

基于物联网技术的煤矿安全生产信息监测平台构建

崔含, 郝少锋

(陕西陕煤榆北煤业有限公司榆林信息化运维分公司, 陕西 榆林 719000)

摘要: 受到煤炭开采作业环境因素与多类别传感器之间扰动的共同影响, 安全信息监测平台出现数据传输不稳定, 异常监测报警出现延迟等数据监测传输问题, 严重影响煤炭正常作业的安全管控。基于物联网技术提出一种全新的监测平台构建方案。硬件框架包含平台所需的所有传感器及网络器件, 同时集成所需硬件接口协议; 软件算法包含安全信息监测感知阈值优化, 监测数据的物联网载波组网传输优化, 监测数据的物联网融合计算。仿真测试证明, 所设计平台的传输能力强, 监测信号稳定, 监测识别灵敏、准确, 各项指标均符合应用标准。

关键词: 物联网; 信息监测平台; 识别灵敏度

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)05-0070-05

Construction of Coal Mine Safety Production Information Monitoring Platform Based on Internet of Things Technology

CUI Han, XI Shao-feng

(Yulin Informatization Operation and Maintenance Branch of Shaanxi Shanmei Yubei Coal Industry Company Limited, Yulin 719000 China)

Abstract: Due to the combined influence of environmental factors of coal mining operation and disturbances among multiple types of sensors, the security information monitoring platform has data transmission problems such as unstable data transmission, abnormal monitoring alarm delay, which seriously affect the safety management and control of normal coal operation. Based on the Internet of Things technology, a new monitoring platform construction scheme is proposed. The hardware framework includes all sensors and network devices required by the platform, and integrates the required hardware interface protocols. The software algorithm includes the optimization of security information monitoring perception threshold, the optimization of IoT carrier networking transmission of monitoring data, and the IoT fusion calculation of monitoring data. The simulation test proves that the design platform has strong transmission capacity, stable monitoring signal, sensitive and accurate monitoring identification, and all indicators meet the application standards.

Keywords: internet of things; information monitoring platform; identify sensitivity

0 引言

随着我国煤炭行业安全生产形势的不断恶化, 针对煤炭行业的重大安全事故时有发生。煤矿安全事故的预防控制难度较大。因此, 解决矿山行业重大安全事故的发生, 必须对矿山行业生产、安全管理进行系统集成和优化。为加强对矿井运行状况和采掘作业人员安全意识的宣传教育和培训力度, 提高矿山生产技术人员素质和应急能力, 根据国家相关政策要求, 结合我国矿山行业发展现状和实际需求, 提出煤矿安全信息监测中心平台建设方案。

其中, 以胡森荣提出的基于远距离无线电(long range radio, LoRa)与隐马尔可夫模型(hidden markov model, HMM)的煤矿安全监测系统^[1]与刘艳红提出法人超深

井多源信息集成与安全管控平台应用研究^[2]最具代表性, 分别就当下的LoRa技术与隐马尔可夫模型与煤炭安全信息监测技术进行了设计性分析与实现, 但从现阶段实现难度与实现效果来看, 均未达到文章所预期效果, 其原因在于忽略实际物联网传输损耗与多类别监测传感器之间的扰动, 从而导致诸多链路位置出现不同程度误差。为了解决当下监测平台存在的问题, 利用SQL Server5.0软件^[3-4]及传感硬件建立一个基于物联网技术的安全信息监测平台。该平台通过无线传感网络实现井下数据采集与处理功能, 同时可通过网络进行可视化分析与展示, 为矿山企业制定安全生产对策提供依据。平台建立后能够及时地监控煤矿井下设备运行现状及其危险程度, 同时能够通过无线传感网络实时提供信息分析决策等服务, 为煤矿安全管理人员提供科学决策服务, 有效解决现有平台存在的问题。

*基金项目: 陕西省陕煤榆北煤业有限公司项目(2021YBKJ-13)

收稿日期: 2023-11-01

1 平台硬件框架设计

本项目采用SQL Server5.0软件,设计一个基于物联网的煤矿安全信息监测平台硬件框架,如图1所示。

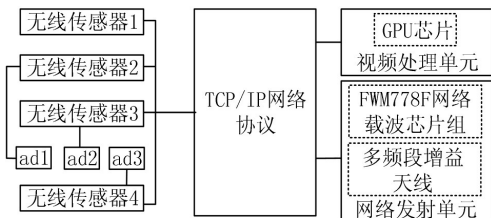


图1 基于物联网的煤矿安全信息监测平台硬件框架

该平台采用TCP/IP网络作为通信协议,采用无线传感器作为监测信息传输中继,搭建监测点与监测中心的数据通道,同时在监测点硬件设计上,框架根据不同数据特征,开放多种数据接口,便于多种类数据感知硬件的扩展。同时框架设有视频处理单元,集成独立的显示处理GPU芯片,支持4K监测视频图像渲染,保证监测图像稳定。为确保上述硬件功能的稳定发挥,结合煤炭监测环境,在网络发射单元设计上,采用多点位、多频率载波组网方案,利用FWM778F网络载波芯片组与多频段增益天线,共同构建起监测信号传输稳定体系。监测网络信号传输结构如图2所示。

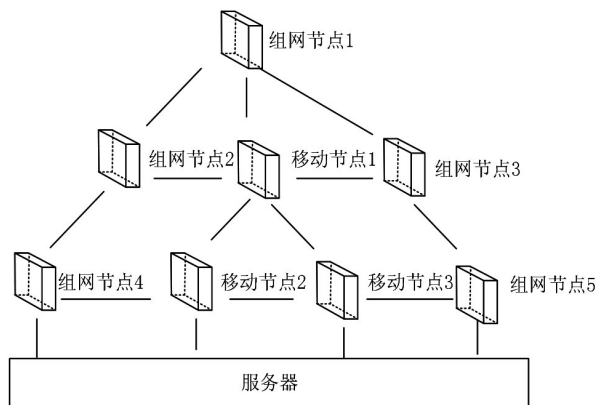


图2 监测网络信号传输结构

2 平台软件功能算法设计

平台软件功能算法如图3所示。

2.1 安全信息监测感知阈值优化

针对监测平台信息识别灵敏度偏低问题,首先考虑到多种监测传感器采集数据感知阈值之间的差量扰动问题。一般情况下,不同监测硬件采集的数据独立存储运算,扰动参数系数偏小,且存在相互影响的概率很小,但是受到物联网网络结构特征的影响,在多链路拓扑载波组网结构下,数据需要融合计算,因此数据之间的独立属性被网络共享属性替代,由此产生的数据差异构成新的扰动因素。为将扰动系数控制在最小范围,构建的平台

中利用基于密度的聚类算法(density-based spatial clustering of applications with noise,DBSCAN)算法^[5-6]对其监测数据进行特征属性的密度聚类计算,提升有效信息密度连通性,降低扰动数据密度空间值,获得最佳的监测感知效果。

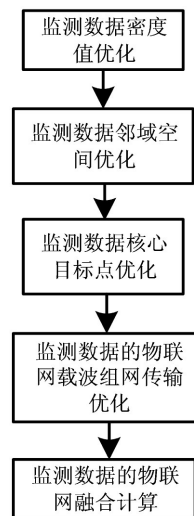


图3 算法流程图

其具体优化思路:对监测数据中每一个属性类别中的任意个体,其对应有效关联半径范围内,与其存在关联的相邻个体总数不得少于其初始设定的最小阈值。其中,为了保证聚类过程中目标属性类别中的个体满足上述条件,对感知阈值相关量作如下优化:

(1) 监测数据密度值优化:在多属性感知监测空间下,将任意一种属性数据点设为圆心,并将优化系数 e 设为半径,由此构成圆形区域内的属性点总数,即为监测数据密度值优化值;

(2) 监测数据邻域空间优化:在多属性感知监测空间下,将任意一种属性数据所在位置的邻域设定为该属性数据中任意一点圆心, e 为半径,所构成圆形区域内所有点的集合;

(3) 监测数据核心目标点优化:多属性感知监测空间中某一属性数据点的密度若不小于某一设定阈值 $MinPts$,则将其设定为监测数据核心目标点优化量;

(4) 抽取任意一个监测属性数据目标集合 D ,若 p 属于 q 所在 e 邻域范围内,且 q 为其中一个核心目标点,则目标 p 从目标 q 开始具有直接密度关联特征;

(5) 假设存在一个监测数据属性目标链 p_1, p_2, \dots, p_n , $p_1=q, p_n=p$,且 $p_i \in D, p_{i+1}$ 代表由 p_i 指向 e 与 $MinPts$ 具有直接密度关联特征,则目标 p 指向目标 q 所在 e 和 $MinPts$ 位置具有密度关联特征;

(6) 若目标集合 D 中包含一个目标 O ,满足目标 p 与 q 是由 O 指向 e 和 $MinPts$ 具有密度关联特征,则目标 p 与 q 为指向 e 和 $MinPts$ 的密度关联特征量。

其中,密度关联是直接密度关联特征的闭环传递数据包^[7-8],隶属于非对称函数关系^[9]。只有核心目标之间是相互直接密度关联共享,密度共享性隶属于对称函数关系^[10]。为准确获得有效监测信息属性类,在引入的优化算法中,从D选取任意目标p,并搜寻D中有关e与MinPts的指向p密度关联的所有目标,若p为核心目标点,则p的半径e所在邻域中包含的目标数大于等于MinPts,利用算法聚类获得一个有关参数e与MinPts的感知属性类。若p为多属性感知监测空间边界点,即p所对应的半径长度为e,且邻域中的目标总量小于MinPts,则不存在目标指向p的密度关联特征,p为当前时间点下感知密度中的扰动系数点,基于此扰动系数点对监测属性数据目标集合D中的下一个目标进行量化。

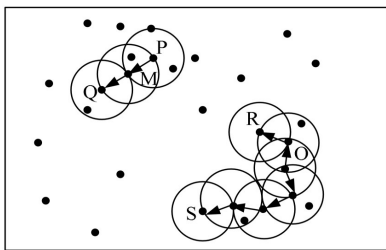


图4 密度关联与密度共享之间的关系

如图4中,令MinPts=2,基于上述的优化思路,M、P、O、R为核心目标,Q为指向M的具有直接密度关联特征的监测数据,P为非指向Q的具有直接密度关联特征的监测数据,以此,优化核心点不包含Q,优化过程中O、R、S具有密度关联共享性。

2.2 监测数据的物联网载波组网传输优化

完成上述优化后,监测数据参量优化部分基本设计完毕,为了保证优化效果的稳定,避免优化量在传输过程中出现二次扰动,构建平台针对物联网网络拓扑分布结构,增加载波组网传输优化,通过对网络相邻链路的逐级量化,降低网络时间开销系数,通过网络节点传输的遗传特性,分级增量自适应不同级别链路参数,以此获得最佳的传输质量。具体优化过程如下:

假设构建平台中传输网络拓扑结构中载波组网链路的通路邻接矩阵为A,其表达形式可以描述为:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & R & R & R & R \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & R & R & R & R \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & R & 1 & R \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & R & R & R & R \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ R & R & 1 & R & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & R \\ R & R & R & R & 1 & 1 & 1 & 1 & R & R \\ R & R & 1 & R & 1 & 1 & 1 & R & 1 & 1 \\ R & R & 1 & R & 1 & 1 & R & R & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

由式(1)的矩阵形式可以看出,不同层级下链路长度有所不同,其对应传输时间开销不同,链路长度越长,传输时间越长,相应产生扰动系数越大,因此降低链路传输扰动系数必须相应降低不同链路层传输的时间开销。考虑到不同链路中数据传输量由上级链路节点数据与当前链路层级负载能力共同决定^[11-12],因此,在继承上级链路节点总量的情况下,增加当前链路负载惩罚系数,以此提升当前链路自适应能力,达到时间开销与负载的最佳平衡效果。

综上所述,链路逐层时间开销优化模型的适应度优化输出函数为:

$$F = S - \sum_{i,j}^{path} A[i,j] - \sum_j N[j] \quad (2)$$

式中,S代表一个矢量系数,path代表任意一条链路的传输能力,第2项代表在网络拓扑结构邻接矩阵中path对应参量下的惩罚函数优化计算,N代表优化前的链路负载系数。

2.3 监测数据的物联网融合计算

将上述两部分优化量进行物联网特征导入融合计算,使其具有最佳的适应度,进一步提升平台的响应速度与感知灵敏度。融合计算过程如下:

将上述优化后的多类别监测传感器数据信号设定为E(t),其中信号测量指标约束为E(i=1,2,...,n),考虑到传输产生的损耗降低信号测量指标约束E_i,因此将优化结果导入当前计算,导入量设定为信息测量值影响因子x,通过数据推算,可以获得影响因子x_i与测量值E_i之间的联系,将其联系定义为E(x),x∈(a,b),其中,a,b分别代表影响因子x的最小系数数量与最大系数数量。

根据Grunwald-Letnikov定义,将监测信息关联到E(x),使其影响因子x的约束范围满足(a,b),且按照步距h完成数据均分,得到n=(b-a)/h。

基于上述获得参量,可得到监测数据量函数E(x)在影响因子x优化作用下的分数阶微分方程:

$$\begin{aligned} {}_a^G D_t^\nu E(x) &= \lim_{h \rightarrow 0} E_h^\nu(x) \\ &= h^{-\nu} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{b-a}{h} \rfloor} (-1)^i \binom{\nu}{i} E(x-ih) \end{aligned} \quad (3)$$

其中,G代表根据分数阶微分G-L定义所得的方程式;0≤n-1<ν<n; $\binom{\nu}{i}$ 代表二项式系数,且:

$$\binom{\nu}{i} = \frac{\nu(\nu-1)(\nu-2)\cdots[\nu-(i-1)]}{i!} = \begin{bmatrix} -\nu \\ i \end{bmatrix} \quad (4)$$

将式(4)代入式(3),经过计算,得到监测数据的融合模型:

$$\begin{aligned}
 {}^G D_t^\nu E(x) &= \lim_{h \rightarrow 0} E_h^\nu(x) \\
 &= h^{-\nu} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{b-a}{h} \rfloor} (-1)^i \binom{-\nu}{i} \times E(x-ih) \\
 &= h^{-\nu} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{b-a}{h} \rfloor} w_i^\nu E(x-ih)
 \end{aligned} \tag{5}$$

式中, w_i^ν 代表权重系数,其计算公式为:

$$w_0^\nu = 1, w_i^\nu = \left[\frac{i-(\nu-1)}{i} \right] w_{i-1}^\nu, i = 1, 2, \dots \tag{6}$$

3 仿真调试

利用仿真测试工具 Stimulus 创建平台测试场景,在历年煤炭监控数据库中抽取样本数据,对构建平台进行性能可靠性测试,测试过程中设定两组不同平台作为对比平台,测试标签分别为 GJ1011 平台、GJ1012 平台;提出构建平台标签为 YJ1013 平台,在相同的测试场景下,完成相关指标数据的调试,并根据调试结果进行对比分析,得出可靠性结论。

3.1 参量配置

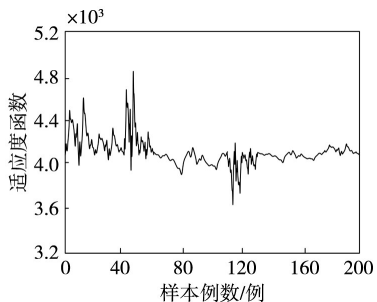


图5 样本数据-异常监测数据样本

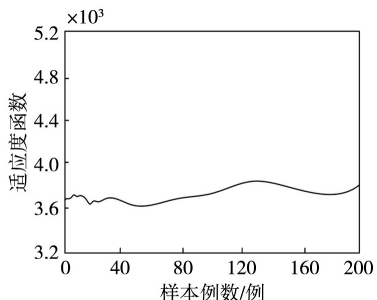


图6 样本数据-正常监测数据样本

仿真测试数据样本来源于2000年-2010年山西省某市煤炭监测数据库,在其中抽取一组包含200例监测状态的数据包,将其导入仿真测试工具 Stimulus 创建测试场景2组,分别为异常监测数据样本收敛与正常监测数据样本,两组场景以波形示意图的形式展现,如图5、图6所示。其中,适应度优化输出函数(公式2-以下简称适应度函数)直接影响监测平台的收敛速度以及能否找到最优

解。仿真测试共包含三组指标测试,分别为煤炭安全异常数据识别度测试、识别灵敏度测试及传输信号稳定性测试。3组测试均基于样本收敛数据完成。

3.2 煤炭安全异常数据识别度测试

基于设置的测试样本,在创建的测试环境中完成GJ1011平台、GJ1012平台、YJ1013平台的煤炭安全异常数据识别度测试,测试结果如图7所示。

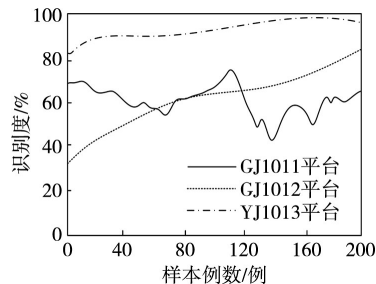


图7 不同监测平台的煤炭安全异常数据识别结果

对比上述图7中的3条识别度曲线可知,GJ1011平台识别度不稳定,异常数据监测识别结果波动无规律性,且整体为下降状态;GJ1012平台异常数据监测识别结果整体稳定,呈上升状态。但初始异常数据监测识别度偏低,达到识别度60%需要消耗80例数据样本,其消耗成本较大,所得到的均值识别度无法满足实际监测要求;YJ1013平台与上述二者不同,初始识别率为83.6%,且整体发展呈上升状态,发展过程相对平稳。综合分析,此次参测的3种不同监测平台中,YJ1013平台对异常数据的监测识别度最高,满足设计性能测试中关于异常数据监测识别度指标要求。

3.3 监测识别灵敏度测试

表1 不同监测平台的监测识别灵敏度测试结果统计

组	GJ1011平台监测识别灵敏度均值	GJ1012平台监测识别灵敏度均值	YJ1013平台监测识别灵敏度均值
1	3.2	3.0	1.0
2	3.4	3.1	1.0
3	3.6	2.8	1.0
4	3.2	2.7	1.2
5	3.4	2.6	1.0
6	3.4	2.6	1.3
7	3.4	2.6	1.2
8	3.6	2.4	1.0
9	3.2	2.3	1.0
10	3.2	2.1	1.0

灵敏度是指在稳定工作状态下输出变化量与输入变化量的比值,一般情况下,物联网技术下的无线传感器灵敏度越高,可得到较高的测量精度。但灵敏度愈高,测量范围愈窄,稳定性也往往愈差。因此,即便希望传感器的敏感度较高,也还是需要传感器的敏感度保持适当的

范围,其一般输入与输出的比值为1左右最佳。基于上述测试样本及测试过程,对上述测试过程中GJ1011平台、GJ1012平台、YJ1013平台的监测识别灵敏度进行测试。测试采用原始数据随机发送的方式进行,在保证参测平台同步接收同一样本的情况下,完成200例样本的释放,为了统计方便每20组计算均值,共计得到10组灵敏度均值结果,将其整理后得到表1,根据表1所示数据对比分析,得出结论。

通过对比表1数据可知,3种监测平台的监测灵敏度相差并不大,根据灵敏值越小,对应系统灵敏度越高的判定标准,3种监测平台的排序为GJ1011平台<GJ1012平

台<YJ1013平台。由此,可以得出YJ1013平台的监测灵敏度最好的结论。这是由于在YJ1013平台中,利用DB-SCA N算法对其监测数据进行特征属性的密度聚类,将扰动系数控制在最小范围,从而降低外界噪声的干扰影响,保证灵敏度良好的效果。

3.4 平台监测信号传输稳定性测试

完成平台监测灵敏度性能指标对比后,对平台监测信号传输稳定性加以测试。测试中采用4种频率的扰动信号作为测试样本的扰动信号源,对比3种不同平台的信号强度,以此判定对应平台的信号传输稳定性,测试结果如图8所示。

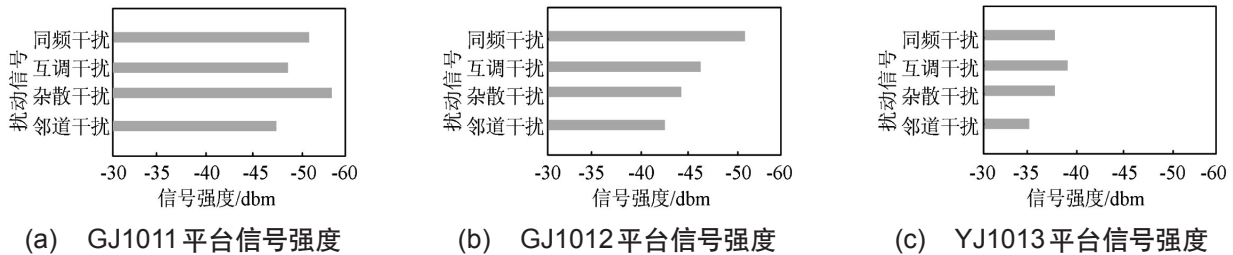


图8 平台监测信号传输稳定性测试结果

对图8中GJ1011平台、GJ1012平台、YJ1013平台在扰动信号同频干扰、互调干扰、杂散干扰、邻道干扰下的信号强度进行对比发现,GJ1011平台与GJ1012平台的信号强度差异不大,说明二者采用的信号抗扰策略相似,均存在部分扰动信号的抑制缺陷,由此可以断定GJ1011平台、GJ1012平台的信号稳定性较差;YJ1013平台信号强度明显不同于上述二者,信号强度绝佳,且不同扰动信号之间的信号强度差异很小,因此在信号传输中受到扰动而形成的信号抖动较小,相对应的稳定性较高。由此可以判定YJ1013平台是此次测试中信号稳定性最好的监测平台。

4 结束语

根据物联网网络结构特征,对监测系统平台硬件进行重构设计,并在软件算法上针对产生监测误差点进行逐一优化计算,完成煤炭安全信息监测平台构建。此次提出平台构建的成功,为物联网多领域深入应用实践与安全监测系统物联网开发,提供诸多技术参数与详细流程。但是,平台的整体构建还存在不足,易出现暂时性崩溃和报警延迟问题。为此,为避免上述问题影响平台正常运行,需要在日后根据平台实际运行状态,进行数据多次的增量更新,保持平台运算数据的新鲜,同时引入补偿算法对漏洞文件进行替换,使平台稳定处于最佳状态。

参考文献:

[1] 胡森荣,朱宗玖.基于LoRa与HMM的煤矿安全监测系统

设计[J].煤矿机械,2020,41(7):7-9.

[2] 刘艳红.超深井多源信息集成与安全管控平台应用研究[J].矿业研究与开发,2022,42(1):181-186.

[3] 王恩元,李忠辉,李保林,等.煤矿瓦斯灾害风险隐患大数据监测预警云平台与应用[J].煤炭科学技术,2022,50(1):142-150.

[4] 左延红,程桦,程堂春.分数阶微分算子在煤矿监测数据融合处理中的应用[J].煤炭学报,2020,45(2):819-826.

[5] 赵安新,张育刚,韩安,等.基于层次分析法的煤矿分级分层安全状态评估方法[J].煤炭技术,2021,40(3):162-165.

[6] 张静,聂章龙.基于物联网的煤矿安全监测与预警平台设计[J].煤炭技术,2021,40(10):209-211.

[7] 窦林名,周坤友,宋士康,等.煤矿冲击矿压机理、监测预警及防控技术研究[J].工程地质学报,2021,29(4):917-932.

[8] 王磊.解读煤矿安全监测监控系统的发展历程和趋势[J].内蒙古煤炭经济,2021(16):104-105.

[9] 陈佳林,付恩三.基于柔性神经元的煤矿安全风险预警模型研究[J].煤炭工程,2021,53(7):187-191.

[10] 疏礼春.基于大数据的云边一体化煤矿安全生产风险监测预警平台[J].煤矿安全,2021,52(5):144-148.

[11] 张洪亮.基于煤矿安全监控系统的移动监控平台[J].煤矿安全,2020,51(11):133-136.

[12] 王红梅,董书宁,王鹏翔,等.复杂地质条件下煤矿地下水监测预警技术[J].西安科技大学学报,2022,42(3):501-511.

作者简介:崔含(1990-),男,本科,工程师,研究方向:智慧矿山建设。

通信作者:郝少锋(1973-),男,本科,工程师,研究方向:智慧矿山建设。