

二维最大熵图像分割下的煤矿充水采空区 AR 检测技术

渠慎杰, 钱鸣, 曹九祝, 高长征, 张 磊

(中煤新集能源股份有限公司, 淮南 232001)

摘要: 传统煤矿采空区检测技术受到二维图像特征与井下环境因素的影响, 在图像采集与分析精度方面存在较大偏差, 无法精准还原矿井下真实环境, 严重影响矿区井下环境勘测进度。为了解决这一问题, 引入 AR 检测技术, 对传统检测方法做如下优化: 首先, 对煤矿充水采空区的二维最大熵进行确定; 然后, 对图像信号进行 AR 初始检测模型构建及图像信号小波处理; 最后, 完成二维最大熵图像分割下的煤矿充水采空区识别模型建立; 通过实验对比发现, 采用提出检测方法所获得的检测结果与实际结果之间的偏差最小, 且检测效果稳定性与可靠性好, 应用要求低, 实现技术门槛低, 适合大面积推广应用。

关键词: 位图最大熵图像分割; 煤矿; 充水采空区; AR 检测

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.06.14

0 引言

煤矿井下采空区是一种特殊的地质体, 它在一定的时间和空间条件下, 由于长期受水的影响而形成。由于其特殊的地质、水文和自然条件, 易发生煤与瓦斯突出、采空区火灾等地质灾害, 造成人员伤亡和财产损失。因此, 对煤矿井下采空区进行有效的探测是治理煤矿安全生产问题的关键, 具有较强的研究意义。

针对煤矿采空区探测, 王小玉等^[1]采用高密度电阻率法进行采空区探测。利用有限差分法正演和最小二乘法构建采空区模型; 根据采空区电阻率响应, 获得采空区探测结果。刘瑞^[2]使用瞬变电磁法作为采空区地质勘查技术。利用突变电流激发地下的电磁场, 然后通过观测地面上的电压变化来推断采空区的地质情况。郭伟立等^[3]研究基于高密度电法的煤矿采空区探测。通过数值模拟方法将高密度

电法装置观测数据合并反演, 对某煤矿采空区进行探测。以上方法具有施工简便、成本低的优点, 但在复杂环境下易受二维图像特征与井下环境因素的影响, 探测精度难以保证。

基于以上原因, 如何在原有采空区探测技术的基础上, 更加精准地确定充水区域, 是笔者要解决的问题, 因此提出二维最大熵图像分割下的煤矿充水采空区 AR 检测技术。确定煤矿充水采空区的二维最大熵; 构建 AR 检测模型, 对图像信号进行小波处理; 基于二维最大熵分割图像, 构建煤矿充水采空区识别模型, 完成采空区探测。本方法的优点受二维图像特征与井下环境因素的影响较小, 能够降低检测偏差。

1 检测技术的运算与效果实现

设计的检测技术整体思路为: 首先, 确定煤矿充

收稿日期: 2022-12-27

第一作者: 渠慎杰(1972—), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为煤矿安全管理、煤矿开采及相关灾害治理, E-mail: guan-guaiqiaozi@163.com。

通信作者: 钱鸣(1987—), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向为煤矿电气工程、煤矿信息化应用、煤矿安全管理, E-mail: guan-guaiqiaozi@163.com。

水采空区的二维最大熵;然后,构建 AR 初步检测模型,对图像信号进行小波处理;最后内容也是本文的关键性所在,基于二维最大熵对图像进行分割,构建煤矿充水采空区识别模型,提取图像中水位区域特征目标信息,完成采空区探测。

1.1 煤矿充水采空区二维最大熵确定

采集的地下探测图像受到二维图像杂乱色彩与井下环境因素的影响,难以分辨出采空区图像特征,增加了后续采空区识别的难度,因此在采空区识别前需要先对图像特征进行分割。而图像的二维最大熵与采空区充水特征图像之间存在对应关系,因此可以将图像的二维最大熵作为特征阈值进行目标图像分割。综上所述,在建立识别模型前,首先对其二维最大熵进行计算。将充水采空区图像转换为二维直方图,并将图像通道转换为灰度通道,此时图像区域内充水区域的灰度值所对应的二维最大熵可根据其对应最优阈值进行目标分割,具体如下。

设定煤矿充水采空区所对应的目标图像大小为 $M \times N$, 对应灰度系数 L 的阈值为 256, 其中任意一个像素点的灰度值为 $f(x, y)$, 且满足, $x \in [0, M]$, x 取值为整数; $y \in [0, N]$, y 取值为整数。根据该像素点与其邻域值为 8, 所有像素点的灰度系数可以计算得到该区域像素的灰度均值系数。该区域像素点与其区域灰度之间的关系可以表达为^[4-5]:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{M \times N} \quad (1)$$

其中, n_{ij} 代表像素点对应灰度系数值为 i , 且该区域灰度系数为 j 时的二维像素构成总数。

煤矿充水采空区图像的二维直方图结构, 如图 1 所示。

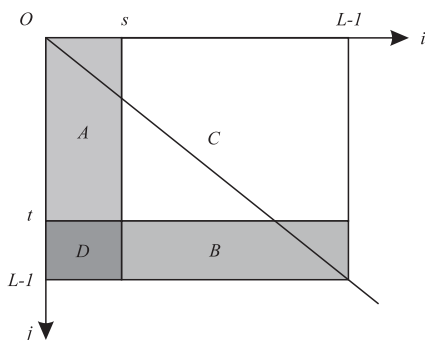


图 1 矿充水采空区图像的二维直方图

Fig. 1 2D histogram of the image of the water filled goaf in the mine

根据二维直方图理论, 二维直方图可以包含目标像素区域、背景像素区域、边缘像素区域和噪声区

域的信息。在进行目标检测或图像分割任务时, 可以通过分析直方图来区分这些区域。目标像素区域在直方图中对应的区域会有明显的峰值或集中区域。背景像素区域通常具有相对均匀的灰度值或颜色值分布, 并且在直方图中对应的区域不会有明显的峰值或集中区域。边缘像素区域是指目标区域和背景区域之间的过渡区域, 其在直方图中对应的区域可能呈现出渐变或模糊的过渡形态。噪声区域指的是图像中的干扰像素, 其在直方图中可能表现为孤立的或异常的像素值。通过对直方图的分析 and 阈值设定, 可以将图像中的不同区域进行有效的分离和筛选。

由图 1 所示可知, 二维直方图包含 A、B、C、D, 4 个区域, 每个区域依次分别对应目标像素区域、背景像素区域、边缘像素区域、噪声区域。二维最大熵计算主要通过对 A、B 区域内最大阈值 (s, t) 的寻找, 以此获得二维直方图对应目标区域像素的最大熵, 其计算公式为:

$$\begin{cases} P_A = \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} p_{ij} \\ P_B = \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} p_{ij} \end{cases} \quad (2)$$

$$H(A) = - \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} \frac{P_{ij}}{P_{st}} \ln \frac{P_{ij}}{P_{st}} \quad (3)$$

$$H(B) = - \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} \frac{P_{ij}}{1-P_{st}} \ln \frac{P_{ij}}{1-P_{st}} \quad (4)$$

$$H(s, t) = H(A) + H(B) \quad (5)$$

$$H(s^*, t^*) = \max(H(s, t)) \quad (6)$$

其中, P_A 、 P_B 代表 A、B 区域的寻找概率; L 代表图像中充水采空区构成像素的灰度级; $H(A)$ 、 $H(B)$ 代表 A、B 2 个区域所对应像素的熵函数; $H(s, t)$ 代表目标图像中充水采空区像素的总熵; $H(s^*, t^*)$ 代表最大熵值。

1.2 AR 初始检测模型构建及图像信号小波处理

AR (Augmented Reality Detection Model) 检测模型是一种用于实时监测和识别增强现实场景中的目标特征模型。由于采集图像的过程中受到噪声干扰, 原始图像具有许多噪点, 目标图像信号和噪声的差别不明显混杂在一起, 干扰后续采空区目标识别。因此需要通过 AR 检测模型增强信号特征, 突出关键信号和噪声信号的差别, 然后对图像信号信号进行小波处理, 滤除噪声。基于上节计算所得熵最大系数所对应的信号, 建立 AR 初始检测信号模型, 进行小波滤噪处理, 以获得准确的充水采空区分

布特征。根据充水采空区反馈信号的随机属性^[6-7], 可通过 AR 检测模型对其随机信号进行分析, 将信号中的白噪声进行线性激励^[8-9], 以此提出噪声响应对其正常信号特征的扰动, 同时利用小波转换将其正常信号引入信号包络检测领域。

利用图像信号反馈过程中信号的线性回归扩展属性^[10-11], 提取信号序列 x , 获得 AR 模型对应阶数 p , 以此确定 y 所对应 AR(p) 模型的函数关系式为:

$$y(n) = \omega(n) + \sum_{k=1}^p a_k x(n+k), n > p \quad (7)$$

其中, a_k 代表 AR 模型中随机信号的加权系数, $\omega(n)$ 代表零均值所对应随机信号中白噪声信号序列, 其方差对应目标区域充水区域边界的线性分布偏差。基于 AR 模型对信号的分析特性可知, 就充水采空区图像平稳信号而言, $\omega(n)$ 代表充水区域边缘扰动的高斯白噪声; 当充水边缘超出安全范围时, 对应 $\omega(n)$ 包含噪声扰动成分。

此时, 通过引入小波变换对信号进行优化, 以此实现小波域的信号展开, 削减对应噪声对图像正常信号分析效果的影响。小波基选择 Daubechies 小波基函数, 因为该小波基可以通过调整尺度来同时控制信号时域和频域。对小波函数族 $\psi_{a,b}(t)$ 进行 Daubechies 小波基 $\psi(t)$ 的平移伸缩处理, 以此获得:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (8)$$

式中, a 代表信号转换尺度 ($a > 0$); b 代表充水区域图像边缘信号定位参数。

对于采空区背景区域信号 $x(t)$ 通过对其连续小波变换, 促使小波函数族 $\psi_{a,b}(t)$ 转换为实函数积分变换, 其转换函数可以描述为:

$$W_x(a, b; \psi) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (9)$$

$$x(t) \in L^2(\mathbb{R})$$

其中, $L^2(\mathbb{R})$ 代表信号所对应实数域上的 2 范数空间^[12]。根据 $\psi(t)$ 的带通特性可知^[13], 小波变换过程基于尺度 a 的条件下完成, 因此, 由 AR 模型信号的中心频率 f_c 与模型变换信号带宽 σ , 可计算得到模型滤波器对信号 $x(t)$ 的滤波函数, 即 AR 模型优化后输出的信号关系式为:

$$Q = f_c / \sigma \quad (10)$$

式中, Q 代表小波优化因子 (Q 取值为常数), 表征模型信号的带通属性。

如图 2 所示, 不同尺度 a 下, f_c 与 σ 成正比。且根据 Heisenberg 检测原理^[14] 可知, 构建模型所反映的充水采空区的面积为一常数。

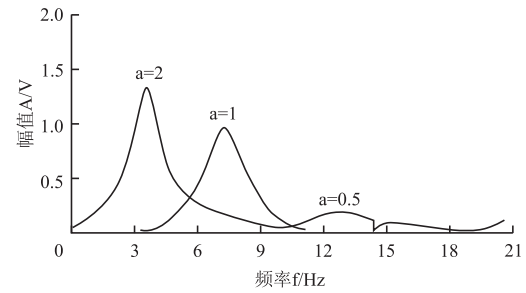


图 2 AR 初始检测模型图像信号尺度

Fig. 2 AR initial detection model image signal scale

1.3 二维最大熵图像分割下的煤矿充水采空区识别模型

基于上述计算所得参量, 利用二维最大熵图像分割对充水采空区图像中水位进行识别模型建立。以现阶段计算已知参量, 结合充水区域负荷均衡需求, 通过上述计算所得二维最大熵及 AR 模型对图像进行分割, 并将其分割参量整理为模型, 进而实现对图像中水位区域特征目标信息的提取。

确定充水区域尺度图像 $f(x, y)$ 所对应灰阶像素集合为 z , 图像大小为 $N \times M$ 。计算各像素点 $n \times m$ 的邻域像素的灰阶均值, 将所得灰阶像素按照均匀分布组成一幅充水区域尺度图 $g(x, y)$ 。 $f(x, y)$ 对应灰阶级别设置为 j , $g(x, y)$ 对应灰阶级别为 i , 其对应像素可以标记为 $s(j, i)$, 其中每组图像中的像素对数量为 $I = \text{count}\{s(i, j)\}$, 且满足 $i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N$, 像素对在充水区域尺度图像中分布情况通过比率来确定, 其计算公式为:

$$q(j, i) = \frac{1}{N \times M} \quad (11)$$

将计算所得的二维最大熵阈值按照像素灰度门限 k 与其相邻灰度门限均值 r 进行区域像素划分, 基于上述构建所得的二维直方图, 将其转换为二维灰度值方法, 并按照所得最大熵对应像素位置, 均匀分割灰度像素, 进而完成目标图像与背景像素的分割, 其分割概率依次为:

$$q_1(k, r) = \sum_{j=0}^k \sum_{i=0}^r q(j, i) \quad (12)$$

$$q_2(k, r) = \sum_{j=k+1}^{Z-1} \sum_{i=r+1}^{Z-1} q(j, i) \quad (13)$$

另外, 考虑到分割过程中白噪声扰动形成的对角偏差^[15], 计算过程中对二维直方图对角线分量进行约束, 使其分割目标与背景像素对应的信息熵满足关系函数(14)式、(15)式:

$$S_z = \sum_{j=0}^k \sum_{i=0}^r \frac{q(j, i)}{q_1(k, r)} \lg \frac{q(j, i)}{q_1(k, r)}$$

$$= \lg q_1(k, r) + \frac{q(j, i)}{q_1(k, r)} \quad (14)$$

$$R_Z = \sum_{j=k+1}^{Z-1} \sum_{i=r+1}^{Z-1} \frac{q(j, i)}{q_2(k, r)} \lg \frac{q(j, i)}{q_2(k, r)}$$

$$= \lg q_2(k, r) + \frac{q(j, i)}{q_2(k, r)} \quad (15)$$

充水区域尺度图像对应的完整信息为 $S(k, r) = S_Z + R_Z$ 则:

$$S(k, r) = \lg q_1(k, r) q_2(k, r) + \frac{S_Z}{q_1(k, r)}$$

$$+ \frac{R_Z}{q_2(k, r)} \quad (16)$$

为保证充水区域尺度图像分割获得充水采空区区域像素特征与背景像素特征的精准,对原始图像像素特征与目标区域像素特征进行灰度关联,以此获得参照像素灰阶对 (k^*, r^*) ,令提取全局像素对应的信息熵 $S(k, r)$ 为最大值,可得到最终充水采空区像素区域的识别函数模型为:

$$(k^*, r^*) = \arg \max_{1 < k < Z-1, 1 < r < Z-1} S(k, r) \quad (17)$$

至此,识别过程计算结束,充水采空区特征信息提取识别完成。

2 应用测试

对提出的检测方法进行实例仿真调试,通过引入多策略融合的充水采空区检测方法与基于鲸鱼算法的煤矿充水采空区特征图像识别方法作为对比方法,在抽取的样本环境下,完成检测项目,并对各方法所得数据进行对比分析,得出测试结果。为了便于测试过程的描述,引入的两种对比方法在叙述过程中简称为方法 1 与方法 2;提出方法作为验证方法,在测试过程叙述中简称为方法 3。

2.1 设置测试条件

抽取山西省某一处煤矿充水采空区数据作为测试数据样本信息源,由仿真测试工具 matlab 根据样本数据特征模拟生成充水采空区边界分布坐标图与检测信号反馈波形图,如图 3、图 4 所示。根据生成图示信息参量对本文方法、高密度电阻率法(文献[1]方法)、瞬变电磁法(文献[2]方法)这三种检测方法进行性能测试。

2.2 检测偏差测试

基于图 3 所示煤矿充水采空区边界采集点分布情况,对 3 种测试方法进行检测偏差测试,所得结果如图 5 所示。

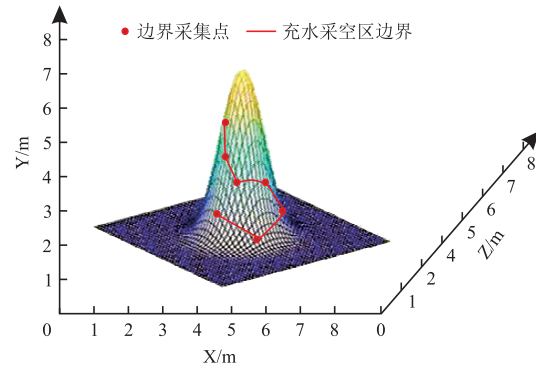


图 3 充水采空区边界分布坐标

Fig. 3 Distribution coordinates of the boundary of the water filled goaf

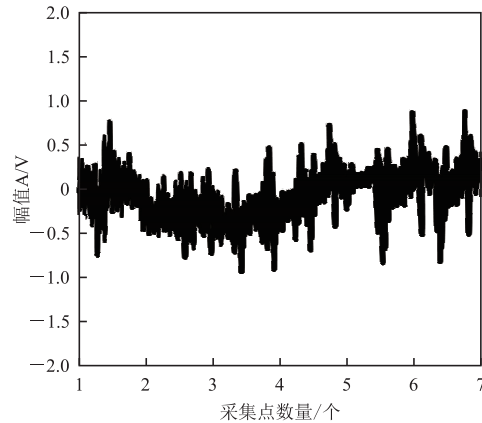


图 4 检测信号反馈波形

Fig. 4 Feedback waveform of detection signal

通过对比图 5 中三种不同检测方法所得偏差点分布位置可以发现,高密度电阻率法所得检测点位置大部分与样本采集点原始位置偏差较大,造成实际测量所得检测点连线后得到的充水采空区边界与原始充水采空区边界之间出现较大偏差,部分背景区域被误识别为充水区域。因此,按照实际测量规范及其标准,高密度电阻率法未能满足测试要求;按照上述分析策略,瞬变电磁法所得检测点及其连线边界,相比高密度电阻率法有很大改善,其中检测点位置的精准度优化效果明显,但是由于 3 个检测点偏差过大,造成连线后所得边界位置偏差变大,按照上述要求与标准,该方法同样未达到测试要求;观察所提方法的检测结果发现,与上述两种方法所得结果精准度不同,所提方法检测点与样本采集点位置高度吻合,虽然实际检测点连线构成的边界与样本边界位置存在差异,但考虑到二维最大熵所对应直方图的灰阶差异对信号变换的影响,所得差异在可

控允许范围内,因此根据三种检测方法的测试结果,可以判定所提方法为检测偏差最小,整体精准效果最好的检测方法。

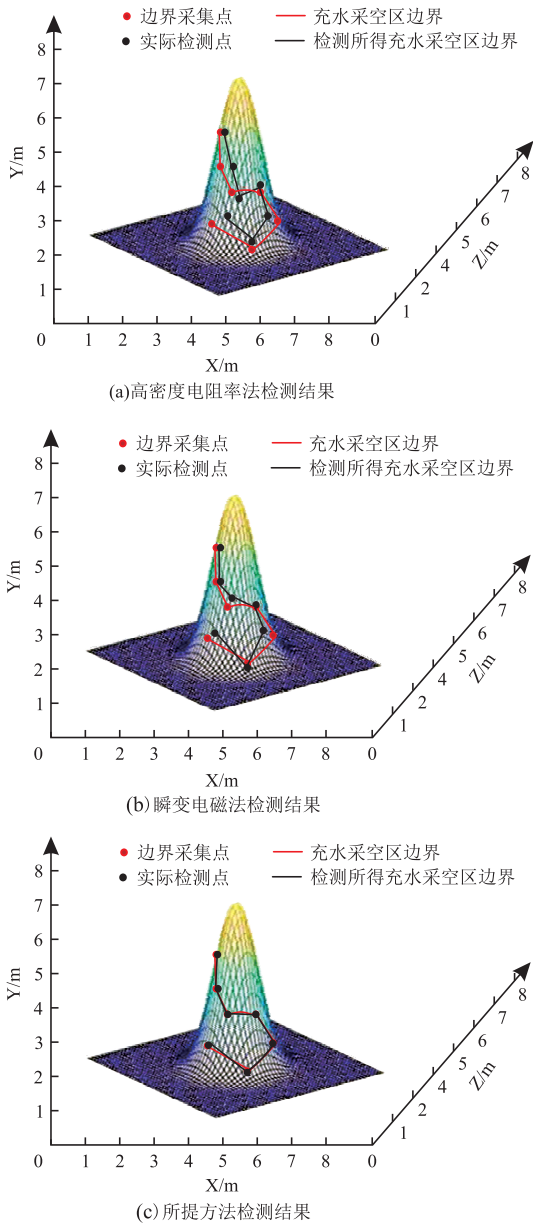


图5 不同检测方法所得的检测偏差结果

Fig. 5 Detection bias results obtained by different detection methods

2.3 可靠性测试

为了验证上述测试结果的可靠性,重复上述实验 1 000 次,得出 1 000 组偏差数据。统计 1 000 组偏差数据时发现,1 000 组结果之间的差异变化较小,因此在测试结果中随机抽取 15 组数据作为代表,生成表 1 根据数据变化大小,判定对应方法的可靠性。

表 1 检测方法可靠性测试结果抽取指标

Tab. 1 Extraction indicators for reliability test results of detection methods

组	高密度电阻率法 偏差量	瞬变电磁法 偏差量	所提方法 偏差量
1	1.52	1.34	1.00
2	1.54	1.34	1.00
3	1.26	1.34	1.00
4	1.26	1.34	1.00
5	1.26	1.32	1.01
6	1.28	1.33	1.00
7	1.53	1.32	1.00
8	1.26	1.32	1.04
9	1.54	1.34	1.00
10	1.26	1.35	1.04
11	1.23	1.35	1.00
12	1.58	1.36	1.03
13	1.24	1.32	1.03
14	1.59	1.36	1.00
15	1.62	1.35	1.00

根据表 1 所示数据的纵向对比来看,高密度电阻率法与瞬变电磁法的偏差量数值波动比所提方法大。根据波动数值越大,检测效果的稳定性越差,可靠性越低的原则,可以判定三种检测方法中,所提方法的可靠性最高。

2.4 检测信号收敛效果

基于图 4 信号特征,对三种方法的信号收敛效果进行测试,所得结果如图 6 所示。通过对比图 6 波形,得出测试结论。

通过对比图 6 三种方法处理后的信号波形可以发现,高密度电阻率法的波形幅值与原始模型相比,完全无收敛痕迹存在,白噪声信号明显;瞬变电磁法的信号处理可以看到局部收敛效果,但是对比原始信号波形,局部信号的波峰指标偏大,明显超出收敛控制范围,因此该方法的收敛效果并不理想;相比高密度电阻率法与瞬变电磁法,所提方法的信号收敛效果相对均衡,且效果持续性好,收敛控制精准。综合上述分析,可以判定所提方法的收敛效果更符合测试标准,满足实际应用要求。

3 结论

利用二维最大熵图像分割算法对充水采空区图像进行像素识别特征量的全新优化,重构区域 AR 识别体系,进而实现提升识别精准度的效果。为充

水采空区识别优化,提供最新的解决方案。但是,由于研究条件有限,提出方法所能采集的局部变量数据有限,在局部识别变量维度上还有提升空间。未

来可以提高研究投入,积累更多的局部变量数据,提升算法的局部自适应能力,以此获得更佳的识别效果。

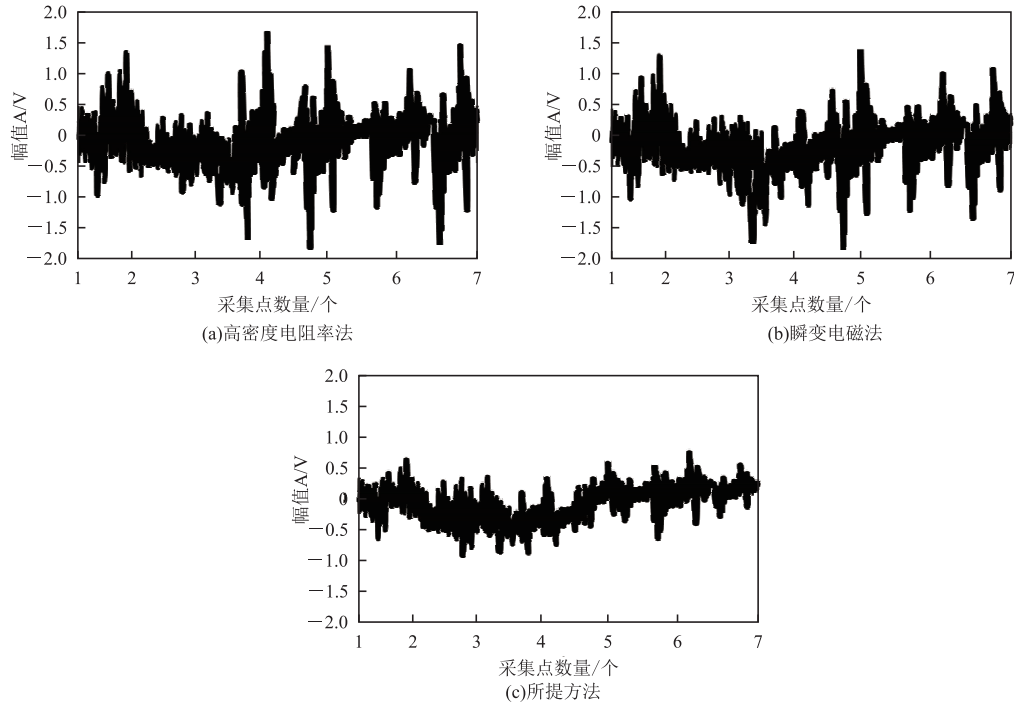


图 6 不同检测方法所得信号收敛框图

Fig. 6 Convergence block diagram of signals obtained by different detection method

参考文献:

- [1] 王小玉,王璐,崔明飞. 基于 RES2DMOD 高密度电阻率法在采空区勘查中的应用[J]. 华北地震科学, 2020, 38(增刊 1): 19-23.
WANG X Y, WANG L, CUI M F. Application of RES2DMOD electrical imaging surveys in goaf exploration[J]. North China Earthquake Sciences, 2020, 38 (Suppl 1): 19-23. (In Chinese)
- [2] 刘瑞. 浅谈瞬变电磁法在煤田采空区勘探中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(22): 130-132.
LIU R. Discussion on the application of transient electromagnetic method in the exploration of coal goaf[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2021(22): 130-132. (In Chinese)
- [3] 郭伟立,冀显坤,白运,等. 高密度电法不同装置组合反演在煤矿采空区探测中的应用[J]. 工程勘察, 2023, 51(7): 67-71.
GUO W L, JI X K, BAI Y, et al. Application of joint inversion of high-density electrical method with different array to detect coal goaf[J]. Geotechnical Investi-
- gation & Surveying, 2023, 51(7): 67-71. (In Chinese)
- [4] 沙成满,王星,杨慧敏. 基于流固耦合的充水采空区渗流模型[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2023, 44(4): 551-557.
SHA C M, WANG X, YANG H M. Seepage model of water-filled goaf based on fluid-solid interaction[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2023, 44(4): 551-557. (In Chinese)
- [5] 裴肖明,冯国瑞,戚庭野. 瞬变电磁法探测复杂状态下煤矿充水采空区物理模拟实验[J]. 物探与化探, 2021, 45(4): 1055-1063.
PEI X M, FENG G R, QI T Y. Physical simulation experiment for detecting water-filled goaf of coal mine under complex conditions bases on transient electromagnetic method[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(4): 1055-1063. (In Chinese)
- [6] 赵耀. 二维最大熵图像分割下的市政排水管网负荷均衡性控制模型[J]. 自动化与仪器仪表, 2022(11): 111-115.
ZHAO Y. Load balance control model of municipal

- drainage network based on two-dimensional maximum entropy image segmentation[J]. Automation & Instrumentation, 2022(11): 111–115. (In Chinese)
- [7] 张晓丽. 基于改进差分进化算法的二维最大熵图像分割[J]. 自动化技术与应用, 2016, 35(6): 69–72.
ZHANG X L. 2-D maximum entropy method in image segmentation based on dynamic differential evolution [J]. Techniques of Automation and Applications, 2016, 35(6): 69–72. (In Chinese)
- [8] 郑齐银. 混合材料法治理公路充水采空区[J]. 黑龙江交通科技, 2013, 36(4): 22–23.
ZHENG Q Y. Treatment of highway water-filled goaf by mixed material method[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2013, 36(4): 22–23. (In Chinese)
- [9] 熊家勤. 瞬变电磁法在探测宏石煤矿采空区中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2012, 24(10): 52–56.
XIONG J Q. Application of transient electromagnetic method in Hongshi coalmine gob area prospecting[J]. Coal Geology of China, 2012, 24(10): 52–56. (In Chinese)
- [10] 郑建波, 李美艳. 航空瞬变电磁全时域全空域快速成像[J]. 物探化探计算技术, 2023, 45(4): 478–483.
ZHENG J B, LI M Y. Aerial transient electromagnetic all-time-domain and all-spatial fast imaging [J]. Computing Techniques For Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 45(4): 478–483. (In Chinese)
- [11] 陈洪科, 杨晓玲. 基于分形理论的改进型二维最大熵红外图像分割算法[J]. 红外, 2012, 33(8): 27–31.
CHEN H K, YANG X L. Improved two-dimensional maximum entropy segmentation algorithm for infrared images based on fractal theory[J]. Infrared, 2012, 33(8): 27–31. (In Chinese)
- [12] 薛晓峰, 薛国强, 牛仰杰, 等. Terra TEM 仪器在煤矿含水采空区探查中的应用[J]. 石油仪器, 2012(3): 32–35.
XUE X F, XUE G Q, NIU Y J, et al. Study on the detection of water-filled mine-out area by using Terra-TEM system[J]. Petroleum Instruments, 2012(3): 32–35. (In Chinese)
- [13] 张建智, 易才华, 李娜. 煤矿浅埋老窑采空区多梯度剖面装置探测研究[J]. 中国煤炭地质, 2012, 24(5): 60–65.
ZHANG J Z, YI C H, LI N. A study on multi-gradient profiling array in detection of coalmine shallow gob area[J]. Coal Geology of China, 2012, 24(5): 60–65. (In Chinese)
- [14] 张红顺, 杨凯达, 张浩. 基于二维最大熵阈值的 SAR 图像分割算法[J]. 科技信息, 2012(6): 33.
ZHANG H S, YANG K D, ZHANG H. SAR image segmentation algorithm based on two-dimensional maximum entropy threshold[J]. Science & Technology Information, 2012(6): 33. (In Chinese)
- [15] 张新明, 孙全党, 郑延斌, 等. 二维最大熵和二维最小交叉熵结合的图像分割[J]. 电光与控制, 2011, 18(2): 54–59.
ZHANG X M, SUN Q D, ZHENG Y B, et al. Image segmentation based on 2-D maximum entropy and 2-D minimum cross entropy [J]. Electronics Optics & Control, 2011, 18(2): 54–59. (In Chinese)

AR detection technology of coal mine water-filled goaf under two-dimensional maximum entropy image segmentation

QU Shenjie, QIAN Ming, CAO Jiuzhu, GAO Changzheng, ZHANG Lei

(China Coal Xinji Energy Co., Ltd., Huainan 232001, China)

Abstract: The detection technology of traditional coal mines is affected by the two-dimensional image characteristics and underground environmental factors, and there is a significant deviation in the accuracy of image acquisition and analysis, which cannot accurately restore the natural environment under the mine and seriously affects the progress of underground environment survey in the mining area. In order to solve this problem, AR detection technology is introduced to optimize the traditional detection method as follows: firstly, the 2 D maximum entropy of the coal mine is determined; then, the initial image signal construction and the image signal wavelet processing; finally, through the experimental comparison, the deviation between the detection results and the actual results is minimum, and the detection effect has good stability and reliability, the application requirement is low, realizing low technical threshold and suitable for extensive area application.

Keywords: bitmap maximum entropy image segmentation; coal mine; water-filling goaf; AR detection