

文章编号: 1001—1749(2011)04—0462—05

MAPGIS 环境下实现证据权法确定最佳缓冲区

李 鯤¹, 陈建国^{1,2}

(1. 中国地质大学 数学地质与遥感地质研究所, 湖北 武汉 430074;

2. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 断裂和某些特殊的岩体等地质要素通常与成矿作用密切相关, 寻找其空间位置与成矿的关系是一项值得研究的内容, 但目前尚缺乏定量分析的有力工具。这里利用证据法和 MAPGIS 的空间分析功能, 实现了线缓冲区与矿点分布的空间关系的定量分析, 介绍了应用原理和实现的技术流程, 讨论了实现的关键技术, 并以云南维西为例展示了应用效果。

关键词: 证据权法; MAPGIS; 缓冲区分析; 定量分析;

中图分类号: TP 319 **文献标识码:** A

0 前言

在综合信息矿产资源评价中, 一些具有特殊意义的线状和面状的地质要素(如断裂和岩体), 与成矿作用密切相关, 受其所控制的一定范围, 是找矿的有利区域, 经常会作为找矿的重要标志。例如: 云南个旧南部的龙树脚断裂, 既是导矿通道, 也是容矿空间, 已揭露和控制十三个氧化(富)矿体的矿化范围, 空间展布特征等都严格受到 EW 向断裂带的控制^[1]。但是, 此类线面地质要素的空间位置与成矿的有利性, 多是根据个人的主观经验而确定。因此定量分析尚缺乏有力的工具, 导致了分析结果变动较大, 最终的评价结果也易受人为因素的影响。在数据驱动的评价模型中, 结合统计学方法与地理信息系统(GIS)技术, 根据已知的样本单元寻找成矿的有利因素, 以此来对矿产资源定量评价的方法已取得了显著的成果。例如国外主要有基于 ArcGIS 开发的 Arc - SDM (2001) 模块^[2], 基于 MapObjects 开发的 GeoDAS 软件^[3]; 国内主要有基于 MAPGIS 开发的金属矿产资源评价分析系统(MORPAS)^[4]、矿产资源评价系统(MRAS)^[5]

等。这些软件都提供了一些对线面地质要素有利性的辅助分析功能, 但仍然没有实现较有效快捷的定量分析。作者在此基础上, 结合 MORPAS 系统框架, 研究了基于 MAPGIS 平台, 利用证据法, 对线面缓冲区与矿点分布的空间关系进行定量分析, 并编制出应用程序。

1 证据权法原理

证据权法是加拿大数学地质学家 Agterberg^[6]提出的一种地学统计方法, 它基于贝叶斯统计的思想, 通过对一些与矿产形成相关的地学信息的叠加复合分析, 来进行矿产远景区的预测。其中每一种地学信息, 都被视为成矿远景区预测的一个证据因子, 而每一个证据因子对成矿预测的贡献, 是由这个因子的权重值来确定的, 因子的权重是根据已知样本分析得出。该方法是一种基于数据驱动的信息综合方法, 具有根据已知的样本自动优选变量的功能, 现已被广泛运用于矿产资源评价中。证据权重的计算方法如下:

假设研究区被划分成面积相等的 T 个单元, 其中有 D 个单元为有矿单元, D₀ 个无矿单元。对于任意一个证据因子, 其权重定义为:

$$W^+ = \ln[P(B/D)/P(B/D_-)] = \ln((BD * D_-)/(BD_- * D)) \quad (1)$$

$$W^- = \ln[P(B_-/D)/P(B_-/D_-)] = \ln((B_-D * D_-)/(B_-D_- * D)) \quad (2)$$

$$C = W^+ - W^- \quad (3)$$

式中 W^+ 和 W^- 分别为证据因子存在区和不存在区的权重值,对于原始数据缺失区域的权重值为 0; B 为因子存在区的单元数; B_- 为因子不存在区的单元数; BD 为证据存在区有矿单元数; BD_- 为证据存在区无矿单元数; B_-D 为证据不存在区有矿单元数; B_-D_- 为证据不存在区无矿单元数。

W^+ 和 W^- 的差值 C ,则反映了因子对成矿的重要程度,可作为衡量该因子与矿点的相关度。利用 C 值可反过来分析该因子如何划分异常范围,能使因子与矿点的相关程度最大。例如,断裂的缓冲范围作为一个证据图层,可用 C 值来确定它与矿点的相关程度。当缓冲范围过小时,大量矿点在缓冲范围以外, C 值较小;当缓冲范围过大时,证据出现的单元中有大量的无矿单元, C 值也较小。因此,存在一个最佳缓冲范围,此时 C 值达到最大。

从式(1)、式(2)、式(3)可以看出, D 和 D_- 为有矿单元数和无矿单元数,是固定不变的; C 值受 BD 、 BD_- 、 B_-D 、 B_-D_- 四个变量的影响,而这四个变量只与缓冲距离的变化有关,即 C 为缓冲距离的一元连续函数。因此,通过分段计算不同缓冲距离对应的 C 值,可以勾绘出 C 的变化曲线,清晰地反映出 C 随缓冲距离的变化趋势,从而找到 C 值最大时对应的最佳缓冲值。 C 值随缓冲距离的变化如图 1 所示:

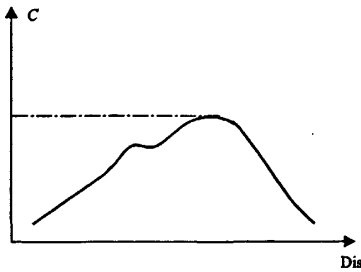


图 1 C 值曲线示意图

Fig. 1 Schematic curve of C value

缓冲区分析和叠加分析功能,可进行与空间位置有关的统计分析^[7]。一般的处理流程如下:

(1)将矿点文件与网格文件做叠加分析,将有矿点的信息提取到网格单元中。

(2)利用 MAPGIS 的缓冲区分析功能,获取断裂在某范围内的缓冲区文件。

(3)将此区文件与网格区文件做叠加分析,由叠加后区文件的属性数据,计算出缓冲区内的有矿单元数、缓冲区内的无矿单元数、缓冲区外的有矿单元数和缓冲区外的有矿单元数,并根据公式(1)~公式(3)计算出 W^+ 、 W^- 及 C 值。

要得到不同缓冲范围的 C 值,只要改变缓冲范围的大小,重复执行步骤(2)、步骤(3)即可。当缓冲范围分段较多时,即可勾绘出 C 值的变化曲线,并找到最大值。

从上可以看出,求 C 值的变化曲线需要做多次缓冲分析和多次的叠加分析,效率较低。若分段计算次数过多,需要较长的等待时间,此种方法并不实用。由于统计单元是以网格为基本单位的^[8](这里不考虑非规则的网格),作者从化探数据处理中受到启发,将每个网格中心与线的最近距离提取出来,作为与成矿有关的变量之一,根据此距离来判断网格是否在缓冲区内,并寻找此变量使 C 值最大的临界值,省去了缓冲区分析和多次的叠加分析,大大提高了效率。具体技术处理流程见图 2。

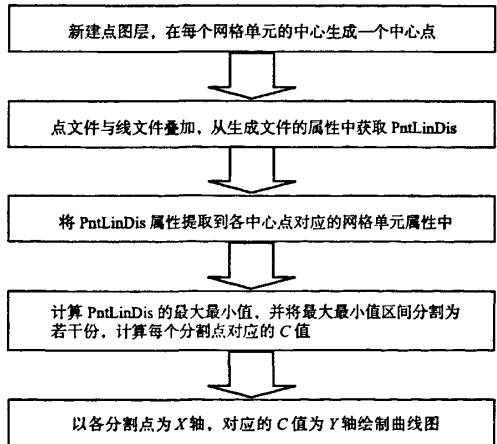


图 2 处理流程图

Fig. 2 Processing flow

2 技术处理流程

中地公司开发的 MAPGIS 平台,为解决空间数据的分析问题提供了有力的工具。利用该平台的

3 关键技术实现

作者在 VC++ 环境下,基于 MAPGIS SDK 6.7

实现了证据权法确定最佳缓冲区。

3.1 网格中心点的生成

首先从主视图类中获取网格单元信息,包括起始点(网格的左下角)坐标 x_0 、 y_0 ,网格间距 dx 、 dy ,网格行列数 nx 、 ny ,再用 MAPGIS API 函数 `_OpenPntArea`^[9]新建临时点图层,计算第一个网格中心的位置,用 `_AppendPnt`^[9]函数循环在每个网格的中心生成一个点。关键代码如下:

```
short ai_cntPnt = _OpenPntArea( m_parent -> m_Prj
-> paInst );
for( j = 0; j < ny; j++ )
{
    for( i = 0; i < nx; i++ )
    {
        dot.x = ( x0 + dx/2 ) + i * dx;
        dot.y = ( y0 + dy/2 ) + j * dy;
        _AppendPnt( ai_cntPnt, &dot, NULL, 8, &inf );
    }
}
```

3.2 点线最近距离的获取

MAPGIS 的点线叠加功能可以获取各点到最近的线的距离,并作为属性字段 `pntLinDis` 写入点文件中。利用此功能,将获取各网格中心点到最近的断裂的距离存入数组 `pntLinDis[]` 中,同时,根据已提取的有无矿点的字段获取 `deposit[]`,并根据 `deposit[]` 和 `pntLinDis[]` 获取有矿单元数 D 和无矿单元数 D_- 以及各有矿单元对应的点到断裂距离(相当于矿点到断裂的距离) `m_entityDis[]`,并找出 `m_entityDis[]` 的最大值和最小值 `maxDis` 和 `minDis`,根据 `maxDis` 和 `minDis` 及分组数 $Ngroup$,确定 C 值曲线横坐标的起始值和分割点。

```
short ai_pntLin = _OpenPntArea( m_parent -> m_Prj
-> paInst );
_OverlayPntLin( ai_cntPnt, m_aiLine, ai_pntLin, OV-
LY_OVERLAY ); //网格中心点与线叠加
for( i = 1; i <= nx * ny; i++ )
{
    _GetAtt( ai_pntLin, _AType( ai_pntLin ), i,
    &stru, &att );
    fldVal = _GetFld( att, stru, " PntLinDis", NULL,
    NULL );
    pntLinDis[ i - 1 ] = fldVal;
    //从叠加文件中获取 pntLinDis
    _GetRegAtt( m_aiAreaUnit, i, &stru, &att );
    deposit[ i - 1 ] = _GetFldOnNumb( att, stru, m_
```

```
fldInxDpt, NULL, NULL );
if( deposit[ i - 1 ] != 0 ) D++ ;
//有矿点的单元数
if( deposit[ i - 1 ] == 0 ) D_++ ;
//无矿点的单元数
}
```

3.3 计算 C 值

根据 `pntLinDis[]`、`deposit[]` 和分组间距 `stepDis` 计算各分割点处的 BD 、 BD_- 、 B_D 及 B_{D_-} ,再根据公式(1)、公式(2)、公式(3)计算 $W+$ 、 $W-$ 和 C 值。在实际计算 $W+$ 、 $W-$ 时,为了消除为分母可能出现的零值,在式(1)、式(2)比值的分子与分母上都加上 $1.e-10$ 。

在默认情况下,证据存在是指小于当前缓冲距离的范围,而在有些情况下,矿点分布的最有利位置处于离断裂某距离之外的一个环形区域,即最佳缓冲距离不是从 0 开始的。为解决此问题,程序定义了起始缓冲距离变量 `m_startDis`,此时,证据存在是指小于当前缓冲距离且大于 `m_startDis`。`m_startDis` 由用户给出的。关键代码如下:

```
threshold = minDis
for( j = 0; j < Ngroup + 1; j++ )
{
    for( i = 0; i <= nx * ny; i++ )
    {
        if( deposit[ i ] != 0 && pntLinDis[ i ] <=
        threshold && pntLinDis[ i ] >= m_startDis )
            BD++ ;
            //有矿点出露下证据存在的单元数
        if( deposit[ i ] == 0 && pntLinDis[ i ] <=
        threshold && pntLinDis[ i ] >= m_startDis )
            BD_++ ;
            //无矿点出露下证据存在的单元数
        if( deposit[ i ] != 0 && ( pntLinDis[ i ] >
        threshold || pntLinDis[ i ] < m_startDis ) )
            B_D++ ;
            //有矿点出露下证据不存在的单元数
        if( deposit[ i ] == 0 && ( pntLinDis[ i ] >
        threshold || pntLinDis[ i ] < m_startDis ) )
            B_D_++ ;
            //无矿点出露下证据不存在的单元数
    }
    if( D != 0 && D_ != 0 )
    {
        W = ( float ) log ( ( ( double ) BD * D_ + 1.e -
```

```

10)/((double)((double)BD_*D)+1.e-10));
W_=(float)log(((double)B_D*D_*D_*1.e-10)/((double)((double)B_D_*D)+1.e-10));
C[j]=W-W_;
}
grDis[j]=threshold;
if(m_grByEveryVal==TRUE)
    threshold=m_entityDis[j+1];
else
    threshold=threshold+stepDis;
}

```

3.4 C 值曲线绘制

程序提供了两种绘制方式:①以均匀分割点为 X 轴;②以每个有矿单元距断裂的距离 $m_entityDis$ 为 X 轴。前者可通过给定分组数,较精确地绘制出 C 值的变化曲线,方便看出 C 值的变化趋势;后者根据有矿单元与断裂的距离,自动获取非均匀分割点。可以看出缓冲区覆盖范围在逐渐增大时,每次增加一个有矿单元时的 C 值,而且可在一定程度上消除曲线的突变。

绘制曲线采用了 TChart 控件^[10]。TChart 是一款功能强大的图形绘制控件,能够方便地绘制各种统计图,而且图形与用户的交互操作好,可视化表达美观,如下页图 6 所示,图 6 中的小三角代表数据点,当鼠标移动到数据点上时,会弹出注释框提示当前数据点的 X 值、 Y 值。为了在显示缓冲距离和 C 值时,可以看到当前缓冲区内覆盖的有矿单元数,作者在程序中重写了 TChart 用于捕获和修改注释的消息处理函数 OnMarkTipToolGetTextT-chart1,使其在显示缓冲距离和 C 值的同时,也显示当前缓冲距离内所覆盖的有矿单元数。

在程序中还提供了矿点分布统计图的绘制功

能,可统计有矿单元在各缓冲区段的分布状况,作为最佳缓冲区分析的辅助功能。

3.5 数据流程

整个程序模块的数据流程如图 3 所示。

4 应用实例

作者以云南维西为例,展示此模块的应用效果。维西县位于云南省西北部,地广人稀,地理和自然环境较为恶劣,地质条件非常复杂,断裂较发育,且断裂控矿作用显著,出露的矿产主要有铜矿、铅锌矿等多金属矿产^[11]。作者将研究区划分网格为 46×34 ,共有有矿单元 110 个。下面运用最佳范围分析模块,分析矿点与断裂影响范围的关系。

打开程序模块,设置线图层为断层,样本字段为网格文件字段中的矿点数二值化,使用默认分组数 30(见下页图 4)。查看矿点分布统计图(见下页图 5)。从图 5 中可以看出,大部份矿点都分布在距离断层 1 000 m 以内(比例尺为 1:50 000)。点击绘制 C 值曲线按钮,得到不同缓冲距离处的 C 值,鼠标移动到数据点上,自动显示此处的缓冲距离、 C 值,以及覆盖的有矿单元数(见下页图 6)。从图 6 中可明显看出, C 值在 24 左右的位置值最大,且此时覆盖有矿单元数为 105,可取 24 为最佳缓冲范围。值得注意的是,当分组过多,样本较少时,曲线会波动较大,此时要选择合适的分组数。

5 结束语

证据权法缓冲分析应用程序,不仅可以应用于断裂的缓冲区分析中,还可将其扩展为寻找其它线状和面状界线类的地质因子的空间位置与矿点分布相关关系的工具,如航磁转换线,重力梯度带,岩

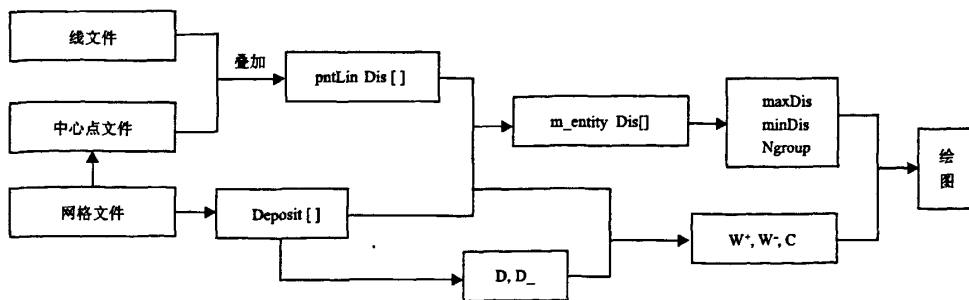


图 3 数据流程图

Fig. 3 Chart of data flow

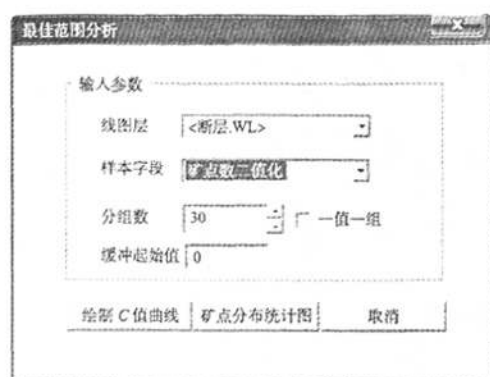


图 4 参数设置

Fig. 4 Parameter settings

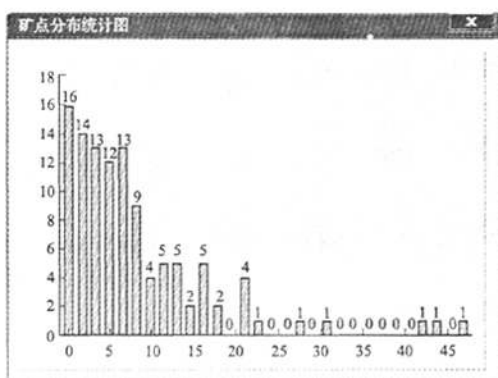


图 5 矿点在不同缓冲区间分布统计图

Fig. 5 Statistical chart of deposits distribution in different buffer

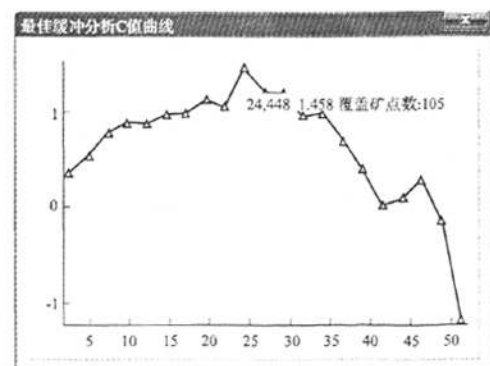


图 6 C 值曲线

Fig. 6 Curve of C value

体边界线等。根据本文思路,也易开发出寻找面状地质单元与矿点分布关系的应用程序。

证据权法缓冲分析功能为分析样本与线面地质要素的空间位置相关性提供了有力的工具,使分

析过程更加简便直观,结果更加精确可靠,取得了较好的应用效果。但值得注意的是,证据权法是基于统计学的方法,分析结果受样本和地质资料详细程度影响较大,当样本单元过少,研究区地质资料不详细时,分析结果可能会不理想。

参考文献:

- [1] 高建国,念红良,陈仕炎,等.云南个旧南部含矿断裂带与成矿元素空间展布特征-以龙树脚断裂为例[J].地质找矿论丛,2004,19(4):238.
- [2] BONHAM-CARTER G F, ACTERBERG F P, WRIGHT D F. Weight s of evidence modeling : A new approach to mapping mineral potential [C]. In : Agterberg F P, Bonham-Carter G F. Statistical Applications in the Earth Sciences [S. l.] : Geological Survey of Canada, 1989:171.
- [3] CHENG Q. GeoData analysis system (GeoDAS) for mineral exploration : User's guide and exercise manual [M/ OL]. Material for the Training Workshop on GeoDAS held at York University, Toronto, Canada. <http://www.gisworld.org/geodas>, 2000.
- [4] 胡光道,陈建国.金属矿产资源评价分析系统设计[J].地质科技情报,1998,17(1):45.
- [5] 肖克炎,张晓华,宋国耀,等.应用 GIS 技术研制矿产资源评价系统[J].地球科学:中国地质大学学报,1999,24(5):525.
- [6] ACTERBERG F P, BONHAM-CARTER G F, WRIGHT D F. Statistical Pattern Integration for Mineral Exploration[A]. In : Gaal C, Merriam D Feds. Computer Applications for Mineral Exploration in Resource Exploration, Oxford: Pergamon Press, 1990.
- [7] 中地软件丛书编委会. MAPGIS 地理信息 MAPGIS 地理信息系统参考手册 [M]. 武汉:武汉中地信息工程有限公司, 2000.
- [8] 宋国耀,张晓华,肖克炎,等.矿产资源潜力评价的理论 GIS 技术 [J]. 物探化探计算技术, 1999, 21 (3): 199.
- [9] 中地软件丛书编委会. MAPGIS 地理信息系统开发手册 (VC 版) [M]. 武汉:武汉中地信息工程有限公司, 2001.
- [10] STEEMA. TeeChart Pro VCL Version Help & Tutorials [OL]. <http://www.steema.com/files/vcl/public/TeechartGuide.chm>.
- [11] 杨松,董家龙,张振亮,等.云南兰坪-维西地区铜矿床成矿地质条件研究 [J]. 矿产与地质, 2006, 20 (6): 640.

作者简介:李鲲(1985-),男,硕士,研究方向为 GIS 软件应用与开发。