

文章编号:1671-251X(2024)S1-0088-04

煤矿多参数复合风险智能分级决策预警系统

张雪军^{1,2,3,4}, 黎卓芳⁵

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司, 北京 100013; 2. 煤炭智能开采与岩层控制全国重点实验室, 北京 100013; 3. 煤矿应急避险技术装备工程研究中心, 北京 100013; 4. 北京市煤矿安全工程技术研究中心, 北京 100013; 5. 中国信息通信研究院, 北京 100083)

摘要:井下人员携带设备过多、设备功能单一及智能化程度较低,无法实时监测井下人员身体状态及周边环境情况,且井下环境参数超限或井下人员身体出问题后无法及时预警。针对上述问题,设计了一种煤矿多参数复合风险智能分级决策预警系统。该系统包括地面控制平台、矿井传输网络和智能穿戴设备(包括智能手环和智能矿灯),智能穿戴设备收集环境参数及人员体征参数,并通过传输网络上传至地面控制平台,平台可实时展示、存储、分析数据,并发送不同级别的预警信息。该系统实现了通话调度、人员定位、环境参数检测、健康数据监测、拍照摄像、风险分级预警等功能,将环境参数和人员体征参数进行融合,并对数据进行智能分析并及时预警,有效降低了人员在井下工作的风险程度,同时可辅助管理人员进行分析决策,提高了煤矿安全管理水平。

关键词:风险预警;多参数监测;分级预警;人员体征;智能穿戴设备

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Intelligent risk classification, decision-making and early warning system for coal mine with multi-parameter composite

ZHANG Xuejun^{1,2,3,4}, LI Zhuofang⁵

(1. CCTEG China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. State Key Laboratory of Intelligent Coal Mining and Strata Control, Beijing 100013, China; 3. Engineering Research Center for Technology Equipment of Emergency Refuge in Coal Mine, Beijing 100013, China; 4. Beijing Engineering and Research Center of Mine Safe, Beijing 100013, China; 5. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100083, China)

0 引言

井工煤矿开采环境复杂、危险因素较多,作业人员健康状况一旦出现问题,极易引发安全生产事故。井下人员面临高温、高湿、高压等极端条件,因此其健康状况需要得到及时监测和保护^[1-2]。

近年来,煤矿井下对于人员的监测基本上只做到人员位置和周边环境监测,但很少能着眼于井下人员身体健康状况变化^[3-4]。本文结合我国煤矿安全生产需求,构建多参数复合风险智能分级决策预警系统。通过单兵装备实时监测人员的生理指标(如心率、体温、血氧饱和度等)及环境指标(如温度、

湿度、氧气浓度等),将环境参数和人员体征参数相融合,建立多源异构信息动态融合分析度量机制,实现井下作业人员“人-机-环”数据的多维融合、管控、分析、预警,辅助管理人员进行决策,提高煤矿安全管理水平。

1 系统组成

多参数复合风险智能分级决策预警系统架构如图1所示。系统自上而下分为地面控制平台、网络传输和基础设备。

1.1 地面控制平台

控制平台承担实时监测、预警、数据存储和历史

收稿日期:2024-01-25;责任编辑:盛男。

基金项目:天地科技股份有限公司科技创新创业资金专项项目(2023-TD-ZD005-001,2022-2-TD-ZD001,2022-TD-ZD001);煤炭科学技术研究院有限公司新产品新工艺开发项目(2023CG-ZB-01)。

作者简介:张雪军(1993-),男,河北石家庄人,现从事矿井通信技术的研究工作,E-mail:zhangxuejun@ccrise.cn。

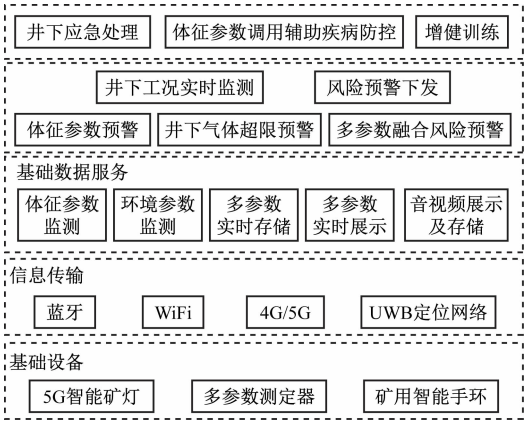


图1 多参数复合风险智能分级决策预警系统整体架构

查询等任务。控制平台通过煤矿传输网络^[5-7]实时收集井下和井上的各种参数,包括环境参数(如温度、湿度、气压等)及人员的体征参数(如心率、血压、体温等)。收集的数据可在平台上进行实时展示,使相关人员可直观了解当前的环境状况和人员生理状态。通过对收集的数据进行分析,平台能够实现预警功能。例如,若环境参数出现异常,或人员体征参数异常,平台会进行预警提示。预警消息的发送可以是自动的,也可由地面调度人员手动发送,增强了平台的灵活性和应对不同情况的能力。平台还可存储历史数据,从而井下人员体征参数变化可被记录和查看,不仅方便个人了解自己的健康状况变化,也可为医疗或健康咨询提供数据支持,以供后续的分析 and 查询。

1.2 基础设备

基础设备包括智能手环、多参数测定器和智能矿灯^[8-9]。

智能手环可实时监测人体生命体征数据,并通过蓝牙技术将监测到的数据传输至智能矿灯内置的应用程序中^[10-12]。

多参数测定器用于监测井下环境,将采集的一氧化碳、氧气、甲烷等关键气体数据通过蓝牙实时传输至智能矿灯。

智能矿灯具有照明模块、蓝牙模块和定位模块,可实现精确定位,实时展示井下人员位置。智能矿灯的灯头位置嵌入摄像头,可实时将井下人员工作画面通过网络回传至地面控制平台^[13]。

1.2.1 智能手环

智能手环实时监测井下人员体征状态,实时记录井下人员的睡眠、血氧饱和度、体温、心率、血压等体征参数^[14-16],并依托不同传输方式将监测的体征参数上传至地面控制平台。以常规手环为基础,进行功能性设计、本安化改造,研制一款防尘、防水、防摔的矿用智能手环,如图2所示。



图2 矿用智能手环实物

矿用智能手环采用热释电红外测温传感器,基于热释电红外测温技术^[17],其能对井下人员体温进行实时监测。测量范围:32.0~42.9℃;精度:0.1℃;误差:±0.3℃。

利用PPG(Photo Plethysmo Graphy,光电容积描记波)脉搏测量技术实时测量井下人员的脉搏情况。PPG脉搏测量技术利用LED对皮肤进行照射,并测量经过人体血管和组织反射、吸收后的衰减光,从而提取出脉搏波信号。脉搏测量范围为45~200次/min,准确率为99%以上^[18-19]。

智能手环采用基于脉搏波特征参数的血压测量方法来测量井下人员血压。通过分析脉搏波特征参数与血压之间的相关性,建立血压估计的回归方程,从而实现对血压的实时监测。收缩压测量范围:120~180 mmHg;舒张压测量范围:60~100 mmHg;误差:±10 mmHg。

智能手环内置的3轴陀螺仪和3轴加速度计用来精准监测井下人员的运动状态,利用光电传感器实时监测。

由于煤矿井下特殊环境,矿用智能手环需要进行本安化改造。基于安全性较高的锰酸锂材料,设计了一款本安型智能手环电池,如图3所示。并对电池的保护板进行了过放、过充、过流、短路等保护措施,达到矿用安全标准。经过挤压、针刺、热冲击、强制放电、过充电、短路、重物冲击共7项严苛实验后,电池均未发生起火爆炸现象。



图3 本安型智能手环电池实物

1.2.2 智能矿灯

智能矿灯用于监测井下环境并为井下人员提供通信、人员定位等功能。智能矿灯内嵌环境参数检测模块,用于检测井下环境中各种气体含量;智能矿灯内嵌的摄像头用于拍照、视频录制;智能矿灯嵌入的人员定位模块用于实现井上服务器实时跟踪井下

作业人员的位置信息。通过井下传输网络将智能矿灯检测到的数据、获取的图像、人员位置信息通过井下传输网络实时上传至地面控制平台,通过平台可实时监测环境和井下人员位置^[20]。

2 系统关键技术

系统将实时采集的人员体征、环境数据进行融合分析,通过分级预警机制自动进行预警等级划分,并依据预警等级,自动向预定义群组进行报警信息下发。

2.1 多参数融合预警技术

多参数复合风险智能预警模型如图 4 所示。该模型结合了多源数据(包括体征参数、运动行为和环境参数等),能够对井下人员和工作环境的风险进行融合分析和预警。此外,该模型还具有基于生理指标、运动行为和环境参数关联的心理状态监测分析及职业病风险分析预测功能,进一步提升了风险评估的准确性^[21]。

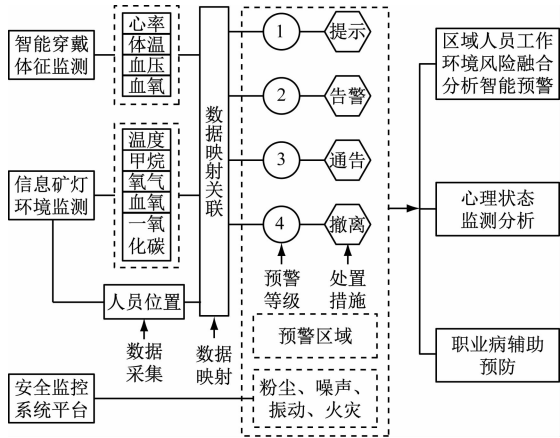


图 4 多参数复合风险智能预警模型

多参数复合风险智能预警模型运用深度学习算法对井下人员的健康体征数据进行分析,利用数据的波动、趋势、时空关联等特征信息进行准确性和一致性的判定,并智能划定风险等级,实现健康监测与环境监测的风险融合分析与分级预警。

2.2 分级预警机制

针对多参数复合风险智能预警模型,提出了多源异构信息动态融合分析度量方法,可将不同类型、不同来源的体征、环境参数进行融合分析。将人体生命体征数据和作业环境气体数据结合,建立二维度多参数复合风险分析的分级预警机制,以更全面地评估风险情况。

二维度多参数复合风险分析的分级预警机制分为四重预警,即一级预警、二级预警、三级预警和严重预警。对于一级预警和二级预警,平台主要起到提示作用。预警消息会通过网络下发至智能矿灯和

智能手环。对于智能矿灯,文本消息会转换为语音提示;对于智能手环,文本消息会以振动方式提醒人员查看。当出现三级预警时,预警消息将会下发给井下工作小组,提醒注意其所在区域存在气体超限或同组内的人员体征参数异常。针对严重预警,平台会将消息下发至全矿井,使每个井下人员都能够获取到相应的预警信息^[22]。

系统根据不同的预警级别,采用特定的消息推送方式,将相关预警信息及时推送给相应的受众,从而确保人员在第一时间了解到安全风险,采取相应的防护措施,避免事故发生。

3 系统应用场景及功能

系统应用场景:① 井下作业安全监测:系统可实时监测井下环境(如空气质量、温湿度等)及作业人员的体征数据(如心率、血压等),以确保井下作业安全。② 救援和应急响应:在发生矿难等紧急情况时,系统可迅速定位被困人员位置,为救援队伍提供实时数据支持,提高救援效率和成功率。

系统功能:① 具备数据存储与分析功能,对井下环境数据进行长期记录和分析,以便发现季节性、周期性或长期趋势等特征,为预防事故提供参考和决策依据。② 提供培训和教育资源(包括紧急疏散演练、急救知识和设备操作技能等),以提高井下人员对安全的重视和应对危险情况的能力。③ 与应急救援机构或相关部门建立紧密联系,以便在发生紧急情况时能够快速响应,提供紧急救援支持。

4 结语

针对当前井下人员携带设备过多、功能单一及智能化程度较低等问题,建立了煤矿多参数复合风险智能分级决策预警系统,集成了通话调度、人员定位、环境参数检测、健康数据监测及拍照摄像功能,为矿井提供了一体化的智能预警解决方案。通过实时监测和分级预警,实现了井下人员、井下环境的实时感知与预警,既加强了安全生产和应急救援的保障力度,还为管理人员提供了决策支持。

参考文献:

[1] 郑学召,杨卓瑞,郭军,等. 灾后救援生命探测仪的现状和发展趋势[J]. 工矿自动化, 2023, 49(6): 104-111.

[2] 冯玉竹,魏剑南,马玉鑫,等. 基于物联网的可穿戴设备及生命体征监测系统[J]. 工业技术创新, 2023, 10(5): 106-115.

[3] 张振,陈盈泰,赵黎萍,等. 云平台的生命体征监测系统的研究和实现探讨[J]. 智慧健康, 2022, 8(33): 10-

13,37.

[4] 李晨鑫. 基于 5G 的矿用装备远程控制技术[J]. 工矿自动化,2023,49(9):90-97.

[5] 孙继平. 矿井人员位置监测技术[J]. 工矿自动化, 2023,49(6):41-47.

[6] 张立亚. 煤矿 5G 通信系统安全应用技术研究[J]. 工矿自动化,2021,47(12):8-12,45.

[7] 孟庆勇. 5G 技术在煤矿井下应用架构探讨[J]. 工矿自动化,2020,46(7):28-33.

[8] 孙皓楠,梁东云. 智能手环心率监测系统设计[J]. 无线互联科技,2022,19(5):59-60.

[9] 陈强. 智能手环硬件系统设计与实现[J]. 电子制作, 2021(21):19-22.

[10] 李鸣佩. 智能手环设计 and 研究[J]. 科学技术创新, 2021(28):194-196.

[11] 李梦婷, 曳永芳. 基于 STM32 的智能手环系统设计 [J]. 电子质量,2022(8):88-93.

[12] 陈天启,张玉乾,宗宝超,等. 基于心率及呼吸生命特征监测技术发展和应用[J]. 中国医疗器械杂志, 2021,45(2):188-193.

[13] 袁亮,俞啸,丁恩杰,等. 矿山物联网人-机-环状态感知关键技术研究[J]. 通信学报,2020,41(2):1-12.

[14] 张志军,马静. 煤矿井下作业人员实时安全状态监测系统设计[J]. 能源与环保, 2021, 43(11): 165-170,176.

[15] 孙春升,宋晓波,弓海军. 煤矿智慧矿山建设策略研究[J]. 煤炭工程,2021,53(2):191-196.

[16] 张传江,殷鹏,姚磊,等. 煤矿物联网单兵智能装备系统研发与应用[J]. 中国煤炭,2021,47(6):28-33.

[17] 盛明远,赵敬之,刘锦,等. 热源温度和距离对红外热释电传感器的影响研究[J]. 物理与工程, 2021, 31(1):114-119.

[18] 岳铭楷,黄宝震,樊明辉,等. 基于脉搏波速法的无创连续血压系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2021,21(9):78-82.

[19] 崔宏恩,朱茂林,张新白,等. 基于可穿戴智能手环的血氧饱和度性能评估研究[J]. 工业计量,2020,30(增刊 1):1-5,8.

[20] 段海贝. 基于 STM32 的多功能矿灯设计与验证[J]. 机械工程与自动化,2023(6):213-214,220.

[21] 李诚信,赵伟,李千,等. 疲劳监测技术在智慧矿山安全管理中的应用[J]. 煤炭科学技术,2021,49(增刊 1):131-137.

[22] 马裕静,白东梅,刘雨田,等. 煤矿井下人员安全可穿戴装置研究[J]. 工矿自动化,2018,44(8):96-99.

(上接第 64 页)

[3] 孟庆勇. 5G 技术在煤矿井下应用架构探讨[J]. 工矿自动化,2020,46(7):28-33.

[4] 张立峰,包建军,金业勇. 井下人员精确定位系统无线终端同步升级方法[J]. 工矿自动化, 2023, 49(3): 131-136.

[5] 张立亚,杨维,李晋豫. 矿用 5G 通信系统射频能量损耗模型[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2021, 49(9):6-10,29.

[6] 邵水才,郭旭东,彭铭,等. 煤矿井下无线传输分析方法[J]. 工矿自动化,2022,48(10):123-128.

[7] 孙继平,张高敏. 基于混合射线追踪的矿井电磁波分析方法[J]. 煤炭学报,2022,47(7):2834-2843.

[8] 卢鹏. 使用射线追踪模型进行精确无线传播的预测[J]. 移动通信,2006(8):79-82.

[9] 于长波,孙春义. 现有井下通信方式的分析与比较[J]. 煤炭工程,2008(2):126-127.

[10] EMSLIE A,LAGACE R,STRONG P. Theory of the propagation of UHF radio waves in coal mine tunnels [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation,1975,23(2):192-205.

[11] 刘思琳. 矿井巷道电磁波传播特性的仿真分析[D]. 青岛:山东科技大学,2018.

[12] 董建,冀岩琦. 龙泊透镜天线在 5G 基站 2 100 M 频段的应用研究[J]. 通信管理与技术,2022,2(1):50-52.

[13] 霍羽,郑红党,胡延军,等. 矿用天线在矩形巷道中应用的最佳波束指标[J]. 煤炭学报,2017,42(10): 2776-2781.

[14] 王凯敏. 对煤矿无线通信系统电磁干扰相关问题的探讨[J]. 电子世界,2014(2):53-54.

[15] 孙继平,王福增. 煤矿井下电磁干扰对通信和监控系统的影响分析[J]. 工矿自动化,2009,35(2):23-27.

[16] 韩建平. 煤矿安全监控系统的主要干扰源与抗干扰措施[J]. 神华科技,2010,8(6):32-37.

[17] 姚银贵,师红麟. 抗变频干扰技术在煤矿安全监控系统中的应用[J]. 煤矿安全,2011,42(7):83-85.

[18] 吴超. 5G 网络干扰情况及解决方案分析[J]. 长江信息通信,2022,35(7):231-233.

[19] 孟水仙,任海军,宋岩熠,等. UWB 信号与 5G 设备同频干扰研究[J]. 无线电工程, 2022, 52(8): 1354-1360.

[20] 邹哲强,庄捷,屈世甲. 煤矿井下中低频段电磁干扰测量与分析[J]. 工矿自动化,2013,39(5):1-5.

[21] 冯德旺,任锦彪,崔婷婷,等. 煤矿井下电磁环境测试方法研究[J]. 中国安全科学学报,2010,20(7): 71-75.