doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.02.015

基于SuperMap的多级瓦斯地质分析技术

岳　俊[1,2]
（1. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室，重庆 400037；2. 中煤科工集团重庆研究院有限公司，重庆 400037）

摘　要：瓦斯地质信息是一种空间信息。利用GIS技术开发瓦斯地质图形软件是管理和运用瓦斯地质信息的有效手段。基于SuperMap地理信息组件式平台二次开发的多级瓦斯地质分析系统，实现了对多级瓦斯地质信息的统一管理。为了解决长久以来只重视制图，不重视数据分析的问题，针对性地提出了以栅格数据和矢量数据为基础的瓦斯地质分析技术，详细叙述了各个分析功能的实现目的、过程和应用场景，为瓦斯地质数据的分析、利用理清了思路。

关键词：瓦斯地质；SuperMap；分析；栅格数据；矢量数据
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）02-0077-05

Multi-level Gas Geological Analysis Technology Based on SuperMap

YUE Jun[1,2]
(1. State Key Laboratory of the Gas Disaster Detecting, Preventing and Emergency Controlling, Chongqing 400037, China;
2. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China)

Abstract: Gas geological information is a kind of spatial information. Using GIS technology to develop gas geological graphic software is an effective means to manage and apply gas geological information. The multi-level gas geological analysis system based on SuperMap geographical information component platform has realized the unified management of multi-level gas geological information. In order to solve the problem of paying attention only to cartography but not to data analysis for a long time, we put forward a gas geological analysis technology based on raster data and vector data. We described the realization purpose, process and application scenario of each analysis function in detail, which could clarify idea for the analysis and utilization of gas geological data.

Key words: gas geology, SuperMap, analysis, raster data, vector data

瓦斯地质信息是一种空间信息，其数据具有空间位置特征。运用GIS技术开发瓦斯地质图形软件系统，是有效管理和运用瓦斯地质信息的重要手段[1-7]。基于SuperMap GIS平台二次开发的多级瓦斯地质动态分析系统，实现了矿区、矿井、采区和工作面多级瓦斯地质图的自动更新绘制，以及矿井多级瓦斯地质信息的全方位预测，为煤矿安全生产和指挥决策提供基础依据。一般的瓦斯地质绘图软件只关注编图，很少重视对瓦斯地质数据的分析利用[8-15]。多级瓦斯地质分析系统从数据生产利用的角度出发，提出了一套以GIS空间数据为基础，GIS空间分析能力为支撑的多级瓦斯地质分析技术及方法。

1　多级瓦斯地质分析系统

多级瓦斯地质动态分析系统，基于SuperMap Objects.NET 6R组件式GIS，在Visual Studio 2019开发环境下采用C#.NET语言开发。系统数据分为参数数据和图形数据两大类，如图1所示。

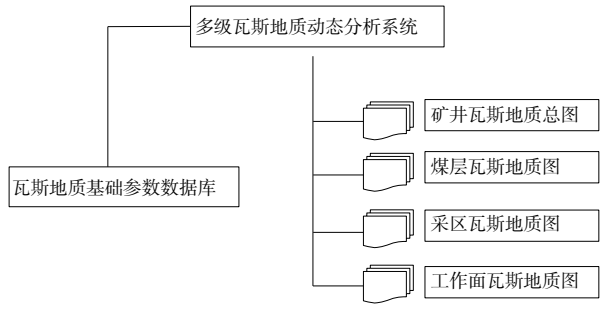


图1　系统结构简图

瓦斯地质实测参数及系统的配置信息，如用户信息及字段域值信息等，统一存储在瓦斯地质基础参数数据库中。数据库采用Microsoft SQLServer作为数据库服务器，各客户端系统共享访问。矿井、煤层、采区和工作面各层级的瓦斯地质图形数据，以

收稿日期：2021-08-30。
项目来源：重庆市安全生产(煤炭发展)专项（2020B182[5985]20015504）；重庆院自立创新引导项目（2021YBXM40）。

一套SuperMap数据文件的形式，存储在嵌套的数据文件夹中。采取基础参数与图形数据分离的形式，可以很方便地实现不同层级瓦斯地质图之间数据的共享。所有瓦斯地质参数都统一从基础参数数据库获取，有效保证了多级瓦斯地质数据的一致性，无需重复录入，避免冗余。系统按照功能划分公共功能模块、数据管理模块和分析功能模块等三大模块，如图2所示。公共功能模块提供了瓦斯地质图文件管理、地图视图功能和排版打印功能，及图层管理功能。数据管理模块提供了瓦斯地质图各类数据的制作及编绘功能。分析功能模块，提供了基于栅格数据的等值线分析、剖面分析、煤厚变化率分析和基于矢量数据的影响区分析、叠加分析等功能。接下来主要详细介绍系统中的瓦斯地质专业分析功能。

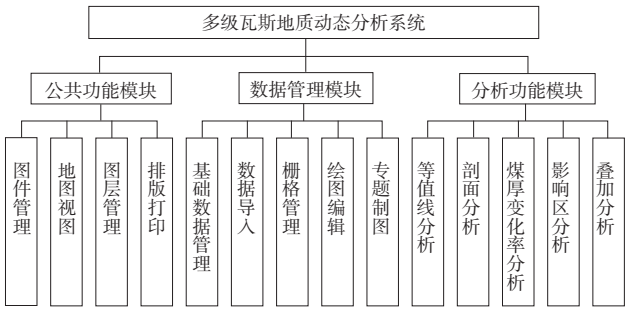


图2 系统功能框架

2 基于栅格数据的分析

瓦斯地质各种等值线和等值面包括瓦斯压力、瓦斯含量、瓦斯涌出量、煤层底板、煤层厚度、煤层埋深等，是瓦斯地质图用于表现瓦斯地质赋存特征的重要要素。为了实现等值线自动绘制，系统以栅格数据为基础，从数据的创建、运算、重建到各种分析，提供了一整套功能。栅格数据将一个平面空间规则划分为行和列，形成规则网格，每个网格称为一个像元。每个像元都以给定值来表现瓦斯地质特征值，如瓦斯压力、煤层厚度等。基于栅格数据的瓦斯地质分析过程如图3所示。

2.1 栅格插值分析

栅格数据的创建过程实质是构建栅格分析范围内所有像元的特征值的过程。实测瓦斯地质数据仅仅只是少数，栅格范围内的大多数未知点都需要通过空间插值推断求得。空间插值算法是通过已知点和栅格分析范围，推求区域内任意点数据的方法。SuperMap通过Interpolator类提供了距离反比例权值插值、样条插值、克吕金插值和径向基函数插值和点密度插值等栅格插值算法。

创建栅格数据的数据来源分为2种，一种来自于外部数据，一种来自于内部数据。外部数据是CAD或Excel、CSV等文件格式记录的数据。这些数据文件记录了创建栅格所需的点或线数据。例如煤层底板等高线CAD图中的等高线图层，以多段线形式绘制了煤层底板等高线。多段线自带的标高字段，记录了煤层底板高程值。通过数据导入模块可读取煤层底板等高线数据，插值生成煤层底板栅格。内部数据是系统数据库里记录的点或线数据集。这些数据集通过字段记录了特征值，通过对这些矢量数据的插值，也可得到栅

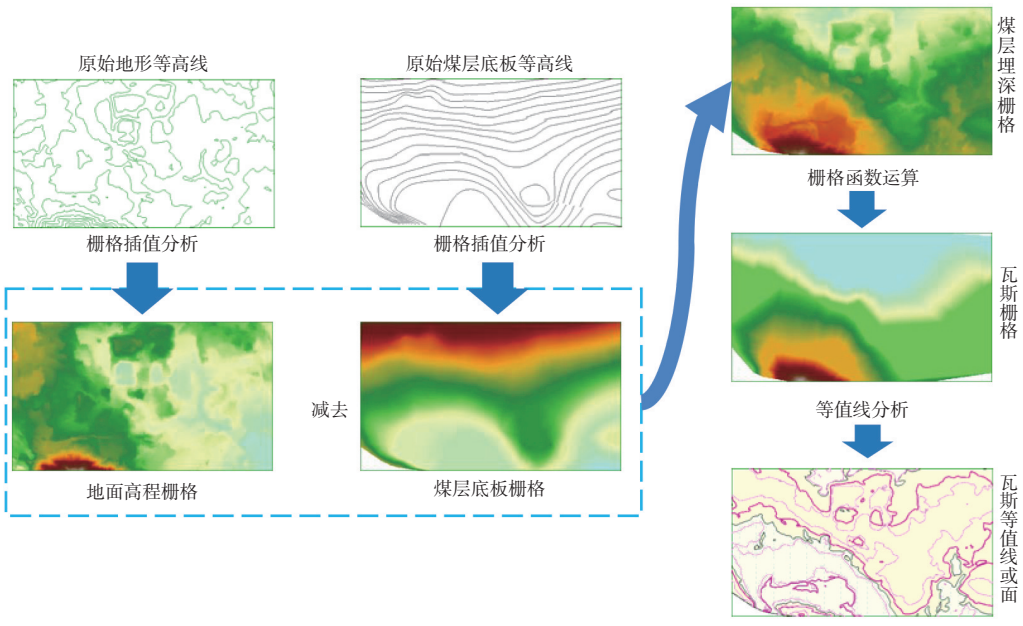


图3 基于栅格的分析过程

格数据。如图3左侧所示，对原始地形等高线和煤层底板等高线进行栅格插值分析，创建了地面高程栅格和煤层底板栅格。

2.2　栅格代数运算

多数瓦斯地质栅格可利用原始数据通过空间插值算法直接创建，如地面高程、煤层底板、煤层厚度等。其他一些栅格数据，如煤层埋深、瓦斯压力、瓦斯含量、瓦斯涌出量等，则需要通过栅格之间的代数运算得到。栅格代数运算是运用代数学的观点对地理特征和现象进行空间分析，实质上是对多个图层进行数学运算以及函数运算，运算结果栅格的像元值是由输入的一个或多个栅格同一位置的像元值通过代数规则运算得到的。如图3所示，通过地面高程栅格减去煤层底板高程栅格，可以得到煤层埋深栅格。

瓦斯参数相关的栅格要复杂一些。例如瓦斯压力可以拟合为与煤层埋深的线性关系式，可通过对煤层埋深栅格的函数运算，得到瓦斯压力栅格。

SuperMap通过MathAnalyst类提供了栅格代数运算功能，不仅有常用的加减乘除和取整等算术运算方法，还支持通过自定义表达式，进行栅格的条件运算、逻辑运算、函数运算及复合运算。

2.3　栅格数据重建

由于瓦斯地质的多级性，不同层级瓦斯地质图的尺度各不相同。矿井或煤层瓦斯地质图一般以1∶5 000比例尺绘制，范围大。采区工作面瓦斯地质图一般以1∶2 000或1∶1 000绘制，范围小。如果不同尺度下均以相同像元大小生成栅格数据，要么数据量太大影响分析效率，要么数据精度太低不能达到分析要求。因此数据在不同层级间转换时，需要根据比例尺确定像元大小，重新构建栅格数据。

栅格数据重构实质上是对栅格像元重新划分的过程。像元大小改变以后，像元中心位置也发生了变化，导致栅格像元和原始栅格并不都是对齐的。因此需要对栅格数据进行一定规则的重采样，建立新的栅格矩阵。此外，重采样还是处理栅格分辨率匹配问题的常用方法，通过重采样可以将不同分辨率的栅格数据统一到一个指定的分辨率上。例如一部分栅格来自采区，一部分栅格来自工作面，要合成煤层级别的栅格，就可以通过栅格数据重采样来实现数据融合。如图4所示，左侧栅格分辨率为4.33，右侧栅格通过重采样后，分辨率变为12.66。SuperMap通过GeneralizeAnlayst类的Resample方法，提供了包括最邻近法、双线性内插法和三次卷积法等3种重采样方法。

2.4　等值线分析

栅格数据可以通过表面分析来提取等值线或等值面，如图3右侧所示，在瓦斯栅格的基础上提取了瓦斯压力、含量及涌出量等值线或面。SuperMap通过SurfaceAnlyst类提供了ExtractIsoline方法用于提取等值线，ExtractIsoregion方法用于提取等值面。

提取等值线和等值面时，一种控制提取结果的方式是设置基准值DatumValue和等值距Interval。提取过程将以基准值为参考，向上或向下按等值距搜索满足条件的值，并产生等值线或等值面。另一种是通过设置提取参数中的指定值集合ExprectedzValues，得到满足固定值的等值线和等值面。为了让等值线或等值面边界平滑，SuperMap提供了2种光滑方法，B样条法和磨角法。光滑系数越大，等值线或等值面边界就越平滑。

2.5　剖面分析

基于地面高程栅格、煤层底板栅格、煤层埋深栅格，在瓦斯地质图中绘制折线段，可以绘制出沿剖线剖面图。如图5所示的剖面分析窗口中，剖面图可清晰显示沿线的地面高程、煤层底板高程、煤层埋深值的高低起伏趋势，这在分析一条巷道延伸方向上的煤层赋存情况非常有用。剖面分析的过程实际上是沿线采样求取栅格像元值的过程。SuperMap通过Calculation-

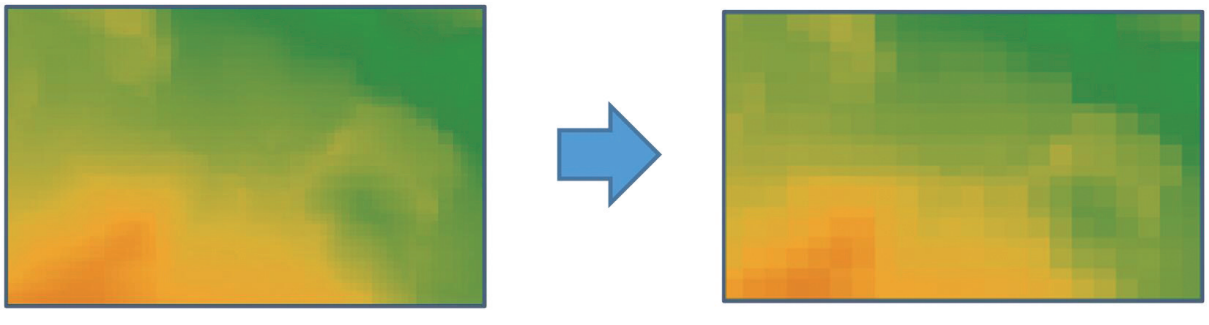


图4　栅格数据重建

Terrain类提供的CalculateProfile方法实现了剖面分析功能。



图5 剖面分析对话框

2.6 煤厚变化率分析

煤层厚度是一类重要的瓦斯地质数据，煤厚大且变化大的区域，煤层瓦斯含量变化也大，突出危险性也更大。SuperMap具有地形计算功能，可根据地形DEM数据产生坡度栅格。如果把煤厚栅格与地形栅格类比，则煤厚变化率类似于地形坡度，都是计算像元 e 相对于周围 e_0 至 e_8 等8个相邻像元的栅格值变化率。设坡度角度值为 $\theta=\mathrm{arctg}\left(\sqrt{f_x^2+f_y^2}\right)$，其中水平方向高程变化率 f_x 和垂直方向高程变化率 f_y 通过三阶反距离平方权差方法计算得出：

$$f_x=\frac{(e_6+2e_3+e_7)-(e_5+2e_1+e_4)}{8\mathrm{CellSize}}$$

$$f_y=\frac{(e_7+2e_0+e_4)-(e_6+2e_2+e_5)}{8\mathrm{CellSize}}$$

SuperMap通过CalculationTerrain类提供的CalculateSlope方法实现了此功能。如图6所示，由煤厚栅格通过分析得到了煤厚变化率栅格。对比煤厚栅格和煤厚变化率栅格可以看出，煤厚突变的地方其煤厚变化率栅格的颜色越深、值越大，这些位置的突出危险性也更大。

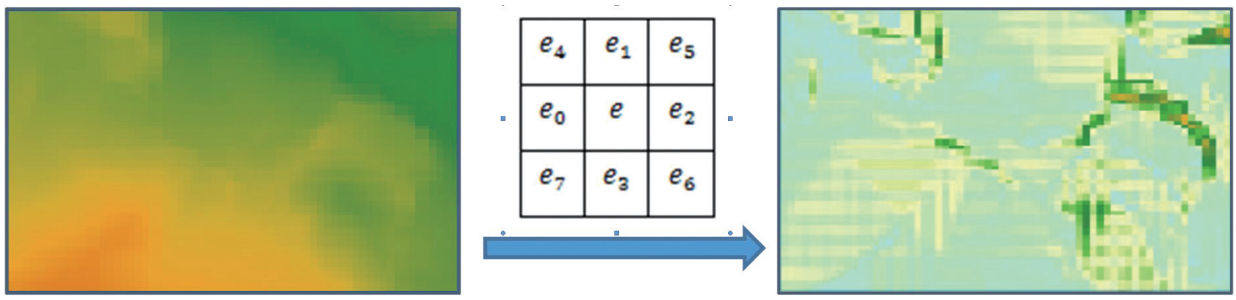


图6 煤厚变化率分析

3 基于矢量数据的分析

瓦斯地质图的各种等值线、等值面，以及边界线、煤柱、地质构造线等，都是矢量数据。通常需要分析他们之间的空间位置关系，这就需要基于矢量数据设计瓦斯地质分析功能。

3.1 影响区分析

影响区分析，实质对分析设定对象作缓冲区分析。例如对于断层对象，在瓦斯地质图中保存在地质构造线图层中，图层属性字段存储了断层的影响半径，影响半径以内的区域就是突出危险性增大的范围。此时选择断层所在的线图层作为分析对象，设定缓冲区半径为影响半径字段，也可以直接设定为固定值，然后调用BufferAnlayst类的CreateBuffer方法完成影响区分析。如图7所示，左侧是原始图形，右侧通过分析在断层线周围产生了影响区多边形。

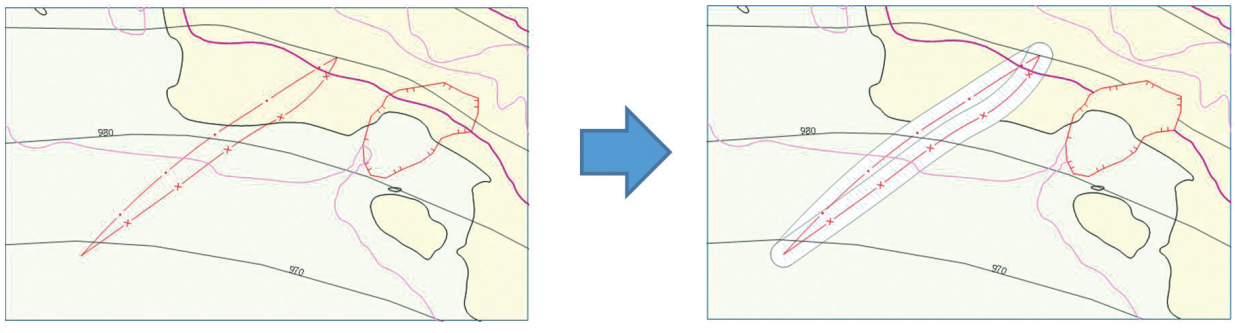


图7 基于矢量的数据分析

3.2　叠加分析

通过叠加分析，可以分析几何对象之间的交叉重叠情况，并对相交部分进行处理。例如按照瓦斯地质制图规范，陷落柱范围内不应该绘制瓦斯等值线。要去除陷落柱区域内的等值线，可以使用叠加分析功能。叠加分析提供了两种方式处理重叠：一种是擦除，将会把重叠部分去除；另一种是裁剪，将仅保留重叠部分。SuperMap通过OverlayAnalyst类的Erase方法实现了擦除，Clip方法实现了裁剪功能。如图7所示，左侧图中穿过陷落柱区域内部的瓦斯等值线，在右侧图中经过叠加分析已经被擦除。

4　结　语

多级瓦斯分析技术及软件系统，借助SuperMap的空间数据管理及空间分析能力，实现了一套完整的基于栅格和矢量数据的瓦斯地质分析方法。系统自2019年开发完成以来，在全国主要产煤省市20多个矿井30多个煤层成功应用，编绘标准瓦斯地质图100余幅。系统提供的多级瓦斯地质分析技术，对瓦斯赋存规律的预测准确率可达到85%以上。该技术解决了常规CAD软件编绘瓦斯地质图工作量大、效率低下的问题，破除了其他瓦斯地质编图软件只重绘图不重视分析应用的弊端。多级瓦斯地质分析功能的实现，让多级瓦斯地质系统不再仅仅提供编图功能，还能从数据产生数据，得到常规手段无法得到的信息，为煤矿安全管理提供了新的技术手段。

参考文献

[1] 张子敏,张玉贵. 矿井瓦斯地质图编制[J]. 煤炭科学技术,2005,33(8):39-41

[2] 张子敏,张玉贵. 三级瓦斯地质图与瓦斯治理[J]. 煤炭学报,2005,30(4):455-458

[3] 王蔚. 基于GIS的煤矿瓦斯地质信息系统研究[D]. 焦作:河南理工大学,2015

[4] 刘文杰. 基于SuperMap的矿井瓦斯地质动态编图技术研究[J]. 能源与环保,2020, 42 (1):21-24

[5] 岳俊. 石壕煤矿工作面瓦斯地质系统设计及应用[J]. 现代矿业,2017,33 (2):188-192

[6] 岳俊,张庆华,李明建,等. 建立于SuperMap二次开发基础上的工作面突出危险性评价系统[J]. 矿业安全与环保,2012,39 (6):47-50

[7] 刘文杰,李明建,岳俊,等. 基于GIS的煤矿地质测量信息系统的设计与开发[J]. 西南大学学报(自然科学版),2012,34 (10):137-143

[8] 覃木广. 瓦斯地质动态分析技术体系在杨河煤业的应用[J]. 能源与环保,2020, 42 (6):69-72

[9] 焦汉林,杨胜强. 瓦斯等值线图在煤层突出危险区划分中的应用[J]. 煤炭技术,2015,34(3):150-152

[10] 崔俊飞,唐韩英. 矿井瓦斯地质智能预警平台的建设与应用[J]. 工矿自动化,2015, 41 (1):25-29

[11] 石岚. 矿井动态瓦斯地质图系统的开发与研究[J]. 自动化应用,2021(3):138-139,144

[12] 潘辛,于宝种. 多级动态瓦斯地质分析系统的研究及应用[J]. 能源与环保,2020, 42 (4):56-60

[13] 周煜. 矿井瓦斯地质动态管理系统的应用[J]. 工程技术研究,2019, 4 (14):184-185

[14] 唐韩英. 矿井瓦斯地质智能分析及动态防突管理系统在新景公司的应用[J]. 煤炭技术,2016,35 (7):176-178

[15] 王麒翔,韩文骥,高原,等. 瓦斯地质信息化编图的思考及关键技术[J]. 矿业安全与环保,2015,42 (6):93-95

作者简介：岳俊（1985—），副研究员，主要从事基于地理信息的瓦斯地质及瓦斯灾害预警软件研究和开发工作。