿井下工作环境具有特殊性, 重大灾害事故时有发生, 因此, 在继续提升安全装备的同时, 如何在灾变发生时最大限度地降低人员伤亡, 是目前需要解决的问题^[1]。我国煤矿救护工作在煤矿的灾害救治中具有重要作用, 在煤矿应急救援技术装备中, 目前救护队员用的正压氧气呼吸器、压缩氧自救器等已经达到了较高水平, 但通信指挥系统还主要使用比较落后的救灾通信电话, 救灾队员深入井下时, 地面指挥人员无法获取救护队员个

体体征参数等各种信息, 导致救护队员自身无法采取针对性措施确保自身安全^[2]。笔者针对以上问题, 从救护队员生命体征参数的采集、存储、传输、显示、报警等角度入手, 全面系统地研究煤矿应急救援无线生命体征监测技术, 保障救护队员的自身安全, 整体提升应急能力和效率。

1 无线生命体征监测系统总体设计

无线生命体征监测系统包括井上和井下设备 2

收稿日期: 2012-01-04; 责任编辑: 赵 瑞

基金项目: 煤炭科学研究总院技术创新基金资助项目 (2010CX08)

作者简介: 宋先明 (1968—), 男, 山东滕州人, 现任兖矿集团有限公司救护大队总工程师。E-mail: sxianming9@163.com

网络出版时间: 2012-06-15 10:27:00; 网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.86_023.html

引用格式: 宋先明, 温良, 王红尧, 等. 煤矿井下应急救援无线生命体征监测系统设计 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (6): 86-88, 124.

部分，井上主要由计算机、监控软件、网络传输接口等组成，实时汇聚监测全矿所有下井救护队员体征的数据^[3]。井下主要由矿用本安型数据采集仪、矿用本安型无线接收器、矿用本安型无线访问节点、矿用本安型无线路由器、矿用生命体征传感器和矿用隔爆兼本质安全型网络接口等组成。矿用隔爆兼本质安全型网络接口负责井上与井下数据交互，2 个网络接口之间由光纤连接。无线访问节点负责体征信息的采集与集成，路由器负责不同网段数据的转发，系统结构如图 1 所示。

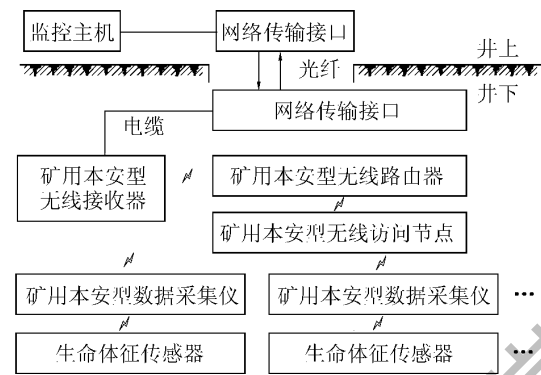


图 1 无线生命体征监测系统总体结构

接收器与网络接口之间通过以太网 RJ45 传输，最大传输距离为 10 m。路由器与接收器无线传输方式为 OFDM/BPSK/QPSK/16QAM/64QAM，工作频率 5.725 ~ 5.850 GHz；发射功率 10 ~ 23 dBm；中继设备与接收设备之间的传输距离 0 ~ 500 m（无遮挡）。无线访问节点与采集仪之间无线通信方式为 FHSS，工作频率 901 ~ 928 MHz；发射功率 15 ~ 30 dBm；中继器与采集仪之间的无线传输距离 0 ~ 1 000 m（无遮挡）；采集仪与生命体征传感器之间采用蓝牙通信方式，工作频率 2.402 ~ 2.480 GHz。发射功率 3 ~ 6 dBm，采集仪与生命体征传感器之间的无线传输距离 0 ~ 5 m（无遮挡）。

2 无线生命体征传感关键技术

2.1 关键参数传感技术原理

1) 人体姿态监测。煤矿井下灾后环境更加复杂^[4-5]，有毒有害气体浓度高，浓烟浓雾条件下视线模糊，障碍物多，当救护队员因中毒或障碍物跌倒，而又无法被其他救护队员及时救起时，如果救护队员姿态得不到监测，地面指挥人员将无法得知，从而失去营救机会。当救护队员摔倒时，生理

参数发生改变，同时产生 X、Y、Z 三个正交方向的倾斜、撞击和加速度，通过监测这些参数，可以反映人体的平衡状况。将三轴向加速度传感器佩戴在救护队员胸部中央，通过传感器采集的 3 个方向加速度值，进行矢量合成便可计算出人体位姿。

2) 人体心率测量。传统的人体心率测量方法是基于脉搏传感器的间接测量。常用的脉搏传感器主要有红外和光电脉搏传感器。红外脉搏传感器是利用红外检测由于心脏的跳动，引起手指指尖的微血容积发生相应的变化，经过信号放大、调理等电路处理^[6-7]，光电脉搏传感器是在恒定波长的光源的照射下，通过检测透过手指的光强间接测量人体的脉搏信号^[8-10]，这 2 种通过手指检测间接测量人体心率的方法，对静止的人效果较好，但煤矿井下灾后救援时，救护队员移动速度快，且环境复杂，宜采用质量小、体积小、抗电磁干扰能力强、适合运动条件下使用的光纤光栅心率传感器。使用时，把传感器佩戴在人体胸部处，心脏跳动对传感器产生压力，引起光纤光栅布拉格波长改变，采集的模拟信号通过信号放大器放大后由 A/D 转换器转换成数字信号，再经微处理器处理后传送出去。

2.2 生命体征传感器结构设计

为了使下井救护队员携带方便，笔者研究一款轻便耐用的传感器（图 2），将心率、温度、速度、呼吸频率、姿态的生命体征传感元件内置于其中，具有监测特征全面、质量小、携带方便、精度高、速度快、防水、易于拆卸和清洗等优点，同时生命体征信息由无线移动数据采集发送端处理，通过移动中继传输至地面指挥中心，从而实现煤矿井下救援无线实时远程监控。采集的所有相关信息将被系统软件自动保存，可用于事后分析处理。

电源				
无线蓝牙模块				
神经元芯片				
A/D 采样				
传感元件				
温度	心率	呼吸频率	速度	姿态

图 2 生命体征传感器结构

传感器额定工作电压 3.7 V。传感器由 1 节锰酸锂电池供电，容量 2 A·h；电池最高输出电压 4.2 V，最大输出电流 2.8 A。电池采用环氧树脂

胶封，胶封厚度 1 mm。新电池正常工作时间不小于 12 h。

2.3 无线生命体征监测通信协议

1) 无线数据采集仪与生命体征传感器握手协议。无线数据采集仪装有串口通信固件，可通过串口命令进行通信配置，使无线数据采集仪与生命体征传感器成一对一透明传输模式。命令格式如下：

①命令起始位：十六进制，格式为 2E。②命令字：RESET 为复位命令；LADDR 为本地蓝牙地址显示；LUART 为蓝牙串口参数显示；UART-BAUDRATE 为设置波特率；UARTBINDREADDR 为绑定生命体征模块蓝牙地址。③数据：可选，部分命令没有数据段。④结束符：回车（十六进制格式为 0d）。

无线数据采集仪与生命体征传感器握手流程如图 3 所示。

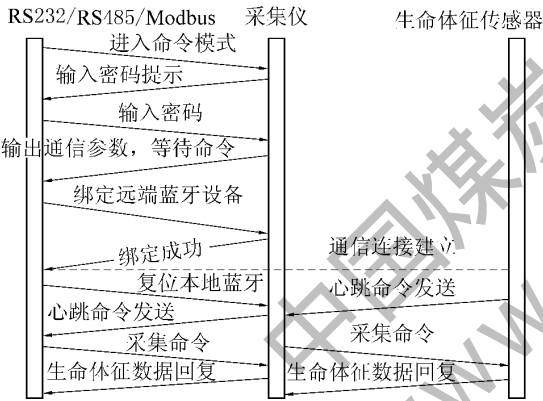


图 3 无线数据采集仪与生命体征传感器握手流程

2) 生命体征数据包格式如下：①起始位为 0xa8eb。②数据长度为后续所有数据的长度，包括校验和。③校验和采用 CRC 校验，校验和的计算从数据长度字段开始，生成多项式为 $y^{16} + y^{12} + y^5 + 1$ ，其中 y 为信息字段代码字符，使用的初始值为 0xFFFF。④结束符为 0x03。

数据段的格式如下：系统帧头、仪器帧头、传感器，其数据说明见表 1—表 3。

表 1 系统帧头详细的数据说明

元素	大小/B	取值范围	描述
起始位	1	0xA8	帧头
数据长度	2	0 ~ 65 535B	除帧头和数据长度外，后续部分的数据长度

表 2 仪器帧头详细的数据说明

元素	大小/B	取值	描述
起始位	1	0XE1	单元起始
单元数据长度	1	0 ~ 255B	该单元数据的长度
序列号	1	20	版本序列号
传感器名	1	1	传感器名字编号
传感器状态	1	0 ~ 3	传感器工作状态

表 3 传感器详细数据说明

元素	大小/B	取值范围	描述
起始位	1	0XEB	单元起始
单元数据长度	1	0 ~ 255B	该单元数据的长度
年	2	2000—2099 年	日期
月	1	1 ~ 12 月	日期
日	1	1 ~ 31 日	日期
秒	3	0 ~ 86 400 s	一天的第几秒
电池电压	2	0 ~ 4.2 V	电池电压指示
姿态	2	-90 ~ 90°	位姿
心率	2	0 ~ 255 次/s	心跳次数
呼吸频率	2	0 ~ 80 次/s	呼吸次数
体温	2	0 ~ 70 ℃	皮肤温度
速度	2	0 ~ 100 m/s	人员移动速度
报警状态	1	0 ~ 5	告警数据

2.4 煤矿应急救援无线生命体征监测软件设计

煤矿应急救援无线生命体征监测信息平台是集救护队员自身体征信息采集、存储、分析、处理等功能于一体的安全信息平台，为指挥人员实时了解每个救护队员的身体状况、决策指挥提供依据。该平台主要包括数据采集模块、实时显示模块、数据分析模块、队员信息管理模块、用户权限管理等。

①数据采集模块采用 C#、Windows Socket、多线程等技术进行开发，运行在指挥中心主机上，将数据实时保存到数据库服务器中，是实时响应接收数据的总控制系统，具有通信状态诊断、数据存储等功能。②实时显示模块采用 VS.NET 进行开发，主要实现灾变区域救护队员信息、体征参数情况等图表显示、实时动态报警提示等。③数据分析模块主要包括救护队员身体状况的数据分析，比如体温分析、姿态分析、心率分析、呼吸状况分析等。④队员管理模块主要包括救护队员的基本信息，如姓名、性别、身高、血型、体重、救护队名称、班次、工种职务、照片、联系电话等信息。

生命体征数据配置见表 4，通过数据设置窗口可以设置生命体征参数的告警阈值。生命体征监测数据如图 4 所示，从图 4 可以看出该系统监测效果（下转第 124 页）

常温强度、高温强度和热稳定性都最低,当干燥温度达到 250 ℃ 后,由于型煤有开裂的现象,矿物中结晶水有脱失,型煤常温强度、高温强度和热稳定性同样较低,干燥温度为 150 ℃ 时,常温强度和高温强度最好,当干燥温度为 200 ℃ 时,热稳定性最好,故认为最佳干燥温度在 150 ~ 200 ℃。

3 结 语

主要以单因素试验的方法考察了原煤粒度组成、成型水分、搅拌时间、干燥温度和干燥时间对型煤常温强度、高温强度和热稳定性等性能的影响趋势,然后着重分析了各个工艺参数对型煤性能影响的机理,最后在此分析的基础上,给出了各个工艺参数的最佳取值范围,以期为企业生产型煤提供参考。

参考文献:

[1] 徐振刚,刘随芹. 型煤技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001: 19.

- [2] 韩锦德,高俊,徐桂芹. 工业型煤的现状与开发应用 [J]. 洁净煤技术, 2000, 6 (1): 22-23.
- [3] 王会,王丽娟. 民用型煤推广应用现状及对策分析 [J]. 环境保护科学, 2003, 29 (2): 4-5.
- [4] 梁彩琴,王小明,马志国,等. 影响型煤成型的工艺控制分析 [J]. 洁净煤技术, 2005, 11 (2): 26-28.
- [5] 徐德平,张香兰,徐海霞. 原料煤粒度对型煤性能的影响 [J]. 洁净煤技术, 2000, 6 (4): 10-12.
- [6] 刘随芹. 无烟煤气化型煤高温强度测定方法的研究 [J]. 煤炭学报, 2000, 25 (2): 203-207.
- [7] 张传祥,宋士玉,谯伦建,等. 型煤热稳定性测定方法的研究 [J]. 洁净煤技术, 2001, 7 (4): 32-35.
- [8] 高振森,周国江,许占贤,等. 锅炉型煤用改性淀粉粘结剂的研究与应用 [J]. 选煤技术, 2002 (1): 19-21.
- [9] 彭好义. 石灰立窑代焦型煤的研制及其干燥与燃烧特性的研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2009: 38-39.
- [10] MA HAMUD M M, NOVO M F. The Use of Fractal Analysis in the Textural Characterization of Coals [J]. Fuel, 2008, 87 (2): 222-231.
- [11] 徐兵. PL 系列复合粘结剂的研制及用于 COREX 型煤的探讨 [C] // 2007 中国钢铁年会论文集. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
- [12] 宋永玮,李新生,吴家珊,等. 纸浆黑液防潮型煤粘结剂及工业型煤的研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 1990 (4): 22-26.

(上接第 88 页)

较好。图 4b 中位姿表示人体所处位置与人体直立时的夹角,值为 0 时,表示人体直立,为负数时表示人体后仰,为正数时表示人体前倾。

表 4 生命体征数据配置

生命体征	心率/ (次·min ⁻¹)	呼吸频率/ (次·min ⁻¹)	体温/ ℃	电池电 压/V
安全下限	50	40	35	3
安全上限	120	80	45	5
警报下限	49	39	34	2
警报上限	121	81	46	6

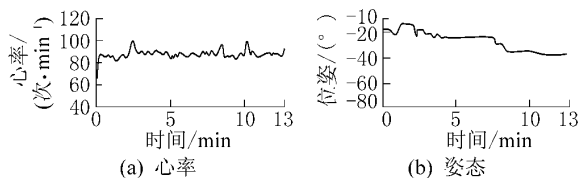


图 4 生命体征监测数据

3 结 语

针对目前我国煤矿应急救援中无法获取煤矿井下救护队员生命体征,无法保证救护队员安全和自身安保问题,进行煤矿井下无线生命体征监测技术研究,研究成果将为煤矿实施救援和救护队员自救提供依据,对保证救援队员的自身安全,提高救援工作的实效性,最大限度地营救被困矿工,降低事

故损失,增强煤矿救援决策能力具有重要意义。

参考文献:

- [1] 唐述明,贾春玉,刘林,等. 我国矿山救护体系建设现状分析 [J]. 矿业安全与环保, 2009, 36 (S1): 188-190.
- [2] 尚亮. 基于 RFID 的矿山应急救援搜救技术与系统研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2008: 20-50.
- [3] 佚名. 煤矿应急救援通信及安全监测指挥系统 [EB/OL]. [2011-12-14]. <http://www.ccrise.cn/show.aspx?id=30&cid=51>.
- [4] 刘建,朱华,郑之增,等. 煤矿救援机器人的通信系统设计 [J]. 煤炭科学技术, 2009, 37 (8): 87-90.
- [5] 贾建华,张静. 基于 GIS 的矿井救援机器人定位导航研究 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38 (5): 76-78.
- [6] 丁诚诚. 基于 Zigbee 的人体传感网的设计与实现 [D]. 合肥: 安徽大学, 2010.
- [7] 谢昕. 基于物联网的远程家庭健康监护传感器网络研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
- [8] 王华亮. 基于蓝牙传输的便携式脉搏信号检测与分析系统 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2011.
- [9] 戴君伟,王博亮. 光电脉搏传感器的研制和噪声分析 [J]. 现代电子技术, 2006 (2): 78-80.
- [10] 韩清鹏. 脉搏信号的非线性分析及其不同情绪和环境的影响研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2007.