

煤炭开发的资源环境累积效应

汪云甲^{1,2}, 张大超³, 连达军⁴, 李永峰^{1,2}, 王行风^{1,2}

1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏徐州 221116
2. 江苏省资源环境信息工程重点实验室; 中国矿业大学, 江苏徐州 221116
3. 江西理工大学资源与环境工程学院, 江西赣州 341000
4. 苏州科技学院环境科学与工程学院, 江苏苏州 215011

摘要 为揭示煤炭开发的资源环境累积效应, 选择有代表性矿区, 以煤炭开发过程中各种人类活动及其对矿区资源和生态环境影响分析为主线, 依据系统科学的基本原理, 讨论了煤炭开发的资源环境效应特征、累积影响源、途径及效应类型, 结合多位研究人员在潞安、淮南、平顶山、兖州等矿区的研究实践, 总结了用于煤炭开发资源环境效应定量评价的地理信息系统方法、对地观测和遥感遥测信息采集方法、图表方法、数学模型方法、计算机模拟及实验室试验方法、综合方法, 给出兖州矿区土地塌陷的时空演变、淮南矿区沉降、平顶山矿区时序景观分类、潞安矿区资源-环境-经济系统因果关系部分分析图形, 给出基于场论的矿区生态环境累积影响分析技术路线、思路及部分定量评价成果。理论和实践表明, 煤炭开发活动具有较强的时间持续性、空间扩展性, 开发周期长, 对矿区资源环境系统扰动形式多, 影响来源广, 机制复杂。在可持续发展的要求下, 传统煤炭开发环境影响评价暴露了许多自身的缺陷, 进行累积效应分析研究具有必要性、迫切性及可行性。

关键词 煤炭开发; 资源环境效应; 可持续发展; 评价方法

中图分类号 TD823.83

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)10-0061-07

Cumulative Effects of Coal Mine Development on Resources and Environment

WANG Yunjia^{1,2}, ZHANG Dachao³, LIAN Dajun⁴, LI Yongfeng^{1,2}, WANG Xingfeng^{1,2}

1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu Province, China
2. Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering; China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu Province, China
3. The College of Resource & Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi Province, China
4. Department of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, Jiangsu Province, China

Abstract The cumulative effects of coal exploitation on resources and environment are studied in this paper through an analysis of human activities and environment changes in representative mine areas. Based on studies in Lu'an, Huainan, Pingdingshan, and Yanzhou mining areas, related quantitative assessment methods for coal mine development are reviewed, including Geographic Information System, Earth Observation and Remote Sensing and Telemetry Information Acquisition, together with chart, mathematics models, computer simulation and laboratory testing and the integrated methods. The spatio-temporal evolution of land subsidence in Yanzhou coal mining area, the subsidence interferogram in Huainan mining area, the time series mining landscape classification in Pingdingshan mining area, and some causal relationships between resources, environment and economic system in Lu'an mining area were obtained. Based on the field theory,

收稿日期: 2009-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(50774080); 国家环保公益性项目(200809128); 全国优秀博士论文基金项目(200348)

作者简介: 汪云甲(中国科协所属全国学会个人会员登记号:S300000067M), 教授, 研究方向为地理信息工程与资源环境评价等, 电子信箱: wyj4139@sina.com

the technology route, ideas and some quantitative assessment results are proposed for analyzing the ecology and environment cumulative effects impacts. Theories and practices both demonstrate that the coal exploitation activities have features of time persistency, space scalability, long development cycle, many forms of mining area environment system perturbation, wide impacts source and complex mechanism. For the sustainable development, the traditional environment impact assessment of coal mine development shows many defects, therefore, it is essential, urgent and feasible to carry out analysis of cumulative effects.

Keywords coal mine development; resources and environment cumulative effects; sustainable development; assessment method

煤炭开发活动具有开发周期长、较强的时间持续性、空间扩展性等特性,对矿区环境系统扰动形式多,影响来源广,机制复杂,在可持续发展的要求下,传统环境影响评价(Environment Impact Analysis, EIA)暴露了许多自身的缺陷,如环境影响的时空效应、一个项目与其他项目之间对环境产生的综合影响或累积影响等考虑不够。因此,在煤炭开发的资源环境评价及规划设计中,进行累积效应分析研究已势在必行。

1 煤炭开发的资源环境效应及其概念框架模型

资源环境效应(cumulative effects)^[1-3]源于1973年美国颁布的《实施“国家环境政策法”(NEPA)指南》,目前被普遍接受的是由美国环境质量委员会(USCEQ)于1997年提出的概念,即“累积效应是由已发生的过去的、现在的及可合理预见的将来要发生的一系列行为所导致的作用于环境的持续影响”。资源环境效应具有时间、空间和人类活动的特征,即当作用于资源环境系统的两个扰动之间的时间间隔小于环境系统从每个扰动中恢复过来所需的时间时,就会产生时间上的效应累积或时间拥挤现象;当两个干扰之间的空间间距小于消纳每个干扰所需的距离时,就会产生空间上的累积现象;当各种人类活动之间具有时间重复和空间聚集或扩展的特征时,人类活动的方式、特征会影响累积效应发生的方式和结果。累积效应是人们从另一个全新角度来看待资源环境问题的方式,其中揭示的一个重要现象是:当区域资源环境处于可持续发展的临界水平时,自身资源环境影响较小的开发活动与其他开发活动的资源环境影响累积后,可能带来重大的资源环境后果^[4-5]。

资源环境效应的3个特征在煤炭开发中是显而易见的。如煤炭开发导致的地表沉降变形,输出的废水、固体废物等在时间尺度上具有持续性,且每次扰动的的时间间隔常常小于资源环境系统恢复所能消纳的时间距离,这时就发生时间累积;在矿区内,往往存在着多个生产矿井、洗煤厂、发电厂等生产单位及居住区,这些设施及较高密集度的人类活动共同影响着矿区环境,从而产生空间累积效应。煤炭开发活动的资源环境累积效应可以用图1所示的概念框架模型来描述。

在煤炭开发过程中,生产矿井和其他配套工程、设施的持续建设在空间上表现出强烈的空间扩展性,使煤炭开发活动影响的空间范围不断扩大,从一个生产矿井范围到整个矿区范围或更大的区域范围,如图1所示的A框到B框。同时,

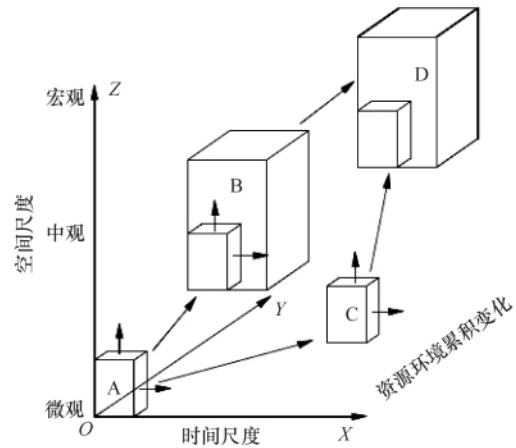


图1 煤炭开发的资源环境累积效应概念模型

Fig. 1 Conceptual model of the resources and environment cumulative effects of coal exploitation

造成资源环境累积变化的行为、途径也具有相同或不同的时间尺度和空间尺度,在具有相同或不同时空尺度的多个行为共同作用下,矿井范围的煤炭开发活动可能只是导致当地小范围的资源环境影响,即在图1中从A框到C框表示。而多个矿井的生产活动造成的资源环境影响可能在更广的时间尺度和空间尺度中累积,如由于多个矿井的生产对矿井水的大量疏排,可能造成很大区域范围的地下水环境发生变化,在图1中以C框到D框表示。另外,随着矿产开发影响的空间范围(图1中B框)的不断扩大,这将会在景观层次上改变区域的生态功能,引起更大范围区域空间的资源环境变化,如由于采矿地表塌陷导致河流改道,造成原来河流下游区域的生态系统发生改变,甚至崩溃,在图1中以B框到D框表示。

2 煤炭开发的资源环境累积影响源、途径及效应类型

2.1 影响源

矿区资源环境效应的影响源是矿区范围内的一切人类活动,包括生产(开采、加工、利用等)和生活活动,可分为单个和多个开发项目(活动)。

2.2 累积途径

矿区资源环境主要有如下几种累积途径:①随着矿井生产活动的不断推进,采空区不断扩大,多个采空塌陷加和形成大面积的土地塌陷区;②多个矿井疏排矿井水,使得更大区域的地下水环境遭到破坏;③生产及生活排出大量污水,

3 煤炭开发的资源环境效应评价

资源环境效应评价的目的是系统分析和评估煤炭开发对生态环境的累积影响,包括累积影响源、累积过程、累积效应的调查、分析、识别、描述与解释,过去、现有和计划的开发活动所导致的资源环境效应及对社会经济发展影响的评估和预测,符合可持续发展要求的开发规模、速度和方式建议等内容。累积效应评价可分为单要素评价及综合评价两类,与已有的环境评价相比,传统的煤矿 EIA 一般是对单个开发工程项目评价,而累积效应评价 (Cumulative Impact Assessment, CIA) 需覆盖广泛的矿区环境问题;EIA 只考虑了单个工程项目的影 响, CIA 不仅需考虑多个项目或行为间的影响,还需考虑每个项目的直接和间接效应;EIA 涵盖的是项目持续的一段时间即短中期的时间段,而 CIA 需考虑过去、现在和将来,需做动态评价;EIA 只考虑了特定工程项目作用的空间,如新建矿井仅考虑矿井范围,而 CIA 则需全面考虑作用空间;EIA 往往仅考虑单一系统,而 CIA 需考虑矿区复合系统 (生态和社会经济系统);EIA 忽略了如协同、加和等作用, CIA 必须重点予以考虑;一般的 EIA 只能对矿区环境影响提出缓解的措施,但 CIA 需通过分析预测未来,对矿区可持续发展起促进作用。

目前,国内外尚缺乏严格意义上的矿区资源环境效应评价研究成果。但在开采引起的矿区沉陷、水、土、气等时空演变规律的不少研究方面已或多或少体现了累积效应理念,特别是开采沉陷变形规律及预测预报方法的成果丰富,部分方

法或模型经改造后可直接或间接用于相应沉陷变形累积效应分析与评价。本研究在潞安、平顶山、兖州等矿区对沉陷变形、水、土等要素的资源环境效应定量评价进行了探索,所用方法简要总结如下。

3.1 地理信息系统

时空数据管理及时空规律分析是资源环境效应评价的特征及基础工作。地理信息系统 (GIS) 一方面可对各种评价数据,如空间定位数据、图形数据、遥感图像数据、属性数据进行管理,一方面又可据该平台进行时空累积规律展示、演算及分析,与其他方法结合,如与地学统计分析、地学信息图谱分析、系统动力学分析、网络分析、生物地理分析、交互矩阵分析、生态模拟模型分析、多指标评价、模糊系统分析等定量分析方法结合,能够较好地确定和分析累积效应的因果关系,区分累积方式。地理信息系统是矿区资源环境效应研究不可或缺的平台,它使矿井、矿区或更大范围内进行该类研究成为可能^[8]。

文献[9]在兖州矿区土地塌陷的时空累积效应分析研究中,首先收集相关图件和资料,利用数字化仪对塌陷专题地图进行数字化,然后应用 ArcInfo 建立矿区土地塌陷地理信息库。在此基础上利用 ArcInfo 的空间分析功能,将 1994、1996 和 2000 年土地塌陷专题图层进行空间叠置、运算,得到了土地塌陷的时空演变图形 (图 3),据此,分析评价了兖州矿区采煤塌陷导致的土地生产力变化累积效应及特征^[9]。

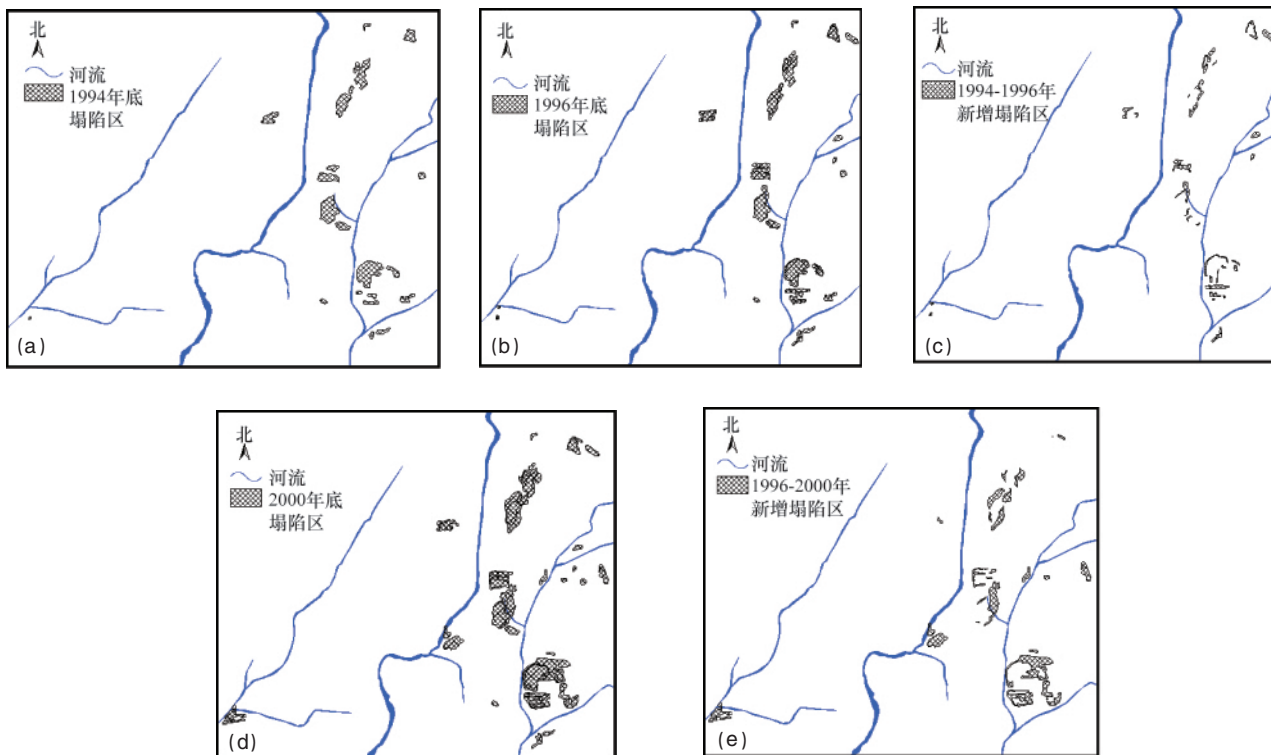


图 3 兖州矿区土地塌陷的时空演变图形

Fig. 3 Spatio-temporal evolution of land subsidence in Yanzhou coal mining area

3.2 对地观测和遥感遥测信息采集方法

应用空间对地观测和遥感遥测技术(如多光谱/高光谱遥感、激光雷达、Insar、GPS、三维激光扫描、红外成像、数字摄影测量、无人机遥感遥测等),可以有效揭示和发现煤炭开发导致的环境损害与时空变化,从背景、状态、格局、过程、异常等不同角度揭示生态环境与地表灾害的形成演化过程,为煤炭开发的资源环境效应研究提供重要信息源^[10]。图4为据合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)得到的淮南矿区沉降干涉图(紫色区),图5为利用1994—2006年遥感图像(MSS、Landsat TM、Landsat ETM、Landsat ETM、SPOT)经处理

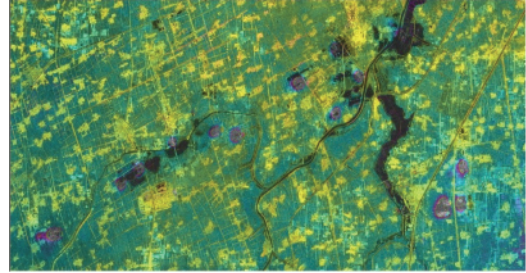


图4 淮南矿区沉降干涉图(紫色区)
Fig. 4 Subsidence interferogram (purple area) in Huainan mining area

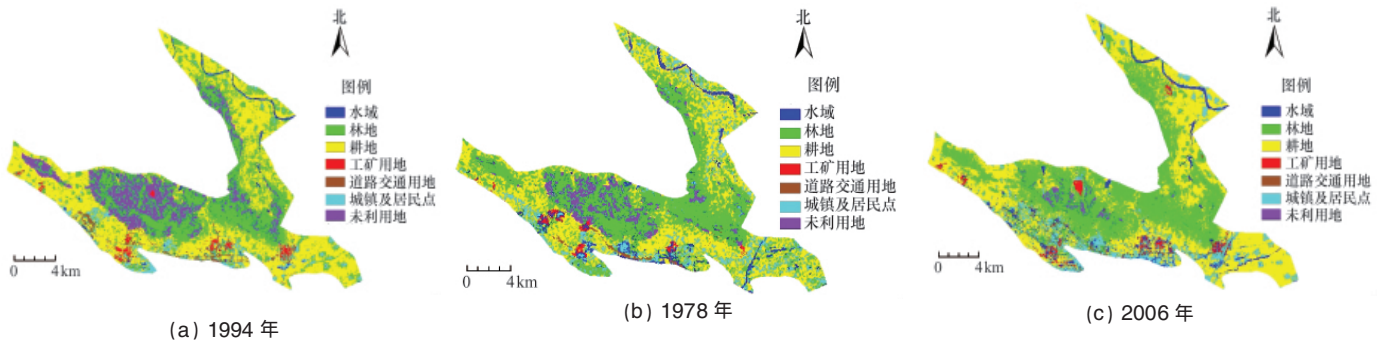


图5 平顶山矿区景观分类结果
Fig. 5 Landscape classification in Pingdingshan mining area

后得到的平顶山矿区景观分类(水域、林地、耕地、工矿用地、道路交通用地等)时间序列结果(部分),据此计算了景观格局指数,结合相应年份地下开采资料,即可建立平顶山矿区煤炭开发对地表景观影响的累积效应模型。

3.3 图表方法

图表方法是一种最简单、最基本的累积效应分析方法。如采用图表表示某一环境要素或综合环境要素取样化验值在时间、空间上的分布,采用树图形式,描述和分析环境要素受开采影响的原因、过程和结果之间的关联。图6为文献[11]中运用系统动力学(System Dynamics, SD)方法分析潞安矿区资源环境和社会经济受煤炭资源开发影响所绘制的矿区资源-环境-经济系统因果关系图,图中+、-号表示系统动力学

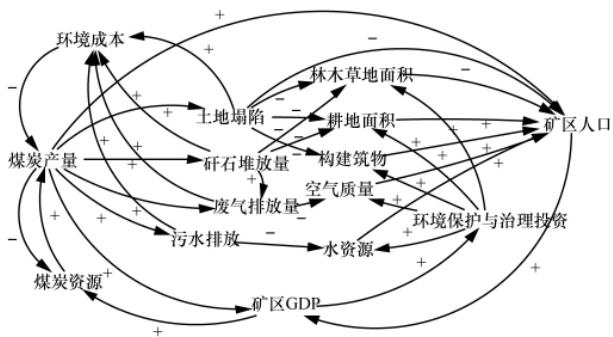


图6 矿区资源-环境-经济系统因果关系图
Fig. 6 Relationship chart of resources, environment and economic systems in mining area

因果关系的增加及减少。该类图反馈回路能反映环境因子间的相互联系与相互作用,在其研制阶段即可通过状态变量选择识别分析其累积特性。

3.4 数学模型方法

对相关特性研究较深入的环境要素,可用数学模型表示其受开采影响的时空变化过程、规律及累计效应。目前已有或研究较多的相关模型包括开采沉陷预测预报模型、水质污染预测模型、大气污染模型、土壤污染与侵蚀模型、水土流失模型、植被覆盖模型等。如在开采沉陷变形的剖面函数法(典型曲线法、负指数函数法)、影响函数法(概率积分法、积分格网法)预测预报模型中,都较细致地考虑了时间延迟、空间展布、重复采动、重叠变形等方面的影响^[12]。由于煤炭开发对地表、水、气、土等环境要素影响复杂,为了取得预期效果,数学构模要涉及多种模型种类,如统计模型、解析模型、模糊数学模型、人工智能模型、非线性数学模型等,需针对具体要求进行合理选择。

3.5 计算机模拟及实验室试验方法

利用计算机模拟及实验室试验方法模拟显示煤炭开发活动对矿区资源环境的影响,分析矿区环境系统的累积影响规律、特征、大小和范围。煤炭开发对环境时空影响的不确定性、动态性、非线性决定了计算机模拟及实验室试验方法的必要性及可行性。文献[11]结合潞安矿区条件,研发了以多维、动态为特征的开采沉陷分析预计与可视化系统,可进行不同开采方法、方案、工作面布置方式与推进速度、沉降措施

等引起的地表沉陷及损害时空动态模拟,以此为平台,即可定量分析采动损害的累计效应;还运用系统动力学方法系统模拟了不同情景下潞安矿区资源环境受煤炭资源开发的影响,揭示了不同开采模式对矿区资源环境和社会经济协调发展的作用。

3.6 综合方法

上述方法在时间及空间累积影响、加和及协同作用、累积过程、累积影响因果关系分析、评价等方面各有优势,同时

又存在某些缺陷,实际分析评价时,需根据研究目标将以上方法有机结合使用。

如在开采沉陷导致的潞安矿区生态环境累积影响研究中,采用了场论^[13-15]、遥感及GIS等方法或平台,其技术路线见图7。

在图7中,根据矿区不同生态元同一时段生态势差的比较,分析采动累积影响效应的空间分异特征;根据同一矿井范围内不同采后年份对应的生态元势能形成的时间序列,确定矿区采动生态环境的时间演变规律。研究中将矿区划分为

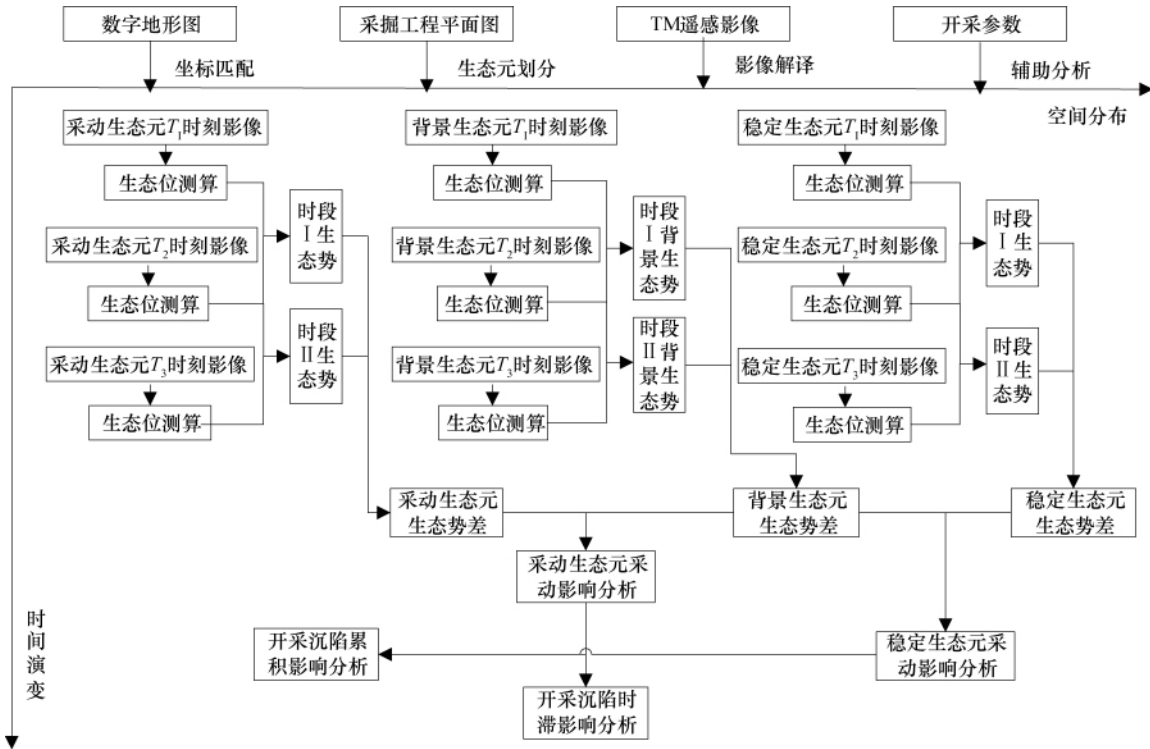


图7 基于场论的矿区生态环境累积影响分析技术路线图

Fig. 7 Technology route of analyzing mining area ecology and environment cumulative effects based on field theory

稳定生态元、采动生态元和背景生态元分别进行矿区生态位测算,然后进行时间段内期初与期末生态位的对照比较以确定相应生态势,根据不同时段生态势所形成的时间序列的变化趋势,揭示矿区生态环境的采动累积效应。图中采动生态元指地表移动变形还没有停止的生态元,稳定生态元指地表移动变形已经稳定的生态元,而背景生态元则是为了剔除非采动因素的影响而选取的与研究区域生态经济、生产生活方式都比较接近的非开采区域。剔除非采动因素(如经济发展、生活方式改变、自然灾害等因素)影响后,若稳定生态元的生态环境指标值仍有相异于采动生态元的变化,则可反映开采沉陷对地表生态环境的滞后影响效应。文献[16],[17]中以研究区潞安五阳矿井为例,分析得到了其土地覆被、植被覆盖、土壤侵蚀等指标的空间分异特征、演变趋势,以及采动累积影响规律,发现土地覆被的采动延迟约为13a,土壤侵蚀的采动延迟为采后的17a。

4 结论

煤炭开发活动具有较强的时间持续性、空间扩展性、模式多样性,开发周期长,对矿区环境系统扰动形式多,影响来源广,矿区资源环境效应非线性特征显著、机制复杂,在可持续发展的要求下,传统煤炭开发环境影响评价暴露了许多自身的缺陷,进行累积效应分析研究具有必要性、迫切性及可行性。

矿区资源环境效应评价研究需将现行的矿区环境影响评价与环境损害累积效应评价结合起来进行讨论,需在对现有的矿区规划和建设项目环境影响评价案例、内容要求、指标体系及方法进行深入分析的基础上,融入资源环境效应理念,进行改进完善,重点解决在矿区环境影响评价每一步骤中,如确定评价时间空间范围、分析评价区域的环境特征、环境影响分析、建议环境影响减缓措施、评价剩余影响的重大程度、环境影响后续监控等,如何考虑环境损害累积效应影

响等问题,从而提出煤炭开发的资源环境效应评价原则、分析框架及评价方法,构建环境影响后评价指标体系及方法体系。而掌握了煤炭开发的资源环境效应,理论上就可以在充分考虑生态环境容量的前提下,合理确定开发规模、开采区域等,从时空、布局、规模等方面控制或优化采矿及相关活动,减少累积效应发生,进而有效降低煤炭开发对矿区环境系统的损害。

参考文献 (References)

- [1] Spaling H. Cumulative effects assessment: Concepts and principles[J]. *Impact Assessment*, 1994(3): 231-252.
- [2] Burris R K, Canter L W. Cumulative impacts are not properly addressed in environmental assessments [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 1997(1): 5-18.
- [3] Cooper T A, Canter L W. Substantive issues in cumulative impact assessment: A state-of-practice survey [J]. *Impact Assessment*, 1997, 15 (1): 15-32.
- [4] 毛文锋, 吴仁海. 可持续发展与累积影响评价 [J]. 环境导报, 1997(5): 1-3.
Mao Wenfeng, Wu Renhai. *Environment Herald*, 1997(5): 1-3.
- [5] 吴静. 累积影响评价在战略环评实践中的应用[J]. 城市环境与城市生态, 2007, 20(4): 44-46.
Wu Jing. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2007, 20(4): 44-46.
- [6] Peterson E B, Chan Y H, Peterson N M. Cumulative effects assessment in Canada: An agenda for action and research [EB/OL]. http://collection.nlc-bnc.ca/100/200/301/ceaa-acee/cumulative_effects-e/bp2_87e.pdf.
- [7] Cooper L M. Draft guidance on cumulative effects assessment of plans, EPMG occasional paper 03/LMC/CEA [EB/OL]. <http://www.gesource.ac.uk/roads/cgi-bin/fullrecordsql.pl?handle=20031223-14736>. Imperial College London, 2003.
- [8] 王行风, 汪云甲, 李永峰. 基于生命周期理论的煤矿区土地利用演化模拟[J]. 地理研究, 2009, 28(2): 379-389.
Wang Xingfeng, Wang Yunjia, Li Yongfeng. *Geographical Research*, 2009, 28(2): 379-389.
- [9] 张大超. 矿区资源环境效应与资源环境安全问题研究 [D]. 徐州: 中国

矿业大学环境与测绘学院, 2005.

- Zhang Dachao. Study on cumulative effects and safety problems of natural resources and environment in mining area [D]. Xuzhou: School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, 2005.
- [10] Wang Xingfeng, Wang Yunjia. Research on extracting mining subsidence land information from remote sensing images based on field knowledge [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2008, 18(2): 168-172.
- [11] 李永峰. 煤炭资源开发对矿区资源环境影响的测度研究[D]. 徐州: 中国矿业大学环境与测绘学院, 2007.
Li Yongfeng. Study on the measurement of the effect of coal resource development on resource environment in mining area [D]. Xuzhou: School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, 2007.
- [12] 何国清, 杨伦. 矿山开采沉陷学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
He Guoqing, Yang Lun. Coal mining subsidence [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1991: 21-23.
- [13] 邹锐. 生态场理论及生态场特性[J]. 生态学杂志, 1995, 14(1): 49-53.
Zou Rui. *Chinese Journal of Ecology*, 1995, 14(1): 49-53.
- [14] 朱春全. 生态位态势理论与扩充假说[J]. 生态学报, 1997, 17(3): 324-332.
Zhu Chunquan. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(3): 324-332.
- [15] 于法稳. 生态位理论及其在生态经济规划中的应用 [J]. 生态经济, 1997(4): 52-54.
Yu Fawen. *Ecological Economy*, 1997(4): 52-54.
- [16] 连达军. 矿区生态环境的采动累积效应研究[D]. 徐州: 中国矿业大学环境与测绘学院, 2008.
Lian Dajun. Study on the cumulative effective of mining-induced eco-environment [D]. Xuzhou: School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, 2008.
- [17] 连达军, 汪云甲, 张华. 矿区生态环境要素的采动损害定量评价方法研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2009, 61(5): 10-14, 36.
Lian Dajun, Wang Yunjia, Zhang Hua. *Nonferrous Metals (Mine Section)*, 2009, 61(5): 10-14, 36.

(责任编辑 岳臣)

· 学术动态 ·



“2010中国宇航学会学术年会”征文

由中国宇航学会主办的“2010中国宇航学会学术年会”将于2010年10月召开。年会将围绕“扩大航天技术的应用”的主题,以主题发言、圆桌会议和专题研讨相结合的形式举行,内容涵盖空间技术、空间科学和空间应用及相关领域。

征文范围:空间技术、空间应用、空间科学、空间政策、工程教育、国际合作等。全文截稿日期为2010年8月16日。

联系方式:北京838信箱,中国宇航学会(100830);电话:010-68768623;传真:010-68768624;电子信箱:nianhui_csa@yahoo.com.cn。

网址:<http://www.csaspace.org.cn/CMS/UploadFiles/Academic/2010-5/2010051116065784964.pdf>。