

矿业/矿区发展空间信息技术保障体系研究进展与若干关键技术

杜培军¹, 郑辉², 张海荣¹

1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏徐州 221008

2. 兖州矿业集团地测部, 山东邹城 273500

[摘要] 面向矿业与矿区可持续发展的挑战与空间信息技术应用的优越性, 从区域、行业两个视角探讨了基于空间信息技术的可持续发展保障体系, 重点分析了矿业安全生产与防灾减灾、矿区环境保护与生态整治、矿产资源高效集约利用管理、矿区-矿业城市可持续发展决策支持系统 4 个核心保障层中空间信息技术应用的发展现状与关键技术问题, 提出今后需要重点研究的问题, 包括异构信息复合、空间数据挖掘、灾害与环境过程时空模拟、生态环境参数定量反演、空间决策支持系统构建等。

[关键词] 矿区; 矿业; 可持续发展; 空间信息技术

[中图分类号] TD76

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)09-0052-08

Spatial Information Technology-based Supporting System for the Development of Mining Industry and Mining Areas: Research Progress and Several Key Techniques

DU Peijun¹, ZHENG Hui², ZHANG Hairong¹

1. School of Environmental Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu Province, China

2. Department of Production, Yanzhou Mining Industrial Group, Zoucheng 273500, Shandong Province, China

Abstract: For sustainable development of mining industry and mining areas and using Spatial Information Technologies (SIT), the SIT-based supporting system for sustainable development is discussed from regional and industrial aspects. The applications of SIT to four key fields, including safe production and disaster prevention and mitigation, environmental protection and ecological treatment, optimal and intensive use of mineral resources, and Spatial Decision-making Support System (SDSS) for mining areas and mining industrial cities, are analyzed in detail with respect to their current situation and key techniques. Some key issues that should be researched in a near future are pinpointed, and they are integration of multi-sources and heterogeneous information, spatial data mining, spatio-temporal simulation of disaster and environmental processes, quantitative inversion of ecological and environmental parameters and the establishment of SDSS.

Key Words: mining areas; mining industry; sustainable development; spatial information technology

CLC Number: TD76

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)09-0052-08

0 引言

矿区作为一种以资源开采与利用为原动力发展起来的特殊地理区域, 面临着严峻的资源、环境、灾害挑战, 以及严重的社会经济问题。“四矿”(矿业、矿山、矿

工、矿城)问题已成为实现矿业和资源型区域(城市)可持续发展的重要问题。解决矿区资源、环境、灾害与可持续发展问题必然要求技术创新与产业突破, 特别是需要借鉴、引入和集成不同学科的理论、技术与方法。

收稿日期: 2006-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40401038), 教育部新世纪优秀人才支持计划项目, 江苏省自然科学基金创新人才青年学术带头人项目(BK2006505)

作者简介: 杜培军, 男, 江苏省徐州市中国矿业大学环境与测绘学院, 教授, 主要从事资源环境遥感与信息系统、采矿环境损害综合监测研究; E-mail: dupj@vip.163.com

以遥感、地理信息系统和全球定位系统为基础和核心的空间信息技术,由于其快速发展、广泛应用和明显的技术优势,成为矿业和矿区可持续发展的重要技术支持手段。国内外相关研究表明,矿区/矿业可持续发展面临的资源、环境、灾害问题正是空间信息技术应用的优势方向和主要领域,因此将空间信息技术应用于矿区/矿业可持续发展中,建立基于空间信息技术的保障体系,具有明显的优越性,既有助于促进矿区/矿业可持续发展,又能够推进空间信息技术在矿山的应用,促进矿山信息化进程和数字矿山建设^[1]。

1 矿业/矿区可持续发展的问题与空间信息技术应用的优越性

1.1 矿区/矿业面临的问题与分析

从区域的角度,矿区可持续发展面临的主要问题包括^[2-5]:① 环境污染严重;② 地质灾害、地面塌陷与废弃物堆积压占土地;③ 粗放式土地利用与大量土地资源闲置;④ 多元化的社会结构;⑤ 产业结构不合理,对采矿业依赖性强;⑥ 基础设施落后;⑦ 人口结构与就业压力;⑧ 各种社会矛盾与问题。

从行业的角度,矿业可持续发展面临的主要问题包括^[6]:① 资源赋存条件与开发条件困难;② 管理水平落后,科技水平滞后;③ 资源浪费严重,采出率不高;④ 生产安全隐患多,事故频发,安全问题严重;⑤ 突发性灾害概率大;⑥ 资源深加工不够;⑦ 资源开采利用引发生态环境与社会经济问题。

从本质上来讲,矿区和矿业可持续发展面临的问题是相互关联、相互作用的,是资源、环境、灾害、经济、产业、社会等问题在不同主体、不同尺度、不同视角、不同层次的体现。综合分析矿区可持续发展与矿业可持续发展的问题,可以看出其中一些核心问题,包括:① 缺乏有效、可靠的综合监测与信息获取技术手段,导致对背景、动态、现状和潜力缺乏了解,难以进行全面规划;② 针对特定应用的信息挖掘不够,未能充分发挥信息流在资源环境保护与调控中的核心作用;③ 缺少对专题要素与空间位置一体化分析的系统;④ 缺乏对采矿过程中资源、环境与生产系统动态监测与时空分析的重视^[7]。

为了解决问题,需要在以下思路指导下开展多学科联合攻关,并重点突出以下几个方面:① 定量与定性相结合,突出系统化的综合研究;② 格局、过程、机制与影响相结合,重视时空过程研究;③ 强调位置信息与空间分析处理的重要性;④ 充分认识信息流在调控治理中的重要作用,促进信息化;⑤ 对重要的资源、环境、灾害与安全问题进行多学科研究;⑥ 加强科技攻关,提高管理水平。

无论是从原因剖析还是从解决问题思路探讨的角

度,空间信息技术都有望在矿业和矿区可持续发展中得到广泛应用,成为有力的技术保障和决策工具。

1.2 空间信息技术应用的优越性

以遥感(Remote Sensing, RS)、地理信息系统(Geographical Information System, GIS)、全球定位系统(Global Positioning System, GPS)为基础和核心的空间信息技术(Spatial Information Technologies, SIT)近年来发展迅速,已成为区域和行业可持续发展重要的技术支撑。从矿业/矿区可持续发展面向的问题特点来看,空间信息技术应用的优越性表现在以下方面^[7-9]。

1) 空间信息技术适合于从信息获取、管理、处理、分析、应用、表达的角度系统、综合、全面地研究矿区/矿业可持续发展中的资源、环境与灾害问题。

2) 空间信息技术能够实现将空间位置信息、空间关系模式、动态演变数据与多源属性数据的统一管理与储存分析。

3) 空间信息技术能够从时间维的动态演变和空间维的拓展演化,将机理、过程、模型与趋势进行集成分析。

4) 空间信息技术能够以多样化、可交互、易理解的方式分析结果。

5) 空间信息技术能够实现多主题、多目标研究,特别是能够将相互关联的资源、环境与灾害问题通过信息、模型和系统予以集成。

6) 地理信息系统作为空间信息技术中集成与管理的平台,能够与其他技术方法集成,作为防灾减灾与环境保护集成信息系统的基础。

可以看出,无论是从应用需求、发展现状来看,还是从技术优势和应用潜力分析,空间信息技术都是矿区防灾减灾、环境保护与可持续发展有力的技术保证。

2 矿业/矿区可持续发展的空间信息技术保障体系构建

2.1 矿业/矿区可持续发展空间信息技术保障体系

根据笔者的研究认识,综合国内外学者的研究成果^[7-16],矿业/矿区可持续发展空间信息技术保障体系包括基础层、技术层和应用层,其中最为关键的则是矿业安全生产与防灾减灾、矿区环境保护与生态整治、矿产资源高效集约利用管理、矿区-矿业城市可持续发展决策支持 4 个方面,如图 1 所示。

基础层的主要任务是解释矿区资源、环境与灾害问题的空间信息机理、空间数据组织、空间分析、空间模拟与预测、空间优化与配置、空间调控与决策等方面的理论问题,特别是将矿业、资源、环境、灾害等学科的理论、模型、方法与遥感、地理信息系统等结合,通过学科交叉与方法集成,解决矿业/矿区可持续发展空间信息技术应用中涉及的理论问题。

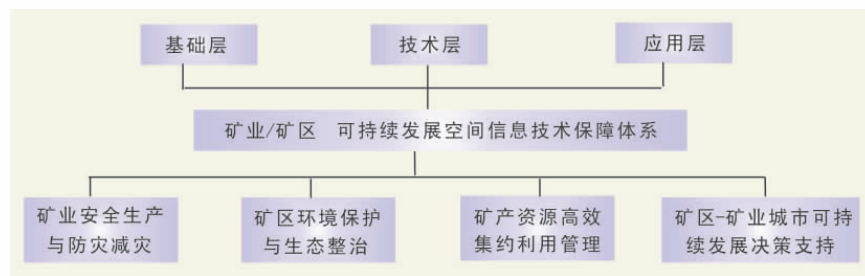


图 1 空间信息技术保障体系的构建

Fig. 1 Structure of the SIT supporting system for mining industry and areas

技术层的主要任务是建立面向矿业/矿区可持续发展空间信息技术保障的应用系统,通过方法实现、系统开发、系统集成等,建设面向矿业/矿区可持续发展的空间信息技术应用子系统、集成系统等,为应用提供支持。

应用层主要是面向不同主题、不同用户的需求,建

立面向目标的、任务驱动的用户响应系统,特别是通过友好的用户界面、方便的操作模式为用户提供有效的支持,以解决具体的应用问题。

图 2 为矿业/矿区可持续发展空间信息技术保障的技术流程。

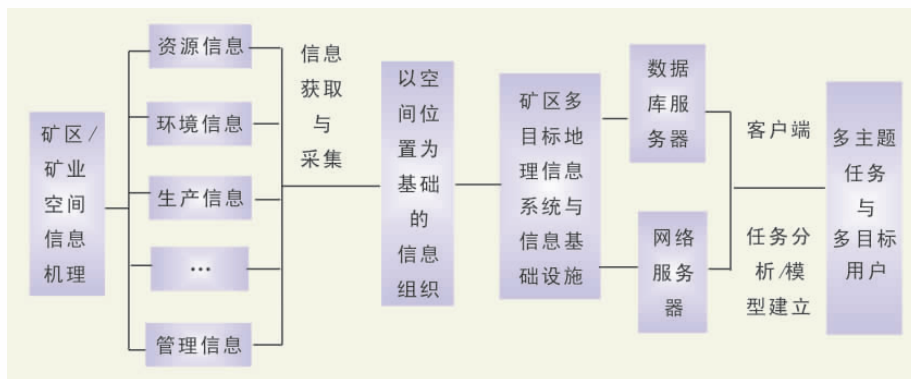


图 2 矿业/矿区可持续发展空间信息技术保障的技术流程

Fig. 2 Technical flowchart of the SIT supporting system for mining industry and areas

2.2 矿业/矿区可持续发展中空间信息技术应用的 3 个层次

应用矿业/矿区可持续发展空间信息技术有 3 个不同的层次:第 1 层次是单独应用其中的某一项技术;第 2 层次是其中的两种技术,或 3 种技术的结合、集成应用,即“3S——RS, GIS, GPS”集成应用;第 3 层次则是基于“3S”技术,建立针对具体目标的专业化空间信息系统和空间决策支持系统。

在第 1 层次的应用中,遥感主要是用于获取空间和属性信息,包括土地覆盖、人居环境、土地利用、资源环境等方面的多时相、多分辨率信息,关键在于遥感信息机理及分析处理模型,特别是应用数字图像处理进行信息提取、参数反演;GPS 用于位置与变形信息获取,实现对空间实体的快速定位;GIS 主要是作为多源空间信息管理与分析的平台,并作为后续集成应用与建立各种专业信息系统的基础。

第 2 层次的应用是从技术集成的角度开展的,包括 RS 与 GPS 集成、RS 与 GIS 集成、GIS 与 GPS 集成、“3S”集成 4 个方面,特别 3S 技术集成是今后研究和应用的主要方面^[8]。在“3S”技术的集成应用中,遥感主要用于提取变化信息,确定变化区域;GPS 主要用于实施野外监测,提供目标三维空间信息;GIS 则用于提供背景数据与辅助信息,管理和分析多源异构数据,并作为信息集成、处理与决策支持的平台与框架^[7-8]。图 3 所示为“3S”集成技术应用的目标与方法。

而以 GIS 为平台,将专业模型、空间分析与决策支持模型进行集成时,则形成了第 3 层次的应用,即基于空间信息技术的领域专题应用系统和空间决策支持系统。

2.3 矿业/矿区可持续发展空间信息技术应用信息流

可以看出,信息流是实现矿业/矿区可持续发展空间信息技术保障的基础,图 4 为矿业/矿区可持续发展空间信息技术应用的信息流程。

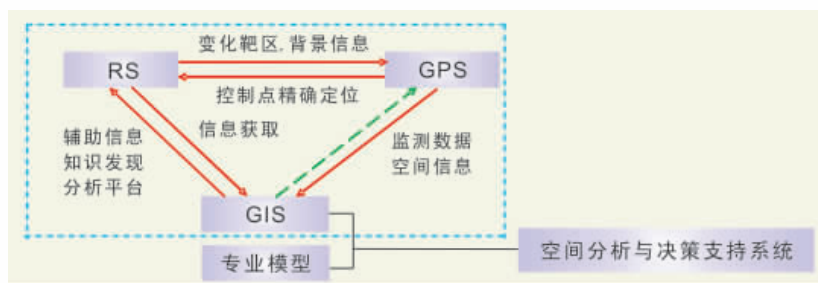


图 3 GPS, RS 与 GIS 集成应用模式

Fig. 3 Integrated application of RS, GIS and GPS

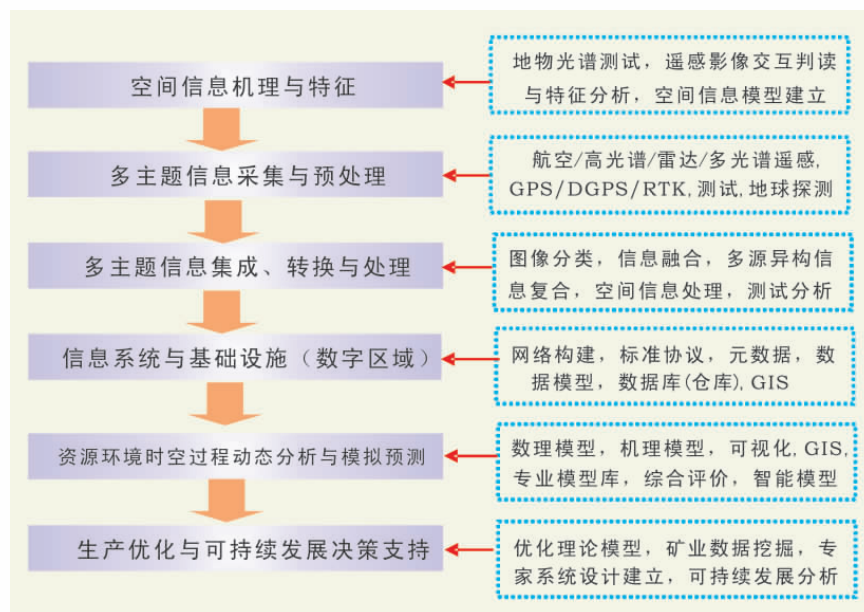


图 4 矿业/矿区可持续发展空间信息技术应用的信息流程

Fig. 4 Information flowchart of SIT used for mining industry and areas

以下从矿山安全生产与灾害防治、矿区环境监测与治理、矿区资源管理与集约利用和矿业/矿区可持续发展 4 个典型方面对空间信息技术保障与应用进行分析。

3 典型领域的空间信息技术应用

3.1 矿业安全生产与防灾减灾领域应用

灾害是矿山生产与矿区发展重要的影响因素。灾害发生是一个时空动态过程，空间信息技术应用于防灾减灾主要包括 3 个阶段：灾害发生前对孕灾因子、背景信息的获取、管理与预处理，并进行灾害预报；灾害发生过程中对灾情的实时动态监测，提供救灾减灾需要的空间和专题信息，并进行信息分析、优化决策等；灾害发生后对灾情进行综合分析和灾害损失评估，为灾后重建提供信息基础和分析工具，更新和完善灾害数据库，挖掘灾害模式。从煤矿灾害的特点及空间信息技术应用的优势来看，空间信息技术可以应用于煤矿井下突水灾害、瓦斯灾害和地面塌陷、滑坡以及煤炭自燃等灾害^[10-12]。

对于发生在矿区地表的灾害，遥感主要用于监测矿区地表动态与演变趋势，以获得孕灾与诱灾因子（成因因子）、表诊因子，及时了解矿区自然地理环境的动态，从而为预测灾害发生、做好防灾准备提供信息支持。地理信息系统则是存储、管理和分析与生产安全和防灾减灾有关的多源、多主题、多时态、多分辨率信息的基础工具，应用 GIS 基本空间分析功能和其他专业模型对灾害发生的趋势因子、格局因子进行评价，实现灾前的多源信息管理分析与灾害预报、灾害过程中的信息综合处理与减灾决策支持、灾害发生后的灾害损失统计和灾后重建决策。

遥感信息是监测煤炭自燃的有效手段。应用热红外遥感影像（如 Landsat TM 第 6 波段影像、ASTER 热红外波段影像等）可以探测和发现地表温度异常区，配合可见光、雷达遥感影像能够实现对煤火的探测及其背景信息的分析。中德合作煤火监测项目已在内蒙古乌达矿区等地取得较好的效果^[12]。

大型边坡工程监测和滑坡灾害防治是露天矿区面

临的重要问题,数字摄影测量、近景摄影测量、GPS 技术等获取大型边坡动态信息方面具有明显的优越。近年来,应用干涉合成孔径雷达(INSAR)技术实现边坡三维建模的技术取得较快发展。通过多期遥感信息构建的边坡数字表面模型,可以及时了解和析边坡空间信息变化,从而为预测滑坡灾害提供支持^[13]。

对于井下灾害,地理信息系统能够作为生产安全与防灾减灾信息管理和分析的工具,如基于地理信息系统建立矿山瓦斯监测信息管理与分析平台,基于位置实现瓦斯监测点的信息管理,基于空间位置和空间关系分析瓦斯指标的时空变化,实现“基于位置的分析”,加强对灾害环境和灾害现象格局、过程和趋势的监测和模拟分析。又如在矿山井下水灾中,GIS 可以在管理各种背景信息的基础上,利用其叠加分析功能,并和突水预测的专业模型结合,实现突水灾害预测与可视化分析^[11]。

因此,随着矿山防灾减灾信息化以及“数字减灾”系统的构建,空间信息技术将是实现矿山灾害监测与灾情信息采集、多源灾害与背景信息管理、灾害现状评价与发展趋势分析、灾害模拟与调控、防灾减灾决策支持等有效的信息技术支持。今后一些需要重点研究的问题包括灾害前兆识别与孕灾信息提取、多源异构灾害信息集成与融合、灾害信息中的隐含模式提取、灾害时空拓展分析与过程预测等。

3.2 矿区环境保护与生态重建领域应用

当前我国工矿区普遍存在严重的生态环境问题,从地下岩层、地下水到地表、土壤、植被到大气,形成了立体式、持久性的环境污染。从国内外研究现状来看,空间信息技术能够在矿区生态环境的动态监测、综合分析与治理决策支持方面,发挥全面深入的应用^[14-17]。

矿区生态环境破坏往往都会体现在地表变形、土壤质量下降、水污染、大气污染、植被减少等,这些现象,要素都可以通过遥感技术来获得相应的信息。遥感技术在工矿区生态环境监测中的应用方法主要包括:①通过遥感图像分类或专题信息提取获得生态环境单要素分布信息或综合属性;②应用遥感影像(特别是通过光谱特征)进行生态环境损坏或污染程度的分级表达;③应用遥感信息反演环境专题要素定量值,实现环境要素的遥感定量反演和遥感模型分析;④通过多时相遥感图像分析与变化检测研究生态环境动态演变规律;⑤将遥感信息、驱动数据与专业模型结合,建立遥感数据驱动的环境模型和面向环境应用的遥感信息模型。地理信息系统则可以作为多源环境信息组织、存储与管理的平台和生态环境基本分析、预测模拟、决策评估等的工具,实现对生态环境单要素分析管理与综合评价。

以煤矿区地面塌陷损害与土壤污染为例,遥感图像能够有效地监测土地利用/覆盖变化、反演和获取土

地质量指标,是监测地面塌陷、分析土壤污染的有效手段^[18-22]。应用遥感图像监测地面塌陷主要可以塌陷地静态特征、动态特征和领域知识 3 方面作为依据。从静态的角度出发,由于受采矿影响发生塌陷,采矿塌陷地的利用形式、覆盖类别发生了明显变化,可反映在光谱特征、纹理特征与空间关系的变化上。从动态的角度出发,由于不同时相采矿塌陷地的形成,导致地表沉陷在几何上表示为同一平面位置高程的变化,而在属性上则表示为土地覆被与利用方式的变化。高程的变化可以通过立体观测来进行监测(如航空摄影测量、地面近景摄影测量、INSAR 技术),属性的变化则可以通过各种遥感信息以及其它空间信息,如不同时相遥感图像,或遥感与地形图的融合分析进行探测。基于以上分析可以构建从遥感图像中提取塌陷地的 4 种方法:①将塌陷地作为一种用地类型,选择一定的特征分量作为采矿塌陷地的特征,对所有象元进行分析,通过遥感图像分类予以识别;②基于塌陷地的光谱和空间知识建立专题信息提取模型;③综合应用光谱特性、地学信息、领域知识,在 GIS 支持下进行提取;④应用多源、多时相遥感图像融合进行提取。

在采矿影响下土壤污染与土地退化遥感定量监测方面,今后应重点应用遥感定量反演土壤参数如土壤湿度、地表温度、土壤有机质含量等方面的模型与方法,定量分析评价矿区土壤污染与土地退化的机制与规律,高光谱遥感技术是实现土壤参数反演最为有效的遥感信息源。我国环境与灾害小卫星发射升空后,将同时为矿区环境保护、灾害监测提供有效的信息源。

3.3 矿产资源高效集约管理与利用方面的应用

矿产资源是矿业发展和矿区建设的基础。长期以来,我国资源开采特别是煤炭资源开采中资源浪费现象非常严重,煤炭资源回采率低,提高资源开采利用率、加强资源管理一直是一个非常重要的问题,可靠的资源信息、有效的分析工具和管理手段是实现这一目标的保证。煤炭资源开采的同时往往影响区域其它同位异类资源,包括水资源、土地资源等,特别是破坏土地资源,甚至引发社会经济问题。同位异类资源综合协调开发利用也成为非常重要的问题。地理信息系统则是煤炭资源优化开发开采和高效集约利用的最有效的信息管理平台和分析决策工具。在解决矿产资源以及其他同位异类资源开发管理方面,地理信息系统既可以作为信息管理、空间分析和模型决策的基础,同时利用其在三维数据管理、分析与可视化表达方面的优越性,可以实现对地表、地下复杂实体、状态和过程的模拟和仿真,从而为分析、预测与管理提供有效的技术手段^[23]。

矿区是一个复杂的地理区域,同位异类资源包括地下的矿产、地下水、地表的土地,它们构成了支撑矿

区发展的物理基础。但以往矿山生产过程中往往只注重对矿产资源的开采,忽略对地表土地资源的保护,也不注重煤中伴生的其他矿产。随着矿区可持续发展的实施,要求实现对同位异类资源的综合开采、保护、利用与管理,基于地理信息系统建立的矿区资源管理信息系统则是实现矿区同位异类资源综合管理有效的技术平台。

基于 GIS 的矿区资源综合管理信息系统以地理空间位置为信息组织的基础,采用平面与立体综合数据管理模式,即根据资源赋存的垂直分布关系在垂直向划分为若干层,分别进行沿层的水平采样(某一高度的水平面),作为该层及其上、下范围内的信息表达,每一水平层的信息按照 GIS 中的信息进行表达,不同水平层之间通过相同的平面坐标实现对应,通过平面与垂直向综合数据管理,实现对矿区地下、地面同位异类资源的综合管理。

应用矿区资源综合保护地理信息系统,可以实现对同位异类资源的综合管理,特别是能够实现对于矿产资源开发对其他资源的影响关系的定量管理,从而提高对其他伴生资源开发与利用的管理水平,减少和抑制矿产资源开发对其他资源的影响。

3.4 矿区/矿业城市可持续发展决策支持系统的应用

可持续发展决策需要可靠的信息、有效的技术、实用的工具和功能强大的平台,空间决策支持系统是实

现可持续发展重要的技术手段,地理信息系统正在成为区域可持续发展决策支持系统开发研制的基础平台,遥感和 GPS 则作为这一空间决策支持系统中的信息采集手段发挥着重要作用。下面以笔者构建的工矿区陆面演变监测与调控决策支持系统(Terrestrial Surface Evolution Monitoring and Regulation Decision Support System, TSEMRDSS)为例,对矿区/矿业城市可持续发展决策支持系统进行探讨。图 5 为基于空间信息技术(Spatial Decision Support System, SDSS)模型。

SDSS 以 GPS 和地面测量技术等获取空间信息,以电子地图、空间数据库为空间信息表达和组织方式,以遥感和统计、调查等方式获取决策所需的多源属性信息,以 GIS 和应用模型为分析与管理平台,可实现对信息的定性、定量与定位分析,提供决策者需要的信息。在 SDSS 的基础上,融入人工智能和专家系统技术,形成了智能空间决策支持系统(ISDSS)。未来的智能空间决策支持系统不仅具有传统的数据管理和模型分析的功能,还应包括人工智能和专家系统的许多方面,如人机接口、自然语言理解、知识学习和积累、知识表达、模型组织等,能够在人机结合的集成环境中解决复杂的地学问题。图 5 所示为基于空间信息技术的 SDSS 通用模型。

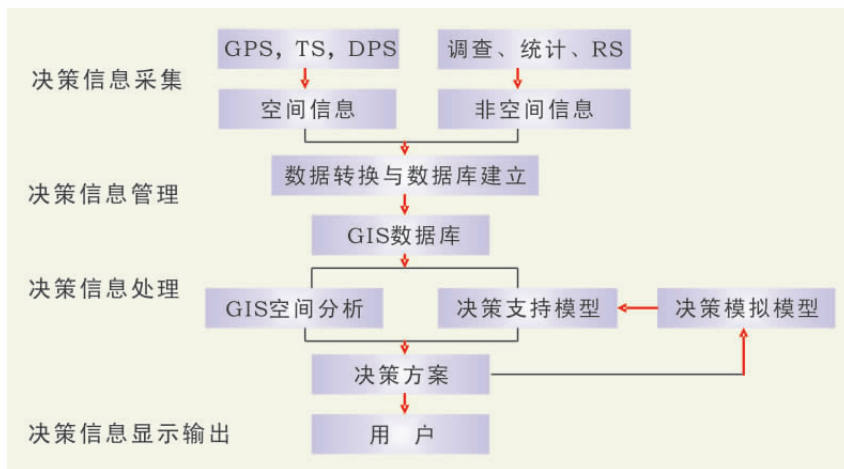


图 5 基于空间信息技术的 SDSS 的模型

Fig. 5 Structure of SDSS based on SIT

图 6 为基于空间信息技术的工矿区陆面演变监测与调控决策支持系统的总体结构与信息流程。工矿区陆面演变监测与调控是一个复杂的人-地相互作用过程,空间信息技术在其中有着广泛的应用。按照 SDSS 的思路,在 GIS 平台的支持下,将有关的分析算法与专业模型进行集成化开发与管理,建立一体化的决策支持系统,将为陆面演变的调控提供有力的技术支持。

工矿区陆面演变监测与调控决策支持系统的目标是面向可持续发展对工矿区陆面演变进行全方位的系统管理,在空间信息技术的支持下,获取并处理关于陆面状态与演变的多源信息,在 GIS 空间分析功能及专业应用模型的支持下,对陆面演变进行动态监测与分析评价,为陆面演变与生态重建提供决策支持。具体地说,其主要功能包括:多源信息的采集、预处理与输入,

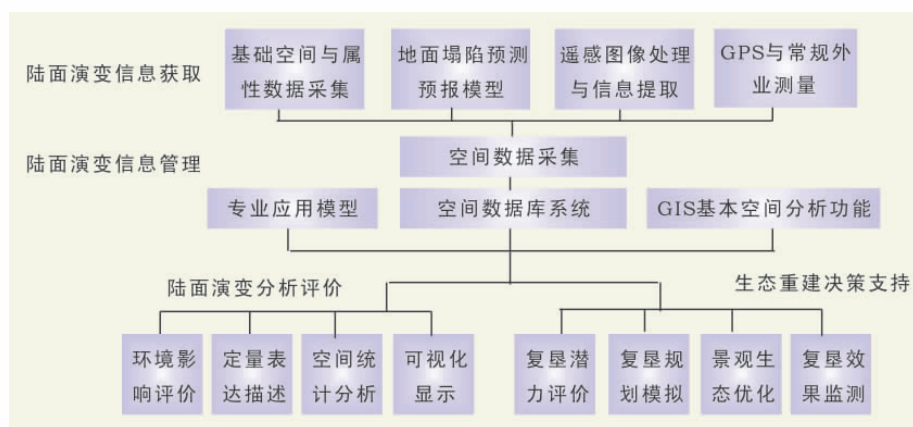


图6 基于空间信息技术的工矿区陆面演变监测与调控决策支持系统

Fig. 6 Structure of terrestrial surface evolution monitoring and regulation decision support system based on spatial information technology

GIS 数据管理与数据库更新维护,遥感图像处理,实时空间信息处理,地面塌陷预测模型,动态监测与定量分析评价,可视化显示,动态模拟,演变趋势预测,人类活动模拟与评价,区域规划,治理决策支持,资源环境承载力计算,可持续发展决策支持,知识处理与专家系统等。显然,该空间决策支持系统的思想也适用于矿业城市 and 矿区可持续发展的其他领域。

4 结论与展望

地球空间信息技术(Geotechnology)作为 21 世纪迅速发展的、极具潜力的新兴交叉学科与技术,已在资源开发、环境保护、城市规划管理、防灾减灾、公共卫生等领域得到了广泛应用,成为行业信息化的重要支持。矿业作为传统产业,面临着信息化的需求和可持续发展的挑战,应用空间信息技术作为矿业可持续发展的技术保障,对于解决矿业可持续发展中面临的问题、促进矿业信息化和数字矿山的构建,都具有现实的意义。作为一个特殊的地理区域,矿区的可持续发展需要从区域的尺度,实现对资源、环境等多源信息的综合管理与分析处理,从而为区域可持续发展提供决策支持。

本文在对国内外空间信息技术应用于矿区和矿业研究进展进行总结分析的基础上,基于笔者的研究工作,构建了包括基础层、技术层、应用层 3 个层次的矿业/矿区可持续发展空间信息技术保障体系,探讨了其中的技术流程、信息流程,从而为系统研究奠定了基础。在此基础上,重点对矿业安全生产与防灾减灾、矿区环境保护与生态整治、矿产资源高效集约利用管理、矿区-矿业城市可持续发展决策支持系统 4 个核心保障层的基本方法进行了分析研究,并重点介绍了笔者所在课题组在基于遥感影像提取采矿塌陷地、基于 GIS 复合分析预测煤矿顶板水害、综合应用多源遥感信息

监测矿区生态环境、基于空间信息技术的空间决策支持系统构建与研发等方面的研究进展和成果,进而提出和探讨了今后需要重点解决的若干关键问题。我国作为一个采矿大国,矿区生态环境保护、矿山安全生产、资源优化开发、区域协调发展等方面的问题仍将长期存在,充分应用现代空间信息技术的优越性,在前期研究成果的基础上,进一步整合集成,攻克关键技术,提高应用水平,将具有重要的现实意义和应用前景。随着矿山信息化的推进,数字矿山与数字矿区的实现,空间信息技术必将发挥重要的支撑作用,为矿区和矿业的可持续发展提供有效的信息基础设施与分析决策工具。

参考文献 (References)

- [1] 吴立新, 朱旺喜, 张瑞新. 数字矿山与我国矿山未来发展[J]. 科技导报, 2004, 22(7): 29-31.
WU Li-xin, ZHU Wan-xi, ZHANG Rui-xin. Digital mine and the future development of mines in China[J]. Science & Technology Review, 2004, 22(7): 29-31.
- [2] 张永波, 买凌云. 采煤诱发的自然灾害及其防治对策[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(4): 133-137.
ZHANG Yongbo, MAI Lingyun. Natural disasters caused by coal mining and its prevention countermeasure [J]. Journal of Natural Disasters, 1999, 8(4): 133-137.
- [3] 虎维岳. 矿山开挖与环境负效应. 煤炭学报 [J], 1998, 23(5): 513-516.
HU Weiyue. Mine exploitation and related negative environmental impacts [J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(5): 513-516.
- [4] 武强, 刘伏昌, 李铎. 矿山环境研究理论与实践 [M]. 北京: 地质出版社, 2004.
WU Qiang, LIU Fuchang, LI Duo. Theories and practices on mine environmental studies [M]. Beijing: Geology Press, 2004.
- [5] 韦朝阳, 张立城, 何书金, 等. 我国煤矿区生态环境现状与综

- 合整治对策[J]. 地理学报, 1997, 52(4): 300-307.
WEI Chaoyang, ZHANG Licheng, HE Shujin, *et al.* The current situation of ecological environment in Chinese mining areas and related integrated treatment measures [J]. Acta Geographica Sinica, 1997, 52(4): 300-307.
- [6] WANG Yuehan, GE Shirong, GUO Guangli. Mining Science and Technology[M]. The Netherlands: A A Balkema Publishers, 2004.
- [7] 杜培军, 胡召玲, 郭达志, 等. 工矿区陆面演变监测分析与调控治理研究[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
DU Peijun, HU Zhaoling, GUO Dazhi, *et al.* Study on the monitoring, analysis, regulation and treatment of terrestrial surface evolution in mining areas [M]. Beijing: Geology Press, 2005.
- [8] 李德仁, 关泽群. 空间信息系统的集成与实现[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2000.
LI Deren, GUAN Zequn. Integration and implementation of spatial information system [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2000.
- [9] 王晓红, 聂洪峰, 杨清华, 等. 高分辨率卫星数据在矿山开发状况及环境监测中的应用效果比较[J]. 国土资源遥感, 2004 (1): 15-18.
WANG Xiaohong, NIE Hongfeng, YANG Qinghua, *et al.* The different monitoring effects of QuickBird and SPOT-5 data in mine exploitation [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2004(1): 15-18.
- [10] 周萍, 李志忠. 空间遥感技术(3S)用于矿山地质环境与生产安全监测[J]. 中国矿业, 2002, 11(5): 1-4.
ZHOU Ping, LI Zhizhong. Spatial remote sensing technology (3S) applied in geological environment and production safety monitoring of mine [J]. China Mining Magazine, 2002, 11(5): 1-4.
- [11] 张海荣, 周荣福, 郭达志, 等. 基于 GIS 复合分析的煤矿顶板水害预测研究[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(1): 112-116.
ZHANG Hairong, ZHOU Rongfu, GUO Dazhi, *et al.* Investigation on predicting roof water gush in coal mines based on multi-factor analysis [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2005, 34(1): 112-116.
- [12] 陈云浩, 李京, 杨波, 等. 基于遥感和 GIS 的煤田火灾监测研究[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34 (2): 226-230.
CHEN Yunhao, LI Jing, YANG Bo, *et al.* Monitoring coal fires based on remote sensing and GIS [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2005, 4(2): 226-230.
- [13] 李发斌, 崔鹏, 周爱霞. RS 和 GIS 在滑坡泥石流防灾减灾中的应用[J]. 灾害学, 2004, 19(4): 18-24.
LI Fabin, CUI Peng, ZHOU Aixia. Application of remote sensing and GIS in the prevention and mitigation of hazard caused by landslide and debris flow [J]. Journal of Catastrophology, 2004, 19(4): 18-24.
- [14] HINTON J C. GIS and remote sensing integration for environmental applications [J]. International Journal of Geographical Information Science, 1996, 10(7): 877-890.
- [15] SCHMIDT H, GLAESSER C. Multitemporal analysis of satellite data and their use in the monitoring of environmental impacts of open cast lignite mining areas in Eastern Germany [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(12): 2245-2260.
- [16] PRAKASH, GUPTA R P. Land use mapping change detection in coal mining area—a case study in the Tharia, Coalfield, India [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(3): 391-410.
- [17] 颜春, 刘素红, 赵祥. 矿山环境遥感综合评价指标的研究[J]. 遥感信息, 2005 (6): 29-31.
YAN Chun, LIU Suhong, ZHAO Xiang. Study on the overall evaluation indices to mine environment by remote sensing[J]. Remote Sensing Information, 2005(6): 29-31.
- [18] 陈华丽, 陈刚, 李敬兰, 等. 湖北大冶矿区生态环境动态遥感监测[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 132-138.
CHEN Huali, CHEN Gang, LI Jinglan *et al.* Remote sensing monitoring to the ecological environment dynamics in Daye mining areas, Hubei Province [J]. Resources Science, 2004, 26(5): 132-138.
- [19] 卞正富, 张燕平. 徐州煤矿区土地利用格局演变分析[J]. 地理学报, 2006, 61(4): 349-358.
BIAN Zhengfu, ZHANG Yanping. Analysis on the land use pattern in Xuzhou coal mining areas [J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(4): 349-358.
- [20] 国巧真, 李富平, 赵红蕊. 采矿塌陷区监测技术研究现状及发展趋势[J]. 有色金属(矿山部分), 2005, 57(1): 25-28.
GUO Qiaozhen, LI Fuping, ZHAO Hongrui. Research progress and trends on monitoring techniques for mining subsidence [J]. Nonferrous Metals (Mine Section), 2005, 57(1): 25-28.
- [21] 胡振琪, 杨玲, 王广军. 草原露天矿区草地沙化的遥感分析——以霍林河矿区为例[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34 (1): 6-10.
HU Zhenqi, YANG Ling, WANG Guangjun. Research on desertification of grassland in prairie coal mine based on remote sensing data——case study of Huolinhe Coal Mine [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2005, 34(1): 6-10.
- [22] 彭苏萍, 王磊, 孟召平, 等. 遥感技术在煤矿区积水塌陷动态监测中的应用——以淮南矿区为例[J]. 煤炭学报, 2002, 27(4): 374-378.
PENG Suping, WANG Lei, MENG Zhaoping *et al.* Monitoring the seepersubside in coal district by the remote sensing——examples from Huainan Coal [J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(4): 374-378.
- [23] 汪云甲. 论矿区资源绿色开发的资源科学基础[J]. 资源科学, 2005, 27(1): 14-19.
WANG Yunjia. The resources science fundamentals of mineral resources green mining [J]. Resources Science, 2005, 27(1): 14-19.

(责任编辑 赵佳)