

MEIKUANGQU
DIBIAO HUANJING JIANCE FENXI YU
PINGJIA YANJIU

煤矿区

地表环境监测、分析与
评价研究

王行风 著

中国矿业大学出版社
China University of Mining and Technology Press

煤矿区地表环境监测、分析与评价研究

王行风 著



中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书以煤矿区地表环境作为研究对象,以作者主持和参与的多项科研项目研究成果为基础,从煤矿区可持续发展的角度,剖析煤炭资源开发对矿区地表环境的影响机理,研究新技术、新需求背景下的煤矿区环境监测、分析和评价的关键理论与技术,以期探讨煤炭资源开发与生态环境相协调的矿区发展模式提供一定的思路。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿区地表环境监测、分析与评价研究/王行风著.

—徐州:中国矿业大学出版社,2019.3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3819 - 1

I. ①煤… II. ①王… III. ①煤矿—矿区—地表—环境监测 IV. ①X322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 313267 号

- 书 名 煤矿区地表环境监测、分析与评价研究
著 者 王行风
责任编辑 周 红
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83884103 83885105
出版服务 (0516)83885789 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×960 1/16 印张 14.5 字数 276 千字
版次印次 2019年3月第1版 2019年3月第1次印刷
定 价 46.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

煤炭资源的大规模、高强度开发为国家的经济、社会发展做出了巨大贡献,伴随而来的是非常严重的地质灾害与环境问题,如地面沉陷、地裂缝、滑坡、崩塌、泥石流、道路变形、植被退化和水体污染等。应用空间对地观测技术,快速了解煤炭资源开发状况,及时监测环境损害的时空变化,发现矿区地表环境的灾害动态与前兆因子等,分析矿区地表生境变化的发生背景、演变规律、格局状态、过程和异常等,从而实现对矿区地质环境灾害、资源开采的合法性和生态环境的变化等进行动态监测,对于矿山安全生产及维护矿业秩序具有重要意义。随着生态环保、和谐发展的观点与理念深入人心,绿色、和谐、环保的矿区发展方式受到社会各界的普遍关注。

煤炭主产区地表环境监测、分析与评价研究既属于国家中长期科学和技术发展规划重点领域,也是全球性的行业科技发展关注热点,具有重大的理论意义及应用推广前景。随着科学技术的飞速发展,矿区地表环境监测手段日新月异,煤矿区地表环境监测、模拟以及评价应用分析亟待进一步加强。

本书以煤矿区地表环境作为研究对象,以著者主持和参与的多项科研项目的基础(面向地理国情服务的资源开发地表沉降监测,编号 201412016;国产卫星测图数据在矿山地质灾害监测

中的应用示范,编号:2011BAB01B06-06),从煤矿区可持续发展的角度,剖析煤炭资源开发对矿区地表环境的影响机理,研究新技术、新需求背景下的煤矿区环境监测、分析和评价的关键理论与技术,以期为探讨煤炭资源开发与生态环境相协调的矿区发展模式提供一定的思路。

本书研究内容得到了中国矿业大学环境与测绘学院汪云甲教授的悉心指导,研究生闫中亚、范忻、魏长婧、赵慧、马晓黎等在资料收集、实地调研、影像解翻、模型构建模拟以及计算机制图等方面做了大量工作,给予了大力协助,在此,谨向他们付出的辛勤劳动表示真挚的感谢。本书部分表及图可通过扫描二维码的形式展示其彩图效果。

在本书写作过程中,参考了许多专家学者的论著以及科研成果,书中对引用部分一一作了注明,但是仍恐有疏漏之处,诚请原作者多加包涵。由于著者能力所限,书中不足之处在所难免,恳请广大同仁批评指正。

著 者
2018年6月

目 录

| | |
|---|----|
| 第 1 章 总论 | 1 |
| 1.1 研究的科学意义 | 1 |
| 1.2 研究进展 | 2 |
| 1.3 技术路线与研究过程..... | 11 |
| 1.4 主要研究结论..... | 14 |
| 本章参考文献 | 17 |
| 第 2 章 煤矿区地质灾害类型以及影像特征 | 22 |
| 2.1 采动扰动下的煤矿区地质灾害类型..... | 22 |
| 2.2 矿区主要地质灾害体的遥感影像特征..... | 26 |
| 2.3 矿区地质灾害体监测分析框架..... | 35 |
| 本章参考文献 | 36 |
| 第 3 章 采煤塌陷地监测与提取 | 38 |
| 3.1 基于领域知识的塌陷地信息提取..... | 38 |
| 3.2 矿区积水塌陷地多尺度分布信息提取..... | 44 |
| 本章参考文献 | 54 |
| 第 4 章 融合多尺度分割与 CART 算法的矸石山信息提取 | 56 |
| 4.1 融合多尺度分割和 CART 算法的矸石山信息提取基本原理 | 56 |
| 4.2 矿区矸石山提取实例..... | 62 |

| | |
|--|-----|
| 第 5 章 面向对象多尺度分割的矿区采动地裂缝提取 | 65 |
| 5.1 面向对象多尺度分割矿区采动地裂缝提取技术流程 | 65 |
| 5.2 矿区采动地裂缝分布信息提取实例分析 | 71 |
| 第 6 章 煤矿区滑坡体与尾矿坝识别 | 95 |
| 6.1 矿区滑坡体解译标志 | 95 |
| 6.2 矿区滑坡体提取技术流程 | 96 |
| 6.3 矿区滑坡体——平顶山矿区滑坡信息提取实验 | 98 |
| 6.4 矿区尾矿坝提取初步 | 102 |
| 本章参考文献 | 104 |
| 第 7 章 开采沉陷预计、分析与预测模型及其插件式实现 | 105 |
| 7.1 适用于山地、倾斜煤层的煤矿区开采沉陷预测模型 | 105 |
| 7.2 开采沉陷预计、分析与可视化系统 | 108 |
| 7.3 系统实现与应用 | 111 |
| 本章参考文献 | 119 |
| 第 8 章 地面沉降灾害风险评价指标及分析平台 | 121 |
| 8.1 地面沉降灾害风险评价指标体系 | 121 |
| 8.2 系统设计 | 131 |
| 8.3 平台实现 | 142 |
| 本章参考文献 | 165 |
| 第 9 章 基于 T-ANN-CA 模型的煤矿区土地利用演化与模拟 | 165 |
| 9.1 引言 | 165 |
| 9.2 矿井生命周期各阶段土地利用演化规律 | 166 |
| 9.3 基于矿井生命周期理论的 CA 扩展模型 | 168 |
| 9.4 实证研究 | 172 |
| 9.5 结论 | 179 |
| 本章参考文献 | 180 |
| 第 10 章 基于 SD-CA-GIS 的环境累积效应时空分析建模研究 | 182 |
| 10.1 引言 | 182 |

| | | |
|---------------|--------------------------------|------------|
| 10.2 | 基于 SD-CA-GIS 的时空累积效应分析建模 | 183 |
| 10.3 | 实例验证 | 186 |
| 10.4 | 结论与讨论 | 192 |
| | 本章参考文献 | 193 |
| 第 11 章 | 煤矿区景观演变生态累积效应表征模型 | 195 |
| 11.1 | 引言 | 195 |
| 11.2 | 煤矿区景观生态分类 | 196 |
| 11.3 | 煤矿区景观演变的生态累积效应表征模型 | 205 |
| 11.4 | 景观累积效应分析实例 | 210 |
| | 本章参考文献 | 222 |

第1章 总 论

煤炭资源在我国一次能源的生产和消费中一直占有极其重要的地位,是我国可持续发展战略实施的重要能源保证。煤炭资源的大规模开发和利用,不可避免地带来了地表形变、土壤污染、植被退化以及景观破坏等一系列环境问题,造成了重大的经济损失(黄盛初等,2003;王行风,2014)。随着国家、政府以及人民对人类生存环境的重视,基于生态环保与和谐发展的观点与理念已深入人心,绿色、和谐、环保的矿区发展方式受到起社会各界的普遍关注。

本书在梳理和总结笔者多年从事煤矿区资源开发与环境理论研究以及实践的基础上,从煤矿区可持续发展的角度,剖析煤炭资源开发对矿区地表环境的影响机理,研究煤矿区环境监测、分析和评价的关键技术与理论,以期探讨煤炭资源开发与生态环境相协调的矿区发展模式提供一定的思路。

1.1 研究的科学意义

煤炭资源的大规模开发和利用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(矿区)的环境造成了严重的影响,带来了诸多难以回避的生态问题。以煤炭大省山西为例,据山西省社科院的一项研究,从改革开放至今,煤炭资源开发带给山西的生态环境直接损失高达4 000多亿元。

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。十三五以来国家对煤矿区生态环境尤为关注,已经将煤炭绿色、清洁高效利用提升到了国家战略高度。

2013年9月,国务院印发《大气污染防治行动计划》,针对煤炭资源的清洁高效利用,相关部门制定了任务,研究了实施措施,并在煤炭资源开发区域进行了落实。

2014年6月国务院办公厅发布的《能源发展战略行动计划(2014—2020

年)》也明确提出要按照“安全、绿色、集约、高效的原则,加快发展煤炭清洁开发利用技术,不断提高煤炭清洁高效开发利用水平”。

2015年2月,工业和信息化部、财政部联合制定的《工业领域煤炭清洁高效利用行动计划》中,明确要求煤炭消耗量大的地区要制定工业领域的煤炭清洁高效利用计划。

2015年5月,国家能源局印发了《煤炭清洁高效利用行动计划(2015—2020年)》,提出建立政策引导与市场推动相结合的煤炭清洁高效利用推进机制,并为近期煤炭清洁高效利用明确了时间表。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》指出我国目前能源供需矛盾尖锐,结构不合理;能源利用效率低;一次能源消费以煤为主,化石能源的大量消费造成严重的环境污染”,并将全球环境变化监测与对策列为优先主题。

李克强总理在2017年《政府工作报告》中要求,要守住环境保护的底线,坚决打好蓝天保卫战,强化水、土壤污染防治,强调生态环保贵在行动、成在坚持,必须紧抓不松劲,一定要实现蓝天常在、绿水长流、永续发展。

因此,开展煤炭主产区地表环境监测、分析与评价研究既属于国家中长期科学和技术发展规划重点领域,也是全球性的行业科技发展问题,具有重大的理论实际意义及应用推广前景。

1.2 研究进展

煤矿区作为地表环境破坏比较严重的区域,一直都是采矿学、生态学、地理学以及环境科学等领域研究的热点。德、英、澳、美、法、加等国在20世纪70年代就把矿山资源开采所导致的环境问题研究等纳入到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环境问题进行分析与评估。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研究工作起步略晚,始于20世纪80年代,到目前为止已经针对大量不同类型的矿区资源开发对环境的影响做了大量的工作和有益探讨(耿海清,2008;曹代勇等,2010;孙亚军等,2017),这些工作涉及地表环境采动要素损害机理分析、环境监测、评价指标体系、评价方法和评价模式等诸多方面。

1.2.1 煤炭资源开发的地表环境采动影响要素

地下开采导致的岩层和地表移动作用于采动范围内的地表环境要素,使

其产生形态各异、程度不同的损害(连达军,2008)。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,有针对性地提出了矿区生态环境保护措施、治理技术与管理对策等。

面向煤矿区开展监测模型、监测方法以及分析技术的研究,为国家的能源结构调整、煤电一体化、大型煤炭基地布局、生态环境建设等重要的社会、经济发展战略提供重要支撑,具有重大的经济与社会效益。

矿区地表环境监测方法可简单概括为宏观监测与微观监测两种方法。微观监测(地面监测)主要利用地面监测站监测并调查、收集资料等;宏观监测主要是利用遥感(RS)、地理信息系统(GIS)技术在一定的空间尺度下,对特定区域范围内的生态环境进行动态、周期性的监测。随着地球信息科学的发展,基于RS、GIS、GPS、网络技术等手段的宏观监测技术手段越来越多地被应用到矿区地表环境监测中,已经涉及地表环境的监测、管理、模型模拟、趋势预测和评价等各方面(季惠颖等,2008;王行风等,2007;胡振琪等,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(2008)等利用领域知识结合遥感影像对我国东部高潜水位地区与半干旱和干旱地区采煤沉陷地进行了建模提取;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,重度荒漠化草地多与矿业建设用地的距离相关关系显著;徐友宁等(2007)、李琳等(2007)等利用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;汤育(2008)以Landsat TM(Thematic Mapper)和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。在矿区地质环境的整体解译

方面,苗艳艳等(2007)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;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。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。李婧等(2005)利用数字高程模型,建立了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;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 叠置分析功能进行生态环境质量综合评价的方法,实现了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,对因子进行相关性分析,建立了多元线性回归方程,利用该评价模型,在 GIS 空间分析支持下生成福建省生态环境遥感综合评价图。

水土环境是矿区生态环境的重要要素,也是煤炭资源开发影响最直接最严重的对象之一,故引起较多学者的关注。卞正富等(1999)等系统研究了开采沉陷对潜水位埋深的影响规律;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;胡振琪等(1996)则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;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、重度、孔隙率、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;顾和和等(1998)定量评价了开采沉陷对耕地生产力的影响;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;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;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;李逢春(2003)分析、评价了开采沉陷对架空输电线路的影响;陶虹等(2016)以地下水长期监测数据为基础,综合分析榆林市榆阳区萨拉乌苏组潜水区域水位动态时空发育特征,运用模糊聚类分析法将研究区的浅层地下水划分为水位强烈波动区(I类)、水位中等波动区(II类)、水位弱波动区(III类),研究不同动态类型区水位变化规律以及

主要影响因素,开展地下水位动态与煤炭开采量、大气降水量的相关性分析;王双明等(2017)通过对神木北部矿区塌陷1,2,5,10 a和未塌陷区植物群落调查及土壤因子的测试分析了神木北部矿区采煤对生态环境损害的关系,并给出了该区生态环境保护的指导原则。

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。顾和和等(1997)、芮素生(1994)较早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5项地表沉陷控制综合方案。卞正富(2007)基于采矿对环境影响规律的认识,提出了矿山生态建设的概念,在分析不同类型矿区生态类型特点的基础上,明确指出矿山生态建设是发展中迫切需要的,也是切实可行的,需要进行技术集成和理论创新,更好地指导矿山生态建设。范立民(2017)为保护干旱半干旱矿区含水层及生态系统,通过阐述榆神矿区矿床地质、开采条件、岩层移动特征等,从系统论角度提出了保水采煤的概念和科学内涵,并构建了保水采煤研究基本框架。

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)。

1.2.2 煤矿区典型地质灾害监测研究

煤矿区是一种特定地质地理条件下的生产生活区域,由于煤炭开发开采等因素的影响,煤矿区地物类型特殊而复杂,既有其他区域常见的地物,如矿区建设用地、耕地、水体等,又有诸如矸石山、洗选废渣、塌陷地等一些煤矿区特有的地物类型。煤炭资源的高强度开发使得矿区地质环境受到各种扰动与胁迫,从而造成矿区地物在光谱特征、空间关系、内部结构等方面发生明显变化。我国是煤炭开采利用大国,煤矿区的地表环境遥感监测研究处于国际先

进行列,对于煤矿区地质环境信息的监测涉及煤矿区典型地物分布信息各个方面。

采矿塌陷地的动态监测是矿区资源管理的重要方面,从遥感图像中提取采矿塌陷地是遥感应用于矿山资源环境监测的重要研究课题,它甚至成为煤矿区社会、经济和生态环境可持续发展所面临的重要问题。定量、实时和动态获取塌陷地信息自然成为区域环境综合治理、地表塌陷控制模式研究等工作的关键环节。国内外对于遥感技术在矿区塌陷地研究中的应用作了大量的研究,但是这些研究都存在一定的局限性,如彭苏萍等主要关注平原积水塌陷地的研究,对于部分塌陷地如干旱非积水塌陷地等信息则研究不够。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。

煤矸石是一种在成煤过程中与煤层伴生的黑灰色固体废弃物,不仅会污染环境,而且会严重损害附近居民的身体健康,目前已经成为矿区生态环境的主要影响源之一。因此,实时、准确、快速地获取煤矸石堆场的位置、形状和面积等信息,对于环境监测与管理具有重要的意义。王国平(2004)较早地应用不同分辨率的卫星图像从区域上进行资源总体分布情况调查、从局部进行资源类型划分,高效地完成了阜新煤矸石资源的调查工作;荆青青等(2008)以荆门市马河镇煤矸石分布调查为例,利用 ASTER 多光谱数据波段多、信息量大的特点,实现了煤矸石的分布范围快速准确地提取,提取精度可满足煤炭资源开发状况和矿区生态环境的调查与监测;冯稳等(2011)在研究矿区背景知识的基础上,统计分析区内煤矸石及其他典型地物在影像上的光谱特征,构建了研究区的分类知识库;基于 TM 多光谱影像,运用知识决策树分类方法对江西萍乡煤矿区进行煤矸石信息提取试验,有效提高解译的效率及准确度;王鹏等(2013)选择 Landsat 5 TM 影像,通过将研究区的光谱信息与地形、温度等辅助信息相结合的方式,分别使用非监督分类、监督分类、谱间关系法、分层分类法 4 种方法对研究区煤矸石堆场进行提取,通过对比,验证了不同分类方法提取煤矸石堆场信息的识别精度。黄丹等(2015)以内蒙古鄂尔多斯市东胜区为试验区,采用 SPOT-5 高分辨率遥感影像,面向对象提取研究区内的煤矸石堆场信息,并进行识别精度评价,结果表明,面向对象的提取方法可更好地应用于煤矸石堆场信息的自动提取,大幅度提高精度和效率。宋亮等(2014)基于 TM 影像数据,分别使用监督和非监督分类方法对辽宁铁法(煤)矿区典型地物进行遥感识别,对比分析了煤与煤矸石所存在的混分现象,为煤矿区地

物遥感识别的方法选择提供参考;为揭示煤矸石回填复垦工程对复垦区景观生态的影响,刘轩等(2016)运用 GIS、RS 和景观评价分析方法,选取 2000 年 Landsat ETM 和 2014 年 Landsat OLI 8 遥感影像作为数据源,结合实地调查解译分类,分析了阳泉市一矿煤矸石回填复垦区景观变化状况,并对景观生态综合稳定性进行了评价。

滑坡是煤矿区典型的地质灾害之一,遥感技术可用于滑坡的识别、填图、监测和评价。目前,国内外在滑坡调查中使用的遥感技术主要有利用合成孔径雷达、高空间分辨率的便携式无人机、多时相遥感数据、面向对象的图像处理等方法(吕鹏等,2015)。滑坡分类研究一直是滑坡研究的基础和重点。焦姍等(2017)通过对山西煤矿区滑坡灾害的工程实践和大量的调查统计分析,将山西煤矿区滑坡分为顺基岩面推移-滑动型黄土滑坡、蠕滑-挤出型黄土滑坡、水浸溜滑型黄土滑坡、煤层自燃倾覆-拉裂滑移型岩质滑坡以及受节理控制的蠕滑-张裂型岩质滑坡,该研究进一步细化了滑坡分类的内容,为矿区及类似滑坡地质灾害的防治提供指导。王云南等(2017)以滑坡为研究对象,总结了国内外解译遥感影像中滑坡灾害点的方法及其优缺点,归纳出了滑坡的影像识别标志,最后指出识别过程中存在解译指标不成熟、光谱信息应用不充分、影像反映不出地物的动态特征等不足,并针对不足提出相应的研究展望;唐尧(2015)利用遥感技术研究各类地质环境要素现象时空分布及相互关系,推断潜在的地质环境安全隐患,全面掌握矿区内矿山地质环境现状,有效地指导矿山环境保护工作和规划实施矿山环境问题防治工程,对有效部署野外调查、预防矿山环境地质危害及实施矿业可持续发展战略具有十分重要的理论意义和实用价值。上官科峰等(2009)为了分析矿区采动影响的山体滑坡机理,以金和一号矿井后山采动斜坡山体滑坡为研究对象,分别运用极限平衡理论、有限差分数值方法分析了采空区上覆山体滑坡的内在机理,并将斜坡失稳归结为地下采空-后缘破坏-剪切蠕动的推动式顺层滑坡破坏模式。王果等(2017)提出一种基于无人机倾斜摄影技术的全自动露天矿边坡三维重建方法,利用无人机搭载的数码相机获取矿区序列倾斜影像,通过特征提取、空三测量、多视影像密集匹配,构建不规则三角格网和纹理映射,自动重建出露天矿边坡三维模型,在露天矿三维地形滑坡动态监测和灾害分析方面具有重要意义。

地裂缝是矿山地质灾害的重要表现形式,对矿山地质生态环境构成严重威胁,其数量多,分布广,危害重,不仅造成了生态环境的恶化,也阻碍着城市化进程和社会经济的可持续发展。利用遥感技术对地面变形等地质灾害进行

调查研究具有传统技术无可比拟的优越性,特别是高分辨率遥感影像的出现,为煤炭开发区地裂缝调查提供了一种快速、高效的方法(赵炜,2009)。王娅娟等(2011)根据大柳塔采空区地裂缝的发育情况,利用 0.6 m 高分辨率 Quick-Bird 影像进行采空区地裂缝提取方法研究,结果发现提取结果和实地调查结果吻合。杨进生等(2015)基于无人直升机遥感技术给出了低空遥感地裂缝信息采集技术框架,并根据华北平原(隆尧段)地裂缝的发育特征建立遥感解译标志,并对隆尧地裂缝遥感信息进行探索性提取;通过野外验证,监测效果良好,为在平原地区快速、大面积寻找和监测地裂缝提供了可行的低空遥感技术和方法参考。刘宏伟等(2008)根据野外实际踏勘调查,利用遥感手段分析计算出了平顶山矿区整体沉陷状况,论述了平顶山矿区地面沉陷和地裂缝灾害的基本机理和分布现状,并针对现状提出了这两种主要地质灾害的防治建议。赖百炼等(2011)通过遥感地质解译、调查,利用多时相卫片、航片、数字高程模型等技术资料,对晋城市周围的采空区有了较全面的掌握,确定了采空区不同类型的地裂缝 23 处,并根据采空区年限、顶板岩性、开采层数、地面塌陷幅度等多种因子,将采空区划分为极不稳定、不稳定、较不稳定 3 种类型,确定了极不稳定区 5 个,不稳定区 4 个,较不稳定区 13 个。范立民等(2015)通过遥感解译结合实地调查,对榆神府矿区地裂缝进行了分析研究,发现该区地裂缝主要分布在石圪台-大柳塔、大昌汗-老高川、榆家梁、锦界、柠条塔煤矿北翼以及大砭窑、麻黄梁一带,均为煤炭高强度开采区。王瑞国(2016)以 World View-2 数据为依据,在建立遥感解译标志基础上,采用遥感解译与野外验证相结合、人机交互解译与计算机自动信息提取相结合的方法,圈定了乌东煤矿由采矿活动引发的地质灾害点及其集中发育区,测量了地质灾害体的展布方向、几何参数和影响面积,从而为乌东煤矿相关部门进行地质灾害防治决策提供了依据。

1.2.3 矿区环境评价研究

生态环境评价始于 20 世纪 60 年代,评价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。

矿区地表环境的评估首先需要进行评价指标体系的构建。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;二是从系统论的观点选择指标体系。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、功能变化和造成的生态系统污染水平两方面”。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。陈桥(2004)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 RMMER 矿山生态环境评价模式;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。综合以上相关研究,可以发现:

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 GIS、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,大多以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,2007;李凤霞等,2007)。

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