

GIS 在开采沉陷领域应用及与专业模型的结合

杜培军¹ 郭达志¹ 方涛² 施鹏飞²

(1 中国矿业大学测绘与空间信息工程研究所, 徐州市泉山区翟山, 221008)
(2 上海交通大学图像处理与模式识别研究所, 上海市华山路 1954 号, 200030)

摘要:GIS 在开采沉陷领域的应用可从数据与信息、管理、基本空间分析、GIS 与专业模型结合、空间决策支持系统建立四个层次进行。GIS 与专业模型结合是目前最主要的应用方式, 其实现方法包括基于数据传输的松散式结合、基于共同用户界面的表面无缝结合、内嵌式结合等, 基于组件开发技术实现二者结合的方法最具前景, 符合当前 GIS 发展的趋势。实践证明, GIS 与开采沉陷专业模型结合具有明显的优越性。

关键词: 开采沉陷; 地理信息系统; 专业模型; 空间分析; 组件
中图法分类号: P208

目前, 大多数 GIS 软件都具有基本的空间分析功能, 这些功能可解决相关领域的一些基本问题, 但在一些大型、综合、复杂的应用方面则存在较大的局限性。不同应用领域对数据分析与处理有不同的要求, 将 GIS 与面向特定领域的专业应用模型相结合, 进行有关的数据处理、信息管理、空间分析、反演预测、决策支持等, 已成为 GIS 研究的一个重要方向^[1~4]。

开采沉陷是一种典型的人类活动诱发的环境损害, 伴生了多种资源与环境问题, 同时还会诱发其他环境地质灾害, 进而可能引发社会经济问题, 极大地影响着工矿城市的可持续发展。GIS 是塌陷灾害分析与治理研究最有效的工具之一。本文拟从 GIS 在开采沉陷领域应用的策略与方法、开采沉陷专业模型与 GIS 结合的角度出发, 对相关问题进行研究。

1 GIS 应用的策略与方法

1) GIS 用于数据管理与表达。开采沉陷是一种复杂的三维、动态过程, 涉及的资料、信息复杂繁多, 既有井下、地面不同空间位置的信息, 又包括地质、采矿、基建、测绘等领域的的数据, 必须提供一个有效的数据管理工具, GIS 无疑具有明显的优越性。在进行井下工作面管理时, 以 GIS 为平

台, 将各开采工作面、井下巷道的信息以矢量方式进行组织, 将工作面特征信息用属性数据库存储, 实现井下生产系统的管理、显示与查询等。同时, 根据平面位置实现地面与井下的对应, 将地面图形与属性数据用 GIS 进行组织, 实现 GIS 平台下地面、井下数据综合管理, 用于制图、设计、查询、规划等。这一应用的核心是建立空间与属性数据库。

2) GIS 空间分析功能的应用。GIS 具有的缓冲区、叠加、网络、DTM 等分析功能, 可以解决一些实际问题。缓冲区分析能够快速确定开采的影响范围, 提取受影响的建筑物信息, 提供开采方案比较与征迁费用计算需要的数据。叠加分析用于多因素综合评价, 能够对塌陷土地复垦治理潜力进行分析评价。DTM 可以在塌陷盆地等高线的基础上进行地形分析, 为塌陷地治理、土地复垦工程量计算、水土流失防治等提供技术支持, 并将得到的分析结果以可视化形式表达与输出。这一层次应用的关键在于 GIS 空间分析功能的建模能满足领域的应用要求。

3) 基于 GIS 的决策支持系统。GIS 与专业模型的结合可以解决领域的应用需求, 但两者仍未实现整体的融合与一体化, 以 GIS 为基础的空间决策支持系统 (SDSS) 则是 GIS 应用的最高层次。在这一层次, GIS、专业模型、遥感与 GPS 等技术成

为一个有机整体,共同纳入SDSS的框架之中,实现了多源数据的无缝融合、GIS基本功能与专业模型的有机结合、“3S”技术集成、GIS与决策支持

系统的一体化运行。图1为基于GIS的矿区地面塌陷监测与调控决策支持系统的结构与主要任务。

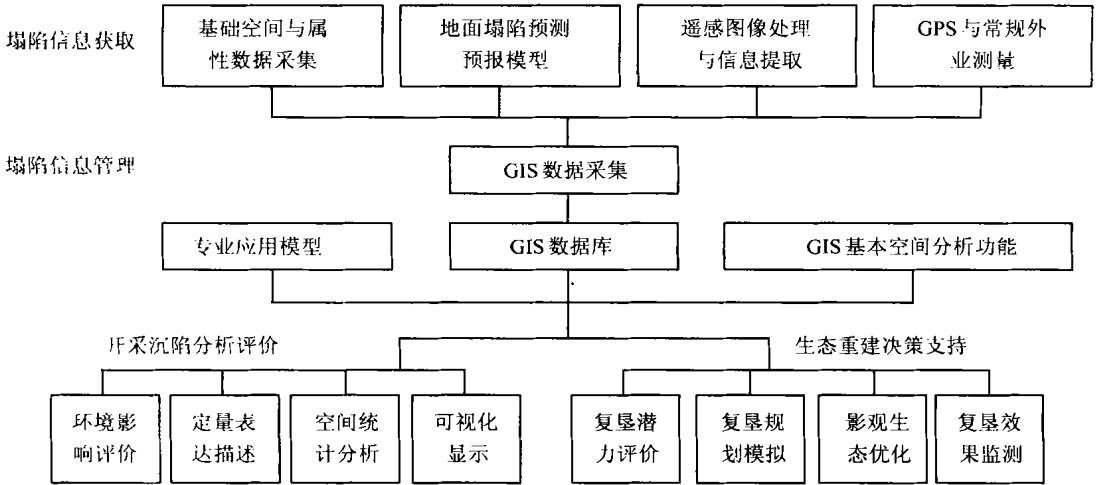


图1 基于GIS的矿区地面塌陷监测与调控决策支持系统

Fig. 1 Land Subsiding Monitoring and Regulation DSS Based on GIS

2 GIS与专业模型的结合

许多领域的实际应用都比较复杂,涉及到不同的操作算子,而GIS的空间分析功能是有限的,只能解决其中的一些基本问题,缺乏解决问题的系统与整体策略。在开采沉陷环境影响评价(EIA)中,要进行受影响的地面建筑物、景观生态系统、经济损失、土地生产力等方面的评价,这些评价都有相应的模型,如模糊综合评判模型、神经网络评价模型等。将GIS与这些评价模型结合的基本方法是:①根据评价目标,确定评价采用的信息与数据;②将GIS与地面沉陷预测模型结合,确定地面塌陷范围,生成地面塌陷等高线与DEM,将各变形指标(倾斜、曲率、水平移动等)进行可视化表示;③结合特定的评价模型,从GIS数据库中提取需要的信息供评价模型使用;④将评价结果通过GIS以可视化表达。这种结合可以从不同层次上进行。

2.1 优越性

空间分析是GIS最重要的功能之一,其研究主要集中在以下两方面:①利用数学理论和方法改进和扩展GIS的空间分析模型;②与多种应用模型相结合,形成特定的GIS应用模型^[5],这是当前GIS应用领域研究的热点之一。其优越性的具体内容参见文献[2,3]。

2.2 结合方式

2.2.1 基于数据传输的松散结合方式

这是当前应用最广泛、也是最简单的方式,其基本思路是:以GIS作为多源数据采集和管理的平台,将经过前期处理的数据传输至专业模型如开采沉陷预测模型进行处理,再将模型分析结果返回GIS,通过后后期数据处理后利用GIS的输出模块显示分析结果,如图2所示。其中两个关键问题是数据格式转换与数据存取操作。这种方法的缺点是GIS与空间分析模型作为两个独立的平台,系统可靠性差,容易出现差错,且运行效率较低,优点是简单可行、成本低、应用方便。

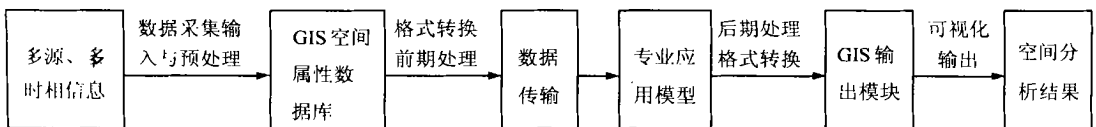


图2 基于数据传输的松散结合方式

Fig. 2 Loose Combination Based on Data Transmission

2.2.2 基于共同用户界面的表面无缝结合方式

通过一个共同的界面(一般是流行的图形用

户界面GUI)将GIS与专业模型进行统一管理,尽管两者本质上是独立运行的,但在表面上则是无缝

的、一体化的。用户通过对界面部件如菜单、命令按钮等的操作实现系统调用、数据传输,在应用的方便性、效率方面均有一定的改善,如图 3 所示。

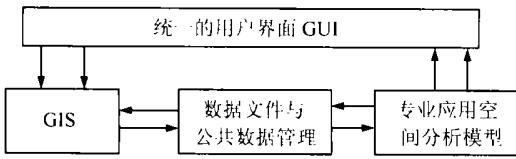


图 3 基于共同用户界面的表面无缝结合方式
Fig. 3 Surface Seamless Combination
Based on Common User Interface

2.2.3 在 GIS 中嵌入专业模型

随着技术的发展, GIS 与专业模型的结合应尽量实现两者在内核上的集成、在线的连接、有机的联系,即嵌入式的结合,最常用的是在 GIS 中嵌入专业应用模型,如图 4 所示。GIS 二次开发在其中发挥着重要作用,如利用 MapInfo 的 Map Basic、ArcView 的 AVENUE、Arc/Info 的 AML 进行开发。另外,随着 GIS 开发平台开放性的增强,在 GIS 中可直接嵌入用其他程序设计语言编写的模块。

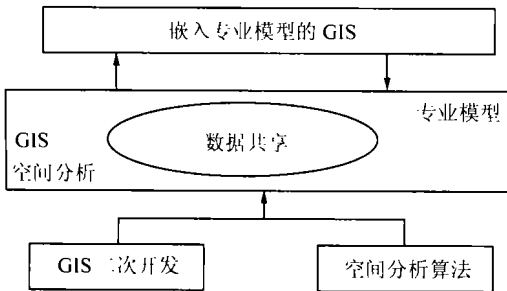


图 4 GIS 中嵌入专业模型的集成方式
Fig. 4 Embedding Professional Model in GIS

2.2.4 在专业模型中嵌入 GIS 功能模块

在进行面向专业应用的系统开发时,应用一些 GIS 功能模块实现图形与属性数据管理、表达、分析及可视化显示等功能,从而实现专业模型与 GIS 的整体结合,如图 5 所示。这种方式的 GIS 模

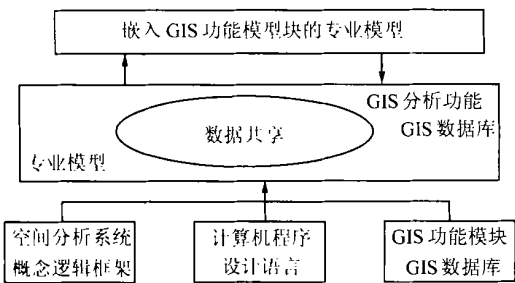


图 5 在专业模型中嵌入 GIS 功能模块
Fig. 5 Embedding GIS Function in Professional Model

块的开发尚缺乏统一的标准,通用性较差,而组件式 GIS (Com GIS) 的发展则为这种结合提供了有力的支持。针对具体情况,按照 COM、CORBA、Java Beans 等标准开发的 GIS 组件,可以标准的接口提供系统开发使用,通过组件组装与集成实现系统的开发。

2.2.5 基于组件技术的 GIS 模型库开发

GIS 应用模型可以表述为 $Model = [S, P, E, I, O]$, 其中 S 表示模型的属性集合,包括模型的标识 ID、类型以及反映模型功能和行为的变量; P 表示对信息的操作和模型对外界的服务; E 表示模型所产生的各种事件的集合, I 为模型的多重接口; O 为模型中操作的次序。将模型的这一表示方式与组件进行比较,可以发现两者结构非常相似,因此,用组件技术开发 GIS 应用模型是可行的^[8]。

从 GIS 本身的发展看, GIS 的结构体系经历了主机集中计算模式、C/S 计算模式和当前的组件式 GIS (Com GIS) 3 个阶段。组件式 GIS 的开发包括基本功能组件开发和面向不同领域的专业组件开发。应用组件式 GIS 在充分利用 GIS 厂商提供的组件式 GIS 产品(如 Map objects, MapX, Titan GIS 等)的基础上,进行面向特定专业分析应用的专业组件开发与系统集成,兼具前几种结合方案的优点。这一方法在专业模型开发领域有望得到广泛应用。

基于组件式思想开发 GIS 模型库,具有软件复用性强、结构清晰、易于维护、开放性强等优点,易于实现向决策支持系统的移植。以组件式 GIS 模型库为基础建立决策支持系统模型库,是基于 GIS 建立决策支持系统的重要方面。

3 应用实例

3.1 GIS 与开采沉陷预测模型的结合

应用开采沉陷预测预报模型进行地面塌陷值计算的理论与算法已有较多研究,并已在实用系统开发中得到应用。在 GIS 支持下进行预测,可以充分利用空间数据与分析模型,实现预测结果的实时可视化表达。通过对上述 GIS 与专业模型结合方式的比较,选择基于数据传输的松散结合方式,通过在 GIS 与应用模型间开发一个数据传输与转换模块实现两者之间的数据交互。采用 VB6.0 作为开发平台, GIS 软件采用 ArcView, 具体的数据流程与体系结构如图 6。开发中的关键问题包括井下测量数据处理与采空区信息在 GIS 中的组织、

ArcView 文件操作与数据读写、数据转换与预测模型参数提取、预测结果向 GIS 数据库的传输与转换等。最终的预测结果以数据文件形式提供给 GIS,

每行要素为 (ID, X, Y, H), 其中 X、Y 为预测点平面位置, ID 为点号, H 为预测该点的高程, 以此为基础可以生成 DEM, 供进一步分析应用。

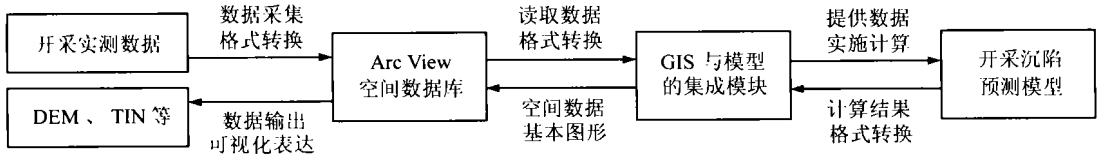


图 6 GIS 与开采沉陷预测模型的结合

Fig. 6 Combination of GIS with Mining Subsidence Predicting Model

3.2 GIS 与 CA 模型结合用于地面塌陷扩展模拟

发展时空一体化分析和在 GIS 系统中融合时空动态模型是增强 GIS 空间分析功能的两个主要途径。元胞自动机 (cellular automata, CA) 模型特别适合于模拟和显示复杂的时空动态现象和过程, 但缺乏输入、修改、存储和输出空间信息的能力。CA 从 GIS 中获取栅格格式的空间和属性数据, 并利用 GIS 作为 CA 模拟结果的输出接口, 在 GIS 的基础上实现 CA 与其他模型的结合, 可以增强当前 GIS 软件所缺乏的时空分析与动态建模能力, 有效提高 GIS 的分析功能, 并为处理时间维提供一个很好的方法, 形成一个全新的优势互补的动态系统, 用来对复杂时空现象、行为和过程进行动态建模分析^[9-11]。根据 CA 和 GIS 的特点, 在研究中采用基于共同用户界面的无缝表达的结合方式, 用户界面用 VB6.0 开发, 如图 7 所示^[2,9]。在具体实现中, 首先根据 CA 模型的特点, 确定邻

在最简单的情况下, 将 CA 模型应用于地面塌陷扩展模拟的基本方法是: 将元胞状态空间作为二值空间, 即地面只存在塌陷和未塌陷两种状态, 控制因素层选地下采空区范围, 将地面塌陷视为地下采矿控制下的地面演变过程, 某一时刻一个元胞的状态由其上一时刻状态、邻域内元胞状态与控制因素层共同确定, 将地下采空区视为矩形区域。其实现策略如下。

1) 元胞空间与变量选择。取开采煤层可能的地面影响区 (由缓冲区分析得到) 作为分析空间, 按 10m×10m 进行网格划分后作为元胞空间, 元胞状态选 {0, 1}, “0”表示该元胞位置未发生塌陷, “1”表示该元胞位置发生塌陷。每一元胞是否塌陷取决于上一时刻的元胞状态、邻居状态和影响变量 (即地下采区作用力) 3 个因素。将影响变量量化, 当某一时刻地下采空区的影响可能导致某元胞位置塌陷时取“1”, 否则取“0”。

2) 邻居确定。顾及到地面塌陷是由中心向四周辐射式扩散, 邻居选取时采用偏心式 3×3 窗口, 即沿元胞与采空区中心元胞连线向内、以计算元胞为最外角点选取 3×3 窗口作为邻居。

3) 演变规则确定。演变规则的确定应综合考虑控制变量和邻居状态, 具体规则为: 设 S 为某时刻的元胞状态, 在 $t+1$ 时刻, 确定采空区的影响范围 E , 对某一元胞 C , 如果其落在 E 外, 则 $S_{t+1} = S_t$; 否则根据邻居在上一时刻的状态确定演变趋势, 如果邻居窗口中有不少于 4 个元胞是塌陷地, 则该元胞的状态将是“1” (即塌陷地)。由于在不考虑人类治理时, 塌陷元胞将一直保持塌陷状态, 因此, 对于 t 时刻状态已是“1”的元胞, 在 $t+1$ 时刻直接令其为“1”即可。在动态模拟中, 每次处理的重点都是随着采空区扩大, 导致影响范围增大, 原塌陷地边缘元胞的演变趋势。

按照以上方案对某工作面开采过程中地面塌陷进行模拟, 所模拟的动态塌陷范围与同一时期预

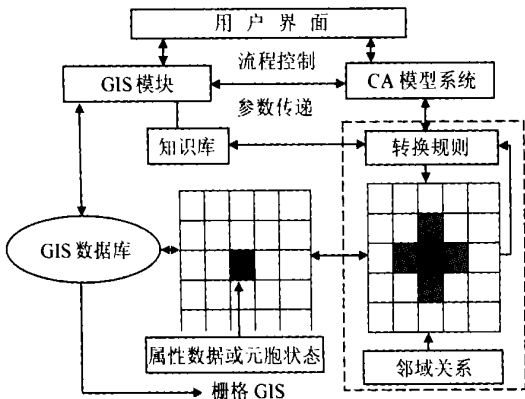


图 7 CA 模型与 GIS 集成应用框架

Fig. 7 Combination of GIS with CA Model

域空间和转换规则, 然后将邻域划分转变为 GIS 栅格数据, 将转换规则用 IF...THEN...形式进行表达, 建立知识库, 用程序模块提取栅格数据并按知识库进行逻辑判断与推理, 确定下一时刻某栅格属性即对应的元胞状态。

测的塌陷地边界基本一致, 边界线最大偏差为两个元胞(20m)。这一模拟模型是针对最简单的情况进行考虑的, 如何针对不同程度的塌陷状况、人类作用下的塌陷与治理过程甚至塌陷对地面影响的三维过程等进行模拟, 仍是一个相当复杂的问题, 需要进一步深入研究。但即使在这些相对复杂的情况下, 本文提出的结合模型仍然可以得到应用。

参 考 文 献

- 1 Dobson J E. Commentary: A Conceptual Framework for Integrating RS GIS and Geography. PE&RS, 1993, 59(10): 1 491~1 496
- 2 杜培军. 工矿区陆面演变与空间信息技术应用的研究:[博士论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2001
- 3 王学军. 空间分析技术与地理信息系统的结合. 地理科学, 1997, 16(3): 70~73
- 4 张 犁. GIS 系统集成的理论与实践. 地理学报, 1996, 51(4): 306~313

- 5 徐冠华, 田国良, 王 超, 等. 遥感信息科学的进展和展望. 地理学报, 1996, 51(5): 385~397
- 6 王 桥, 吴纪桃. GIS 中的应用模型及其管理研究. 测绘学报, 1997, 26(3): 280~283
- 7 李本纲, 陶 澎. 地理信息系统在环境模型研究中的应用. 环境科学, 1998, 19(3): 87~90
- 8 赵会群, 鄢仁祥, 高 远. 基于组件技术的DSS模型设计与实现. 计算机工程, 2000, 26(8): 42~44
- 9 曹中初, 孙苏南. CA 与GIS的集成用于地理信息的动态模拟和建模. 测绘通报, 1999(11): 7~9
- 10 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究. 北京: 科学出版社, 1999
- 11 张显峰, 崔伟宏. 集成GIS与细胞自动机模型进行地理时空过程模拟与预测的新方法. 测绘学报, 2001, 30(2): 148~155

第一作者简介: 杜培军, 博士. 现主要从事遥感信息管理与处理、GIS理论与应用等的研究, 已发表论文40多篇。
E-mail: dupj@pub.xz.jsinfo.net

Application of GIS to Mining Subsidence and Combination of GIS with Professional Model

DU Peijun¹ GUO Dazhi¹ FANG Tao² SHI Pengfei²

(1 Institute of Surveying and Spatial Information Engineering, China University of Mining and Technology, Zhaishan, Quanshan District, Xuzhou, China, 221008)

(2 Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, 1954 Huashan Road, Shanghai, China 200030)

Abstract: Mining subsidence is a kind of important environmental damage. How to monitor, manage and deal with mining subsiding land is one of the key issues of sustainable development of mining areas. GIS is an important tool in this field and will play an important role. GIS can be used from four levels. It can be concluded that GIS can play important roles in mining subsidence, and the combination of GIS with professional model can be used effectively.

Key words: mining subsidence; GIS; professional model; spatial analysis; component

About the first author: DU Peijun, Ph. D. His research interests are RS information management and processing, theories and applications of GIS. He has published almost 40 papers.

E-mail: dupj@pub.xz.jsinfo.net

(责任编辑: 袁丰)