



测绘地理信息科技出版资金资助
CHARTING DILI XINXI KEJI CHUBAN ZIJIN ZIZHU

基于空间信息技术的 煤矿区生态环境 累积效应研究

Research on Eco-environmental
Cumulative Effects in
Coal Mining Area Based on GIS

王行风 著



测绘出版社

江苏高校优势学科建设工程
测绘地理信息科技出版资金资助

基于空间信息技术的煤矿区 生态环境累积效应研究

Research on Eco-environmental Cumulative Effects in
Coal Mining Area Based on GIS

王行风 著

测绘出版社

· 北京 ·

© 中国矿业大学环境与测绘学院 2014

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

本书从煤炭资源开发引起的生态环境累积效应出发,以煤矿区生态环境累积效应的分析与评价为着眼点,以遥感、GIS 和分析评价模型相结合的技术方法为手段,选择山西潞安矿区作为典型研究区,在剖析煤矿区生态环境要素累积机理的基础上,构建累积效应分析和评价模型,对区域尺度(中尺度)的生态环境累积效应进行分析、评价和总结。在上述研究的基础上,提出合理开发煤炭资源,保护生态环境,促进煤炭资源开发与矿区经济、社会和环境协调发展的相关建议。

本书主要读者对象为环境和地学领域的研究人员、相关领域的研究生和各级环境管理人员,也可供从事遥感、地理信息系统的应用研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于空间信息技术的煤矿区生态环境累积效应
研究/王行风著. —北京:测绘出版社, 2014.2

ISBN 978-7-5030-3357-5

I. ①基… II. ①王… III. ①空间信息技术—应用—
煤矿—矿区环境保护—累积效应—研究 IV. ①X322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 317614 号

责任编辑	贾晓林	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍	责任印制	喻 迅
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83543956(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号				010—68531609(门市部)		
邮政编码	100045				010—68531363(编辑部)		
电子信箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	三河市世纪兴源印刷有限公司			经 销	新华书店		
成品规格	169mm×239mm						
印 张	15			字 数	290 千字		
版 次	2014 年 2 月第 1 版			印 次	2014 年 2 月第 1 次印刷		
印 数	0001—1200			定 价	48.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-3357-5/P·705

审 图 号 GS(2014)61 号

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

前 言

长期以来,煤炭资源开发与生态环境保护之间一直处于对立和矛盾的局面。如何协调煤炭资源开发与生态环境保护的关系,合理开发煤炭资源,尽可能地减少对生态环境的损坏,实现矿区可持续发展成为学术界和政府决策部门关注的热点问题。为了使煤炭资源开发和生态环境保护之间所形成的对立、矛盾的格局向协调发展、良性循环的格局转变,亟须采用可持续发展理论及研究方法,深入分析煤炭资源开发对生态环境的影响机理,总结煤炭资源开发强干扰下的生态环境响应规律,模拟和预测矿区生态环境演变过程,探讨煤炭资源开发与生态环境保护之间协调发展的模式。

煤炭资源开发活动所固有的强干扰性、时间持续性和空间扩展性等特点使其对生态环境的影响具有较明显的累积效应特征。长期以来,学术界侧重于煤炭资源开采对生态环境影响的系统分析和生态环境保护、治理及管理等方面的研究,在生态环境累积效应方面的研究相对滞后,成果不多,远未形成符合我国国情的生态环境累积效应分析评价方法体系,这方面的研究尚属起步阶段,亟待进一步加强。

本书以煤矿区生态环境累积效应分析和评价为研究对象,在国家自然科学基金项目“煤炭开发的资源环境累积效应及评价研究”(50774080)和国家环保部公益性行业专项“煤炭井工开采的地表沉陷监测预报及生态环境损害累积效应研究”(200809128)和“江苏高校优势学科建设工程(测绘科学与技术)”等项目的资助下,以空间信息技术为数据采集、处理、分析和模拟的主要手段,依据系统科学基本原理,选择潞安矿区作为剖析对象,充分考虑煤炭资源开发的特点,通过多学科协同与交叉,针对煤矿区生态环境累积效应的相关问题展开了研究。在总结煤矿区、生态环境和生态环境累积效应等概念的基础上,解析了矿区煤炭资源开发与生态环境系统之间的交互作用,剖析了煤矿区生态环境要素累积响应机理,构建了主要生态环境因子的累积效应表征模型。考虑到区域生态环境管理的需要,基于景观尺度总结了煤矿区景观演变的累积效应时空特征,建立了由景观类型结构偏离累积度、景观格局干扰累积度和生态敏感性退化累积度三个指数组成的矿区景观空间累积负荷模型。针对传统元胞自动机(cellular automata, CA)模型忽略矿区地下开采影响及转换规则静态性的缺点,基于矿区生命周期和煤矿资源开采理论,引入地下影响要素层和周期控制变量,对传统 CA 模型进行了扩展,建立了基于时间变量的神经网络元胞自动机(T-ANN-CA)模型,该模型能有效顾及煤炭资源开发活动和矿区生命周期的影响,可以实现元胞转换规则的动态获取和应用。在归纳、分

析和总结传统环境分析方法特点的基础上,针对传统方法难以兼顾时间和空间累积效应分析的缺点,以地理信息系统(GIS)为基础平台,集成系统动力学(system dynamics,SD)和T-ANN-CA模型,建立了系统动力学—元胞自动机—地理信息系统(SD-CA-GIS)模型。它能有效处理时间和空间累积效应问题,适合对矿区生态环境累积效应进行分析。从矿区生态环境适应性管理的角度,剖析了矿区生态环境承载力和累积效应的关系,提出利用生态承载、冲击扰动和反馈响应变量表征矿区复合生态系统的状态演化及发展趋势,并基于累积效应理论构建了矿区生态承载力演化测算模型。建立了矿区生态环境累积效应分析和评价概念框架,基于生态环境因子对资源开发的响应特性,从累积变权的角度提出了基于累积信息的指标动态变权量化方法,建立了遗传投影寻踪—累积效应变权—综合评价的累积效应分析与评价模型。通过以上研究,明晰了煤炭资源开发和生态环境的交互作用关系,总结了煤矿区生态环境累积效应形式、途径和特点,剖析了矿区生态环境累积效应机理,构建了主要生态因子的累积效应表征模型,初步建立了煤矿区生态环境累积效应分析和评价体系。

不过,由于煤炭资源开发与生态环境系统之间的复杂关系,导致煤矿区生态环境累积效应的机理分析非常困难。即使在书稿即将出版之际,也有未尽如人意之感,依然存在许多需要进一步深入研究的问题。主要是生态因子的累积效应表征模型的适用性、作用机理以及结果验证有待进一步总结和深入研究;不同尺度之间的生态环境累积效应相互作用机理阐释不够,导致生态累积效应在不同尺度之间缺乏相互转换的桥梁;研究所涉及的典型材料只是全国煤矿区很少的部分,还有大量来自于实践的生动、鲜活的典型实例未来得及筛选和引用,特别是针对目前大规模开发的我国西部生态脆弱矿区的研究不足;观点和文字方面也难免有不妥之处。对此,尚请读者们多提宝贵意见。

最后,谨向关心、支持本书课题研究的国家环境保护部、中国矿业大学、江苏省资源环境信息工程重点实验室、中国煤炭科工集团北京华宇工程有限公司等单位,向参加相关研究的课题组成员,向参与书稿审核工作的专家、学者,以及为本书出版做出贡献的所有同志,表示诚挚的谢意!

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 研究的意义	1
1.2 国内外研究进展	3
1.3 研究目标与主要研究内容	8
1.4 研究方法	10
第 2 章 煤炭资源开发与生态环境累积效应	12
2.1 基本概念	12
2.2 矿区发展过程与生态环境系统	15
2.3 煤炭资源开发的生态环境累积效应	27
2.4 本章小结	35
第 3 章 矿区生态环境累积效应机理研究	36
3.1 矿区生态环境累积效应特点和主要内容	36
3.2 矿区生态环境累积效应机理分析	38
3.3 矿区水环境累积效应机理分析	47
3.4 矿区土地环境累积效应机理分析	63
3.5 本章小结	77
第 4 章 景观尺度的矿区生态环境累积效应分析	78
4.1 矿区景观演变的累积效应分析	78
4.2 矿区景观演变影响源分析	82
4.3 矿区景观演变的生态环境累积效应表征模型	85
4.4 实例分析	97
4.5 本章小结	114
第 5 章 基于 GIS 的累积效应分析方法研究	116
5.1 GIS 与累积效应分析	116
5.2 基于 SD-CA-GIS 的时空累积效应分析建模	118
5.3 基于 CA 的矿区土地利用演化模拟和预测	127

5.4	SD-CA-GIS 模型验证	140
5.5	本章小结	148
第 6 章	矿区生态环境承载力分析	149
6.1	区域发展的生态环境约束分析	149
6.2	矿区生态环境承载力和累积效应	155
6.3	基于 CEA 的矿区生态承载力演化测算模型	161
6.4	实例分析	168
6.5	本章小结	179
第 7 章	矿区生态环境累积效应评价方法与模型	180
7.1	矿区生态环境累积效应评价概念框架	180
7.2	矿区生态环境累积效应评价指标体系	185
7.3	矿区生态环境累积效应评价模型	188
7.4	实例分析	196
7.5	本章小结	207
第 8 章	结 论	209
8.1	主要成果与结论	209
8.2	展望与设想	211
参考文献		212

Contents

Chapter 1	Introduction	1
1.1	Scientific significance of the research	1
1.2	Study development	3
1.3	Main contents and objectives of the research	8
1.4	Methodology and technical route of the research	10
Chapter 2	Coal resource exploitation and eco-environmental cumulative effects	12
2.1	Basic concepts	12
2.2	Development process of coal mining area and eco-environmental system	15
2.3	Ecological cumulative effects of coal exploitation	27
2.4	Summary	35
Chapter 3	Mechanism analysis of ecological cumulative effects in mining area	36
3.1	Characteristics and contents of ecological cumulative effects in mining area	36
3.2	Mechanism analysis of ecological cumulative effects in mining area	38
3.3	Cumulative effects of water environment in mining area	47
3.4	Cumulative effects of soil resource and environment in mining area	63
3.5	Summary	77
Chapter 4	Analysis of ecological cumulative effects in mining area based on landscape scale	78
4.1	Analysis on cumulative effects of landscape changes in coal area	78
4.2	The influence of various factors on landscape evolution in mining area	82
4.3	Representation model of landscape evolution based on cumulative effect theories	85
4.4	Case study	97

4.5	Summary	114
Chapter 5	Study on cumulative effects assessment method based on GIS	116
5.1	GIS and cumulative effects analysis	116
5.2	Modeling on CEA analysis based on SD-CA-GIS method	118
5.3	Simulation and prediction for land use evolution in mining area	127
5.4	Case study	140
5.5	Summary	148
Chapter 6	Analysis on ecology carrying capacity in mining area	149
6.1	Analysis on regional development under the restriction of the ecological environment	149
6.2	Ecological environment carrying capacity and cumulative effects in mining area	155
6.3	Prediction model of ecological carrying capacity based on CEA theories	161
6.4	Case study	168
6.5	Summary	179
Chapter 7	Method and model of ecological cumulative effects assessment in mining area	180
7.1	Conceptual framework for ecological cumulative effects assessment in mining area	180
7.2	Comprehensive indicator system for eco-environmental cumulative effects assessment	185
7.3	Models of ecological cumulative effects assessment in mining area	188
7.4	Case study	196
7.5	Summary	207
Chapter 8	Conclusions	209
8.1	Main conclusions	209
8.2	Prospects	211
References		212

第1章 绪论

长期以来,煤炭资源作为我国经济发展的重要物质基础,在为经济发展和社会进步做出巨大贡献的同时,也对煤矿区(简称矿区)的生态环境造成了严重的影响,带来了诸多难以回避的问题,如地表沉陷、植被退化、矸石堆积、河川径流量减少、地下水水源干枯和耕地生产力下降等(黄盛初等,2003;杨社锋等,2004)。鉴于我国能源消费主要依赖煤炭资源的现状和煤炭资源开发逐渐向生态环境脆弱的西部地区转移的趋势,本书将从矿区可持续发展的角度,秉承“绿色开发”理念,根据煤矿区生态环境累积效应机理,分析和探讨矿区生态环境累积效应适应性管理的措施和方法,寻求适合我国国情的煤炭资源开发与生态环境相协调的矿区发展模式。

1.1 研究的意义

1.1.1 矿区可持续发展是国家发展规划的重要课题

21世纪是知识经济和全球经济一体化的时代,经济活动和生态环境的相互影响日益加深,全球人口增长、资源短缺、环境污染和生态恶化已成为人类面临的共同难题。越来越多的国家和地区把生态安全作为国家安全的基本战略,谋求经济与人口、资源、环境的协调发展已经成为世界各国经济发展的共同目标(Ness, 2000;Prinz,2001)。

党中央、国务院一直高度重视我国煤炭资源开发所导致的生态环境问题。国务院《关于促进煤炭工业健康发展的若干意见》明确提出,煤炭工业要走资源利用率高、安全有保障、经济效益好、环境污染少和可持续的煤炭工业发展道路,同时要统筹煤炭工业与相关产业协调发展,统筹煤炭开发与生态环境协调发展,统筹矿山经济与区域经济协调发展的要求;用3~5年时间,使矿区生态环境恶化的趋势初步得到控制;再用5年左右时间,形成以煤炭加工转化、资源综合利用和矿山环境治理为核心的循环经济体系。《国家中长期科学和技术发展纲要(2006~2020年)》也强调要重点研究和开发矿产开采区等典型生态脆弱区生态系统的动态监测技术。2005年国家环境保护总局(现国家环境保护部)发布了109号文件《矿山生态环境保护与污染防治技术政策》,要求发展绿色开采技术,实现矿区生态环境无损或受损最小。国家发改委发布的《煤炭工业发展“十一五”规划》也明确指出,“十一五”

期间,我国煤炭开发将新增煤炭资源开采总量约4亿吨,其中77.9%集中在生态环境脆弱的晋、陕、蒙、宁地区,这将使这一地区生态问题变得日益突出。

因此,如何合理开发煤炭资源,尽可能地减少对生态环境的损坏,实现矿区可持续发展已成为人们关注的热点,也是国民经济和社会发展规划研究的重要课题之一。

1.1.2 煤炭资源开发与生态环境关系的协调是矿区可持续发展的必由之路

可持续发展理论与方法研究一直得到国内外众多专家的关注,矿区更是可持续发展研究的热点领域。目前,矿区可持续发展的内涵已经形成了比较统一的观点:矿区可持续发展应该是一种以人为本、生态环境友好、资源开发适中适速、与生态环境承载能力相适应的发展模式(朱松丽等,2007;刘顺国等,2007),其关键就是要达到煤炭资源开发与生态环境关系的协调。

国内外学者围绕矿区可持续发展开展了大量相关研究。西方发达国家很早就强调矿业开发应注意使社会净现值达到最大化,应该使矿产开发过程中及开发后的生态环境能保持较高的水平(朱幸福等,2008)。我国关于矿区生态环境的研究成果也很丰富,为促进我国矿区资源、社会、经济和环境的协调发展提供了科学依据。这些研究都特别强调矿区可持续发展必须重视煤炭资源与生态环境的协调发展(常耀鸿,2007;顾广明,2007a;向来生等,2007;严民杰,2007)。但直到现在,不少矿区依然是“黑烟缭绕的天空,污水纵横的大地”,生态环境依然是“越采越恶”,煤炭资源开发和生态环境对立的关系并没有得到根本的改变。

为了使煤炭资源开发和生态环境之间所形成的对立、矛盾的格局向协调发展、良性循环的格局转变,亟须采用可持续发展理论及研究方法,深入分析煤炭资源开发对生态环境的影响机理,总结煤炭资源开发强干扰下的生态响应普遍性规律,模拟和预测矿区生态环境演变过程,探讨煤炭资源开发与生态环境之间协调发展的模式。

1.1.3 矿区生态环境累积效应是目前研究的薄弱环节

煤炭资源开发对矿区生态环境存在胁迫作用,生态环境反过来对矿区经济社会的发展也存在约束机制。开展煤炭资源开发和生态环境之间相互关系的研究,是协调煤炭资源开发和生态环境关系的前提(张金锁等,2007;邵艳等,2008;朱松丽,2007;马延吉,2008),对实现矿区经济、社会和生态环境协调发展的目标具有重要的指导意义(张大超,2005;陈振斌等,2007;刘刚,2008)。

煤炭资源开发活动具有较强的时间持续性、空间扩展性、开发周期长等特点,具有较明显的累积效应特征。若想实现煤炭资源开发与生态环境的协调发展,就

必须考虑矿区各种干扰行为在时间和空间尺度上的累积效应和系统影响,因此开展煤炭资源开发的生态环境累积效应机理分析及研究也就迫在眉睫。掌握了煤炭资源开发的生态环境累积效应,就可以从时空、布局、规模等方面控制或优化采矿及相关活动,减少累积效应的发生,进而有效减少煤炭开发对矿区生态环境系统的损害。

受经济发展对能源强劲需求的影响,我国西部地区煤炭资源的大规模开采已成定局。大规模煤炭资源开发对山西省生态环境造成的影响已经是有目共睹,这迫使我们思考:内蒙古、陕西和宁夏等西部各省能否走出一条与山西不同的煤炭工业发展道路?应该如何保证西部各省区煤炭工业经济发展与生态环境的协调发展?

为了保障煤炭开发区的生态环境安全,降低煤炭资源开发所带来的生态风险,自然应在充分考虑矿区生态承载力的前提下,解决煤炭资源开发规模、结构和布局,统筹考虑煤、水、土地等环境资源的空间配置关系,协调煤炭资源开发和生态环境之间的对立和矛盾,考虑不同项目、产业之间的生态效应叠加、累积作用。而要做到这一点,必须从源头做起,分析煤炭资源开发所导致的生态效应累积规律,评价、预测不同开发方案所导致的生态累积效应,探讨减缓生态累积效应的措施方法以及管理手段。但目前针对煤炭资源开发的生态累积效应研究尚属薄弱环节,理论准备明显不足,从而影响了上述工作的开展及实际效果。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 煤炭资源开发的生态环境效应研究

针对煤炭资源开发所引起的生态环境问题,国内外专家学者从多方面分析了煤炭资源开发对生态环境各要素的影响机理,探讨了矿区生态环境对煤炭资源开发的响应机制,并尝试对煤炭资源开发所引起的生态环境效应进行定量评价,有针对性地提出矿区生态环境保护措施、治理技术与管理对策等。

水土环境是矿区生态环境的重要要素,也是煤炭资源开发中破坏最直接最严重的对象之一,故引起较多学者的关注。胡振琪等(1996)结合华东平原高潜水位地区开采沉陷特征对耕地土壤物理、化学和生物特性的影响进行了分析;顾和和等(1998)定量评价了开采沉陷对耕地生产力的影响;李永树等(1998,2000)详细分析了铁路路基沉陷特征,提出了铁路安全预报公式及其防灾减灾措施,对铁路临界变形值的界定方法进行了深入研究;卞正富等(1999)系统研究了开采沉陷对潜水位埋深的影响规律;陈龙乾等(1999)通过对沉陷影响区和未开采区观测数据的比较分析,得出了开采沉陷对土壤水分、容重、孔隙度、机械组成等物理特性和有机质、盐分、养分、酸碱性等化学特性的影响规律及其空间变异特征;余学义(2001)预计分析了采动区地表剩余变形对高等级公路的影响并划定了移动变形危险区;李逢

春(2003)分析、评价了开采沉陷对架空输电线路的影响;夏军武等(2005)就开采沉陷对桥体的影响及抗变形技术进行了研究;杨策等(2006)以平顶山石龙区为例,从地下水资源量和水质两个方面探讨煤矿开采对水环境的破坏机理,分析了该区 40 余年来煤炭大规模开发所导致的地下水水位和水化学场变化及其原因,为矿区的生态环境综合整治提供了依据;李鹏波等(2006)分析了矸石山对矿区和周围区域生态环境的物理、化学危害机理等。

矿区生态环境的保护、治理和管理也是专家、学者和政府部门关注的焦点。芮素生(1994)、顾和和等(1997)较早地对我国煤矿区生态环境保护的技术措施、行动步骤及管理对策进行了总结和分析。更多的学者则从技术层面对开采沉陷控制和减轻地面沉陷程度的方法和技术手段进行了探讨。如,为了提高地表移动变形过程预计及对矿区环境影响分析的准确性,吴侃(1995)提出了开采沉陷动态预计的实用算法;余学义(2001)认为上覆岩层的流变特性是地表动态移动变形的主导因素,并以此为基础提出了地表动态下沉盆地的移动变形预计理论;郭广礼等(2004)根据荷载置换原理,提出了“条带开采—注浆充填固结采空区—剩余条带开采”的三步法开采沉陷控制新思路并进行了可行性研究;赵经彻等(1997)则提出了兖州矿区“地表下沉盆地分割、离层带与冒落带全面注浆、拱基参数控制、注浆材料、农田保护”等五项控制地表沉陷综合方案。

综上所述,学术界研究侧重于煤炭资源开采对生态环境影响的系统分析和生态环境保护、治理和管理等方面,对影响效应研究较多,尚缺少从大时空尺度、生态环境约束角度,将煤炭资源开发与生态环境效应过程有机结合起来进行系统性的基础研究。

1.2.2 矿区生态环境评价研究

生态环境评价始于 20 世纪 60 年代,评价内容主要包括生态环境质量评价和生态环境服务功能评价两个方面,如环境质量评价、生态安全评价、生态风险评价、生态退化评价、生态脆弱性评价、生物多样性评价、工程影响评价和生态健康评价等(田永中 等,2003)。煤矿区作为生态环境破坏比较严重的区域,一直都是生态学及生态环境评价领域研究的热点之一。英、美、德、法、加等国在 20 世纪 70 年代就把矿山生态环境评价程序纳入矿业活动的日常事务中,并以法规的形式规定在采矿之前必须对矿业活动可能引起的生态环境问题进行评估。

由于受经济发展水平的影响,我国煤炭资源开发的环境影响评价工作起步略晚,始于 20 世纪 80 年代,到目前已经编制了数百份矿区和矿井的环境影响报告书,并对不同矿区的生态环境特点做了大量的工作和有益探讨(顾广明,2007b),涉及生态环境评价指标体系、评价方法、评价模式和模型等诸多方面。

关于矿区生态环境评价指标体系,国内主要有两种观点:一是从生态学观点选择指标体系;二是从系统论观点选择指标体系。常春平等(1998)从系统论的观点

出发,在考虑矿产资源和其他自然资源空间分布关系的基础上建立了由自然生态环境子系统和社会生态环境子系统组成的评价指标体系。李江锋等(2009)通过对北京首云矿区土地利用、植被和水土流失状况的现场调查,结合矿区实际,提出了生态环境评价指标和标准。张美华(2000)、毕晓丽等(2001)分析比较了特尔菲法(专家咨询法)、层次分析法、灰色关联分析法、模糊综合评判法在矿区生态环境评价中的应用,并提出了存在的问题和建议。程胜高等(2001)提出评价的重点应该放在矿业活动所引起的生态系统变化上,认为“矿山生态环境评价包括对矿产资源开发活动所引起的生态系统结构、功能变化和造成生态系统污染水平两方面”。陈桥(2004)、胡克等(2006)在“鞍山铁矿山生态环境重建试验研究”中提出了“自然禀赋指数维、区域人文指数维、生态环境指数维”三维矿山生态环境评价指标体系。与此同时,生态环境评价模式、模型的研究也得到越来越多的关注。胡克等(2006)提出矿山生态重建的规范化(regulation of multitudinous mine ecological rehabilitation,RMMER)矿山生态环境评价模式。

综合以上相关研究,可以发现存在以下问题:

(1)生态环境质量评价指标体系需要进一步完善。由于不同研究者对矿区生态系统的理解不同,使得所建立的指标体系存在很大的差异,影响了评价结果的正确性以及结果之间的兼容性。

(2)趋势研究不够,针对性不强。对矿区生态环境现状的调查多限于静态资料,多侧重于对生态系统的结构、功能、状态评价和模型构建,对区域生态系统演化规律以及煤炭开采扰动下的变化趋势研究不足,缺乏对不同情境下的煤炭资源开发及其生态响应过程的模拟和预测,从而导致评价结果的适用性较差,治理措施针对性较弱。

(3)评价手段有待进一步提高。随着生态环境评价向动态方向发展,研究对象向大时空尺度发展,研究目的向生态系统管理发展,评价中迫切需要一些新的技术手段如地理信息系统(geographic information system,GIS)、遥感(remote sensing,RS)等来支撑。

(4)整体性、综合性评价比较缺乏。目前进行的矿区生态环境评价,大多对各矿井项目分别进行评价,而实际上由于煤田的范围较大,对其进行勘探和开发大多分阶段分步骤地进行,从而形成处于不同地域和投资主体的矿区和井田。基于井田的单个项目评价对整个矿区生态系统影响的宏观分析显得不足,缺乏整体性,造成相邻矿井保护目标不一致,措施难以统一,生态环境保护难以起到应有的效果(顾广明,2007b;李凤霞等,2007)。

1.2.3 累积效应及累积效应评价

累积效应(cumulative effects)的概念(Burris et al, 1997; Spaling, 1994; Angela et al, 2004)源于美国1973年颁布的《实施“国家环境政策法”指南》中的环境累积效应。关于该概念的描述较多,如“随着时间和空间的变化,加和以及聚集

作用产生的影响会不断地增加和增效”，“性质相同活动的环境影响在时间或空间上的加和，或者性质不同的活动在时间和空间的相互作用所产生的环境影响”等。目前被普遍接受的是由美国环境质量委员会(Council on Environmental Quality, USCEQ)于1997年提出的概念，即“累积效应是由已发生的过去的行为、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”。

环境累积效应具有时间、空间和人类活动导致的特征，即当作用于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空间距离时，就会产生空间上的效应累积或空间拥挤现象；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的角度看待环境问题的方式，它所揭示的重要现象是，当区域环境处于可持续发展的临界水平时，自身环境影响较小的开发活动，与其他开发活动对环境影响累积后，可能会带来重大的环境后果。区域性的环境恶化问题是由区域内所有开发行为之间在时间与空间上的协同累积作用产生的。矿区生态环境的退化具有典型的累积效应特点，不仅受到煤炭资源开采的影响，而且也受到其他经济活动的影响。矿区生态环境服务功能的降低(如地力衰退、土地污染等)也是受到煤炭开采和人类其他活动的时空叠加、累积影响造成的。

累积效应分析(cumulative effects analysis, CEA)是为了弥补传统环境影响分析(environmental impact analysis, EIA)的缺陷提出来的。环境影响评价制度自1969年在美国以法律形式确定下来以后，在协调经济发展和环境保护方面发挥了巨大作用，世界各国纷纷引入了这项制度。但随着世界范围内环境破坏程度和范围的不断扩大，对环境影响的认识不断加深，尤其是在可持续发展的要求下，传统的EIA暴露了很多自身的缺陷，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。由于累积效应分析的概念、目标等与可持续发展理论具有高度的一致性，因此，为了克服EIA的缺陷，世界各国都逐步拓展了EIA的范围，开展了累积效应分析方面的研究。目前，累积效应分析研究主要集中在美国、加拿大、澳大利亚和欧共体等国家，特别是美、加两国在累积效应评价的理论和实践上进行了多年的研究和探索，并取得了一些重要的成果(Stiff, 2001; Lee, 2000; Boizard et al, 2002)。但由于累积效应影响途径和累积影响效应的复杂性并涉及诸多学科领域，累积效应评价尚未形成公认的原则、普遍接受的定义、概念架构和成熟的方法(Coklin et al, 1992; Peter, 2006; Ross et al, 2006)。近年来，环境累积效应分析及评价在我国也日益受到重视，一些学者对其基本概念与问题进行了介绍和分析。如毛文锋等(1997; 2002)根据累积影响评价的特征，提出了累积影响评价的原则和框架，以指导和规范累积影响评价的实践。彭应登等(2001)分析了区域开发环境影响累积的基本特征与过程，建立了相应的概念框架，并提出了描述区

域开发环境影响累积特征的指标。汪云甲(2004)、张大超(2005)则紧密结合矿区煤炭资源开发的特点,对矿区环境累积效应的特点、表征方法等进行了初步研究和探索。我国学者还针对诸如干旱半干旱地区开发、港口及水利建设、水域湿地景观演变、流域资源开发等方面累积影响效应开展了实证研究(林逢春等,2001)。

总体而言,国内在生态环境累积效应方面的研究相对落后,成果不多,远未形成符合我国国情的生态环境累积效应分析评价方法体系,这方面的研究尚属起步阶段,亟待进一步加强。

1.2.4 空间信息技术在生态环境研究中的应用

目前空间信息技术在生态环境研究中的应用已经涉及生态环境的监测、管理、信息模拟、趋势预测和评价等各方面(李凤海,2007;钟和平,2007;高艳强等,2007;刘鹏等,2007;王行风等,2007;胡振琪等,2008;季惠颖等,2008;赵银兵等,2009)。加拿大在1994年就建立了生态监测与评估网络,内容包括气候变化对水纯净度的影响,森林可持续发展的标准等(陈彩虹等,2003)。Legg(1990)利用遥感技术对地表采矿引起的环境问题和矿区土地复垦做了定性评价。Venkataraman等(1997)综合遥感数据和基础数据定性分析了矿区植被、土地利用、地表水、地下水和土质受矿产开发的影响程度。Fischer等(2002)将遥感、地理信息系统和地下水模拟结合起来研究了地下采矿引起的地表变形、地下水变化和地表植被变化三者的关系。郭达志等(2001)利用遥感和其他技术相结合的方法对晋城、铜川、开滦等矿区的大气、塌陷进行了调查分析。杜培军等(2003)、王行风等(2007)利用领域知识结合遥感影像对我国东部高潜水位地区、半干旱和干旱地区采煤沉陷地进行了建模提取。李婧等(2005)利用数字高程模型,建立矿区采矿前后的三维模型,利用GIS的空间分析方法,调查和预测了矿山的挖掘量和尾矿的堆积量,为土地复垦和生态重建等决策提供了理论依据;杨玲等(2006)利用遥感影像对矿区植被变化进行了分析,发现受煤矿开发的影响,重度荒漠化草地多围绕矿业建设用地的距离相关关系显著;况顺达等(2006)总结了利用遥感技术开展矿山地质环境问题调查的方法与技术路线,以及生态环境的评价、预测和模拟,是矿区生态环境研究的核心问题;陈涛等(2006)利用遥感及GIS相关理论,采用主成分分析法进行了四川生态环境的现状评价分析研究;仲嘉亮等(2006)基于栅格数据运用GIS中叠置分析功能进行生态环境质量综合评价的方法,实现生态环境质量指数与具体生态区域地理位置的一一对应;李洪义等(2006)利用从遥感数据中提取反映生态环境的植被、土壤亮度、湿度、热度指数等指标因子,并对这些因子进行相关性分析,建立多元线性回归方程,利用该评价模型,在GIS空间分析功能支持下生成福建省生态环境遥感综合评价图;徐友宁等(2007)、李琳等(2007)利用GIS和RS相结合的方法对矿区的土地覆盖、土地利用时空变化进行了研究;苗艳艳等

(2007)在矿区地质环境的整体解译方面,采用不同时相的陆地卫星遥感数据,完成了湖北省重大矿区的地质环境解译;汤育(2008)以美国陆地卫星专题制图仪 Landsat TM 和中国-巴西地球资源卫星(China-Brazil Earth Resources Satellite, CBERS)卫星影像为主要数据来源,分析了近 20 年阜新市海州露天矿区面积变化趋势及近 5 年来对当地空气质量的影响;姚玉增等(2008)利用 TM/ETM 影像,在 GIS 支持下,对阜新市城市扩展及城市热岛效应进行了研究。

随着数据挖掘、数据融合、专家系统、神经网络和高光谱遥感等相关技术的不断发展,充分利用空间信息技术实现生态环境质量综合评价和预测成为可能。它不但能为生态环境质量评价研究带来广阔的应用和研究前景,而且将使生态环境质量评价研究更具有科学性和针对性(邓春光等,2007)。

1.2.5 研究进展综述

煤炭开发活动具有较强的时间持续性、空间扩展性,对矿区生态环境系统的扰动形式多,影响来源广,累积效应特征显著、机理复杂。煤炭资源开发与生态环境效应问题的研究是一个非常复杂的课题,既要研究生态环境的演化规律,又要联系矿区发展的变化特征;既要定性分析煤炭资源开发对生态环境的影响作用,又需要对生态响应过程进行动态监测与定量模拟;既要探讨生态环境对煤炭资源开发的约束机理,又要回答生态环境约束下的矿区可持续发展模式。虽然国内外在煤炭开发的生态环境效应相关领域做了大量工作,但总的来说,对煤炭资源开发的生态环境累积效应机理分析研究不足,还没有形成严格意义上的煤炭资源开发的生态环境累积效应分析和评价系统,还缺乏从生态环境约束的角度将煤炭资源开发与生态环境响应过程有机耦合起来进行综合研究,缺乏以生态环境约束条件下进行能源开发的角度研究区域能源开发的优化调控模式。

本书正是基于国内外研究现状及应用需求分析,进行煤矿区生态环境累积效应机理分析、方法探索和分析评价等研究,拟通过系统研究煤炭资源开发对矿区生态环境累积效应的影响规律,构建矿区生态环境累积效应表征模型,剖析矿区生态环境累积效应的机理,提出矿区生态环境累积效应分析体系和评价方法,探讨能促进区域煤炭资源优化开发、经济社会可持续发展的绿色开发模式,为和谐矿区的构建提供基础支持和依据。

1.3 研究目标与主要研究内容

1.3.1 研究目标

针对煤炭资源开发所带来的生态环境累积效应问题,通过分析煤炭资源开发