



国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



工矿区陆面演变监测分析与 调控治理研究

杜培军 胡召玲 郭达志 著
盛业华 陈龙乾 张书毕



Earth

地质出版社



国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



工矿区陆面演变监测分析 与调控治理研究

杜培军 胡召玲 郭达志 著
盛业华 陈龙乾 张书毕

地质出版社

· 北 京 ·

工矿区陆面演变监测分析与调控治理研究

Study on the Monitoring, Analysis, Adjustment and Treatment of
Terrestrial Surface Evolution in Industrial and Mining Areas

内 容 提 要

本书是关于工矿区地面塌陷及其生态环境效应遥感监测、地学模拟、综合分析与调控治理的专著。从区域生态环境与可持续发展结合的角度建立了工矿区陆面演变的研究体系,研究了工矿区地面塌陷遥感监测和数字近景摄影测量的原理与方法,在分析地理信息系统应用于陆面演变模拟、预测与分析的基础上,提出了空间决策支持系统应用的模式,最后对陆面演变调控中的土地整治、人居环境优化进行了阐述。本书出版得到国家自然科学基金委员会成果专著出版基金资助(批准号40424004)。

本书可供高等院校和科研院所从事资源环境遥感、地理信息系统、地理科学、土地资源管理、3S技术集成与应用、国土资源信息化、环境保护等领域的研究人员、管理人员和工程技术人员阅读参考,也可作为大专院校高年级本科生和研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工矿区陆面演变监测分析与调控治理研究/杜培军等
著. —北京:地质出版社, 2005. 10
ISBN 7-116-04667-4

I. 工... II. 杜... III. ①工矿区-近地面层-卫星遥感-监测-分析②工矿区-近地面层-卫星遥感-治理-研究 IV. TD1

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第129302号

责任编辑:陈磊

责任校对:郭小丽

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号, 100083

电 话:(010) 82324508(邮购部); (010) 82324565(编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zhs@ gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本: 787 mm × 1092 mm ¹/₁₆

印 张: 13

字 数: 320千字

印 数: 1—700册

版 次: 2005年10月北京第一版·第一次印刷

定 价: 35.00元

ISBN 7-116-04667-4/T·123

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

工矿区是一种特殊的地理区域,由于资源开采和其他人类活动的影响,引发了区域严重的资源与环境问题。煤炭资源在我国能源比例中达到 70% 以上,而且在今后一段时期内不会有大的变化,其中地下开采占我国煤炭资源采出率的 95% 以上。矿产资源的开发、加工和利用,一方面促进了国民经济和社会的发展,另一方面又引起或诱发诸多生态环境和灾害问题。

在各种资源、环境与灾害问题中,地面塌陷及其伴生的一系列问题是对区域可持续发展影响最为严重的问题之一。以往对于地面塌陷的研究主要是从开采沉陷的角度进行,侧重于对其力学机制、动态过程、预测与模型等进行研究,而缺乏从生态环境层面开展研究。我们提出“工矿区陆面演变”的概念,试图从区域生态环境与可持续发展相结合与互动上对地面塌陷及其引发的一系列问题进行系统的分析研究。

工矿区陆面演变突出体现在两个方面:一是地面塌陷的空间扩展与相应的区域土地利用/土地覆盖变化(LUCC);二是塌陷土壤的物理、化学和生物特性变化综合导致土地和土壤质量的变化。相应地对其进行治理和调控也必须从两方面入手:一方面从宏观上监测土地塌陷的现状及演变,另一方面从微观上了解土壤的特性,以便有针对性、科学地进行治理,恢复或改善土壤的质量。

由于工矿区陆面演变的区域性、宏观性、动态性和多样性,对其进行动态监测应充分应用当代先进的科学技术。遥感与数字摄影测量技术无疑是一种有效的手段。同时,对陆面演变进行分析又是一项复杂的系统工程,需要对多源、多类信息进行集成、综合、分析与表达,地理信息系统则是最有效的工具。

本书是我们国家自然科学基金项目“基于遥感和 GIS 的徐淮矿区陆面演变与城乡变迁研究(编号 49871069)”以及教育部博点上点基金项目“卫星遥感矿区应用的关键理论与技术研究(编号 97029005)”和“面向矿业城市生态重建的多源多尺度空间数据集成理论与方法(编号 20010290006)”的支持下开展研究的主要研究成果总结,其中也吸收了国内外学者的部分研究成果。主要内容包括:①工矿区陆面演变的概念及基本问题;②工矿区地面塌陷遥感监测和数字近景摄影测量的原理、技术与方法;③地理信息系统在工矿区陆面演变模拟、预测与分析中的应用;④陆面演变调控中的土地整治技术;⑤陆面演变调控、人居环境优化与可持续发展。本书出版得到国家自然科学基金研究成果专著出版基金资助(编号 40424004)。

在研究过程中,方涛教授、张海荣博士、陈云浩博士、同志刚博士、赵晓虎硕士、唐宏博士等也为项目研究做了大量工作,在此一并表示感谢。

由于作者的水平有限,加之空间信息技术的发展迅速,工矿区资源环境保护问题的复杂性,以及人们对其认识的不断深化,有些研究内容还需并且正在继续深入进行,书中存在问题和谬误之处,敬请读者批评指正。

目 录

前 言

1 绪 论	(1)
1.1 人地系统、人地关系、人居环境与陆面系统	(1)
1.1.1 人地系统	(1)
1.1.2 人地关系	(2)
1.1.3 人居环境	(3)
1.1.4 陆地系统科学与陆面研究	(3)
1.2 相关领域研究的国内外进展	(4)
1.2.1 工矿区及其陆面系统研究进展	(4)
1.2.2 空间信息技术的发展及其应用	(5)
1.2.3 空间信息技术在工矿区应用的进展	(6)
1.3 研究目标、内容及方法	(8)
1.3.1 研究目标与意义	(8)
1.3.2 主要内容与技术方法	(9)
1.4 本章小结	(10)
2 工矿区陆面演变及其基本问题	(11)
2.1 工矿区陆面演变的基本概念	(11)
2.1.1 陆面演变的数学模型和基本特点	(13)
2.1.2 工矿区陆面演变的典型问题	(14)
2.2 工矿区陆面演变的诱导因素与作用机制	(16)
2.2.1 物质基础与影响因子	(16)
2.2.2 工矿区陆面演变的诱导因素与形成机制	(17)
2.2.3 工矿区陆面演变的描述与评价指标	(18)
2.3 工矿区陆面演变对人居环境的影响	(20)
2.3.1 原生问题	(20)
2.3.2 次生问题	(21)
2.3.3 工矿区陆面演变对区域人居环境的影响机制	(22)
2.4 工矿区可持续发展与陆面演变调控	(23)
2.4.1 工矿区可持续发展与陆面系统	(23)
2.4.2 面向工矿区可持续发展的陆面演变调控	(23)
2.5 工矿区陆面演变研究的技术方法	(27)
2.5.1 陆面演变的空间信息获取技术	(27)
2.5.2 陆面属性信息获取方法	(30)
2.5.3 GPS、遥感与GIS的集成应用	(30)
2.6 本章小结	(32)

3 工矿区陆面演变遥感监测与分析	(33)
3.1 工矿区陆面演变的遥感信息机理与遥感应用研究	(33)
3.1.1 工矿区陆面演变的主要形式与遥感可探测性	(33)
3.1.2 卫星遥感应用的优越性	(34)
3.1.3 对卫星遥感信息源的要求及其主要应用目标	(35)
3.2 面向矿区应用的 TM 图像信息特征与波段组合	(36)
3.2.1 TM 图像的信息特征	(36)
3.2.2 波段组合方案的选择	(38)
3.2.3 基于遗传算法 (Genetic Algorithm) 的波段组合确定	(40)
3.2.4 当前 TM 与 ETM 图像的主要应用领域及存在问题	(42)
3.3 基于改进 BPNN 的 TM 图像分类	(42)
3.3.1 遥感图像分类与信息提取技术的最新进展	(42)
3.3.2 人工神经网络及其在遥感图像分类中的应用	(43)
3.3.3 BPNN 及其局限性与改进方法	(44)
3.3.4 基于改进 BPNN 的遥感图像分类	(46)
3.4 GIS 支持下的遥感图像分类研究	(47)
3.4.1 基于 GIS 的遥感图像分类研究进展	(47)
3.4.2 GIS 中的数据获取	(48)
3.4.3 GIS 支持下的分层分类器设计	(48)
3.4.4 基于变化区域识别的方法	(50)
3.4.5 基于知识进行后处理的方法	(50)
3.5 TM 图像中陆面信息的提取	(51)
3.5.1 水体提取	(52)
3.5.2 建设用地提取	(55)
3.5.3 植被与农田提取	(56)
3.5.4 塌陷地的提取	(57)
3.6 RADARSAT 图像中陆面演变信息提取	(59)
3.6.1 RADARSAT 图像滤波	(60)
3.6.2 RADARSAT 图像纹理分析	(66)
3.6.3 RADARSAT 图像中陆面演变信息的提取	(67)
3.7 高光谱遥感在工矿区陆面演变研究中的应用	(69)
3.7.1 高光谱遥感信息获取及其发展	(69)
3.7.2 高光谱遥感信息处理及其发展	(70)
3.7.3 高光谱遥感应用现状	(71)
3.7.4 高光谱遥感在工矿区陆面演变研究的应用	(74)
3.7.5 高光谱遥感应用于工矿区陆面演变研究的若干关键问题	(75)
3.8 高光谱遥感应用中光谱相似性度量的研究	(77)
3.8.1 几何测度	(77)
3.8.2 编码测度	(78)
3.8.3 概率测度	(79)
3.8.4 特征测度	(79)
3.8.5 变换测度	(80)

3.8.6 分析与结论	(81)
3.9 光谱角计算的误差分析与改进算法	(82)
3.9.1 传统算法与误差分析	(83)
3.9.2 几种改进算法	(84)
3.9.3 实例分析	(86)
3.10 本章小结	(87)
4 多源多时相遥感影像融合与陆面演变动态监测	(88)
4.1 多源遥感影像融合	(88)
4.1.1 图像配准	(89)
4.1.2 遥感图像融合算法及其比较	(89)
4.1.3 几种新的融合方法	(91)
4.2 基于小波纹理特征的 SAR 图像与 TM 图像融合	(94)
4.2.1 基于小波分解的 SAR 图像纹理特征	(94)
4.2.2 纹理特征的提取	(95)
4.2.3 SAR 图像与 TM 图像之间的数据融合	(96)
4.2.4 试验分析	(96)
4.2.5 融合图像的定量评价	(97)
4.3 多时相遥感影像融合与工矿区陆面演变动态监测	(98)
4.3.1 遥感动态监测	(98)
4.3.2 多时相遥感图像中的动态监测与分析	(98)
4.3.3 几种新的变化检测方法	(100)
4.4 多时相遥感数据在陆面演变分析中的应用	(101)
4.4.1 基于图像运算的模型	(101)
4.4.2 基于主成分分析的模型	(101)
4.5 遥感数据挖掘与知识发现及其应用	(104)
4.5.1 研究现状	(104)
4.5.2 遥感影像数据挖掘的若干问题	(106)
4.5.3 遥感数据挖掘的框架体系	(109)
4.5.4 遥感数据挖掘在陆面演变研究中的应用	(111)
4.6 本章小结	(112)
5 基于数字近景摄影测量与 GPS 的陆面塌陷监测	(113)
5.1 基于数字近景摄影测量的地面塌陷监测	(113)
5.1.1 塌陷区数字近景摄影测量方案	(113)
5.1.2 塌陷区数字近景摄影测量的外业工作	(114)
5.1.3 地面数字摄影测量影像的内业处理	(116)
5.1.4 塌陷区参数测定	(118)
5.1.5 结论	(119)
5.2 地面塌陷 GPS 监测的若干问题	(119)
5.2.1 矿区地表形变测量中对卫星几何分布的要求	(119)
5.2.2 GPS 点高程计算的多项式拟合法	(120)
5.2.3 GPS 点高程计算的拟合推估方法	(121)
5.2.4 GPS 点高程计算的拟合与相关平差两步法	(122)

5.2.5 算例分析	(122)
5.3 主要成果与结论	(126)
6 基于 GIS 的陆面演变模拟与分析	(127)
6.1 基于 GIS 的工矿区多源信息复合管理	(127)
6.1.1 矿区数据与信息的特点	(127)
6.1.2 数据源与数据采集输入研究	(127)
6.1.3 GIS 对矿区多源多尺度信息的综合管理	(128)
6.1.4 关于矿山空间数据仓库 (MSDW) 的建立	(129)
6.2 GIS 与专业模型的结合及应用	(130)
6.2.1 GIS 与专业模型结合的优越性	(130)
6.2.2 GIS 与专业模型结合的方式	(131)
6.2.3 基于组件技术的 GIS 空间分析模型库开发	(133)
6.2.4 GIS 与专业模型结合在工矿区陆面演变研究中的应用	(134)
6.3 面向工矿区应用的三维数据结构与可视化	(134)
6.3.1 面向工矿区应用的三维数据结构研究	(135)
6.3.2 可视化技术与陆面演变	(138)
6.3.3 基于数字景观模型 (DLM) 的陆面演变可视化与分析	(139)
6.4 GIS 支持下的陆面演变动态分析	(140)
6.4.1 GIS 空间分析功能的应用	(140)
6.4.2 GIS 支持下空间过程动态分析与模拟	(142)
6.4.3 基于扩展二维 GIS 的陆面演变模拟	(144)
6.4.4 GIS 与开采沉陷预测预报模型的结合	(144)
6.5 基于元胞自动机 (CA) 模型的工矿区陆面演变模拟	(145)
6.5.1 元胞自动机 (CA) 模型	(145)
6.5.2 CA 模型和 GIS 的集成	(148)
6.5.3 基于 GIS 和 CA 的工矿区陆面演变模拟	(149)
6.6 GIS 支持下工矿区陆面演变的调控	(151)
6.6.1 GIS 在土地复垦与生态重建中的应用进展	(151)
6.6.2 基于 GIS 的矿山开采与陆面演变环境影响评价 (EIA) 模型	(152)
6.6.3 基于 GIS 的塌陷地治理潜力评价	(152)
6.6.4 基于 GIS 的土地复垦方案模拟与评价	(152)
6.7 本章小结	(153)
7 工矿区陆面演变调控与土地整治利用	(154)
7.1 煤矿塌陷地复垦利用评估	(154)
7.1.1 现状评估	(154)
7.1.2 技术评估	(154)
7.1.3 质量评估	(155)
7.1.4 评估程序	(156)
7.2 煤矿塌陷地复垦利用方案决策与优化	(156)
7.2.1 备选复垦方案简介	(157)
7.2.2 确定复垦方案决策方法	(157)
7.2.3 确定复垦方案决策层次结构模型	(158)

7.2.4 确定复垦方案决策指标权重	(158)
7.2.5 建立复垦方案决策集	(161)
7.2.6 复垦方案决策评判分值的计算	(161)
7.3 煤矿塌陷地复垦前土壤特性演变	(162)
7.3.1 研究方法	(162)
7.3.2 土壤物理特性演变分析	(163)
7.3.3 土壤化学特性演变分析	(166)
7.4 煤矿塌陷地复垦后土壤特性演变	(170)
7.4.1 研究地点概况与研究方法	(171)
7.4.2 土壤物理特性演变分析	(171)
7.4.3 复垦土壤化学特性演变分析	(174)
7.5 工矿区土地可持续利用措施	(177)
7.5.1 工矿区土地可持续利用目标	(178)
7.5.2 工矿区土地可持续利用原则	(178)
7.5.3 工矿区土地可持续利用措施	(178)
7.6 工矿区陆面演变监测与调控决策支持系统的设计与实现	(184)
7.6.1 空间决策支持系统 (SDSS)	(184)
7.6.2 工矿区陆面演变监测与调控决策支持系统的研建	(185)
7.7 陆面演变调控与人居环境优化——以工矿城市徐州为例	(187)
7.7.1 资源衰竭型工矿城市的发展	(187)
7.7.2 再城市化过程中空间信息技术的应用	(189)
7.7.3 再城市化过程中的陆面演变调控与人居环境优化	(191)
7.8 本章小结	(194)
8 结论与展望	(195)
参考文献	(197)

1 绪 论

人类对自然资源的过度开采与生态环境的严重污染,直接导致人地关系恶化,引起人居环境质量下降,资源与环境问题已成为人类社会发展的限制因素。面对日益严重的人口、资源、环境、灾害问题,可持续发展战略已成为全人类共同的呼声。对可持续发展的研究可分为全球尺度和区域尺度,陈述彭院士(1996)称其为“顶天”和“立地”,前者主要关注全球变化,后者则从区域的观点研究问题。无论是从全球尺度还是区域尺度,对人地系统、人地关系、人居环境的研究都是其中的基本问题,尤其在几年到几十年的时间尺度上,人类对自然环境的作用是区域演变的主要影响因素,而人类作用又主要是通过陆地表面(陆面)来实施的。陆面作为生物圈、岩石圈、大气圈等圈层的界面,其间不断发生着复杂的物理、化学和生物过程。本章从人地系统、人地关系、人居环境的研究入手,总结相关领域的研究成果,以此为基础提出陆面研究的意义,并对工矿区这一典型区域的相关研究进行总结归纳,系统分析国内外在空间信息技术用于陆面研究方面的成果。

1.1 人地系统、人地关系、人居环境与陆面系统

1.1.1 人地系统

人地系统是由人类社会系统与地球表层系统相互作用构成的,其中各种因素相互关联,表现为人与资源、人与环境、人与灾害、发展与能源、发展与环境等多种形式,存在的问题集中反映为人口增长、资源短缺、生态破坏、环境污染、能源危机等。人地系统具有高阶次、多回路、非线性以及子系统数量巨大、类别繁多、多重反馈、结构复杂等特征,是介于自然系统与人工系统之间的一类特殊系统,存在系统自组织现象,是“有人参与的、开放的复杂巨系统”,是一种耗散结构、非平衡有序结构。人地系统的复杂性主要体现在:多层次性、强区域性、开放性、动态性和耗散性、人地相互作用过程的多样性、多类别、多要素、非线性和多维数、具有一定的学习能力和自组织特性(杨国安等,2002)。人地系统具有自然和社会的二重性,其结构和层次又具有时空动态特征。人地系统中存在着两种互相影响的作用,即人对地的作用和地对人的作用。人口是地理空间中最活跃的因素,它对地理环境的意义是双重的,其一,人口构成地理景观,并有自身的运动规律;其二,人口运动过程对地理景观起干扰甚至控制作用(陈报章^①,1999;王黎明,1998)。

人口增长和技术发展决定了人类社会系统的演进,地球内部驱动(放射性和内部深

^① 陈报章,人地系统动力学演变的研究——以江苏徐淮地区为例,中国矿业大学博士论文,1999。

处原生热)和太阳驱动导致了地球表层的演变,人类作用又影响了自然过程的进行,共同制约着人地系统的演化,人地系统的演化具有混沌特性和逻辑斯蒂特性。对人地系统相互作用的动态可以得出如下结论:①人地系统相互作用动态集中表现在一系列土地利用/土地覆盖动态变化过程即宏观陆面演变中;②人地系统相互作用动态可以概括为三种方式:一是在波动中由一种特征渐渐趋向于另一种特征;二是在波动中没有明显的趋向性,即类似一种振荡现象;三是在波动中显示出明显的突变现象,如各种突发性自然灾害的发生与发展,分别称为人地系统相互作用动态的“渐变”、“振荡”与“突变”;③充分利用各种对地观测技术、地面定位站点观测记录,建立表达区域人地系统相互作用的动态特征数据非常必要。遥感、GIS与GPS即空间信息技术的应用为人地系统动力学的研究创造了前所未有的条件(史培军,1997)。

研究人地系统应采用综合和系统的观念、地域和层次观念,以系统要素相互作用机制和演化趋势为研究主题,通过模型建立与模拟、人地系统内部作用量参数研究、复合要素之间的函数关系、综合集成研究方法、人类影响干预“人地关系地域系统”的政策及其效应研究等途径,加强人地系统的理论与方法研究(陆大道,2002)。同时,在区域尺度开展人地系统研究,将人地系统演化与区域可持续发展决策结合,也成为当前研究的重要方向之一。

1.1.2 人地关系

在人地系统中存在着各种复杂的相互关系,最基本的就是人地关系(王劲峰,1995;刘继生等,2002)。人地关系是在人与自然环境相互作用过程中形成的特殊的复杂关系,是区域可持续发展的三大关系之一,协调人地关系是可持续发展的内在要求,也是协调人口、资源、环境三者关系的实质所在。人地关系具有多重性、异时相关性、异地相关性、人类主动性、动态性与多重决定性等,其基本原理包括土地承载力限制与超越原理、人地关系地域关联互动原理。人地关系的形成既受控于区域自然地理条件,又受各种社会经济、人类思维因素等的影响。人地关系演变的基本趋势包括:人地关系主客体同一化、地域一体化、高层次化、深层次化、主体拓展化、演变加剧化等,其规律则包括人地渗透律、人地矛盾律、人地互动律、人地作用加速律、人地关系不平衡律等。当前对一些典型区域人地关系的研究得到了较多的重视,如澳门、贵州岩溶区、青藏高原、华北平原、江汉平原、黄土高原等的人地关系演进及其调控等。国家自然科学基金委员会重大研究计划“中国西部环境和生态科学研究计划”围绕“西部环境系统的演化及未来趋势”、“水循环过程与水资源可持续利用”、“生态系统过程与调控”和“人类活动与环境”4大研究主题展开研究,将多重胁迫下典型生态系统受损与重建机理、人类活动对地表环境和生态系统的影响及其控制原理与技术、土地利用/土地覆被变化环境效应的评估模型等作为优先资助方向。在重大研究计划“全球变化与区域响应”中将关键区域生态过程与生态安全及其对全球变化的响应与反馈包括生源要素的生物地球化学过程与关键地区生态系统对全球变化的响应、关键地区生态系统生产力的时空格局、发展趋势与生态环境变化的人文因素影响,以及全球变化及其区域响应基于物理、数学问题开展研究,都体现了当前人地关系研究的研究重点。

1.1.3 人居环境

作为人地关系的发生载体、演变平台,人居环境的研究近年来得到了很大的重视,并引起不同学科领域研究人员的注意。人居环境学(也称人类聚居环境学)是研究人与其生存环境相互关系的科学,包括地下人居环境学、地表人居环境学、方位人居环境学、营建人居环境学四个分支。人居环境研究的基本原理包括土地与人口、经济发展相关规律,建筑布局平衡规律,环境与人体对应规律,地形与地下物质相关规律(安光义等,1997)。目前对人居环境的研究主要集中在营建人居环境学方向,从城市规划与建筑设计入手开展相关研究,随着研究深度和广度的拓展,对于地表人居环境学的研究将会进一步与土地关系、人地系统结合,从而实现不同尺度对人居环境的研究。更进一步,有学者从人居环境学、土地关系、人类聚居学等综合的角度,提出了“人居地理学”的研究领域(廖亦眉等,2004)。

人居环境随区域资源开发、环境演变、人类活动的进行而处在不断的演变之中,这种演变往往具有双面性,即一方面人类在努力发展科学技术,加强生产能力,创造更好的生活环境;另一方面却在对环境进行着持续的、甚至是恶意的破坏,在获得新胜利的同时又引发了新问题。其中,对人居陆面环境的破坏是最为明显的,直接影响区域可持续发展。改善和优化人居环境需要从生态环境、居住条件、生活设施等方面进行,其中陆面环境调控是最主要的。针对不同地区人居环境存在的问题与特点,已有学者对植被景观与人居环境、岩溶区人居环境优化等问题进行了探讨。“生态城市”、“智能大厦”、“数字小区”、“绿色城市”等都是对人居环境进行重建、改善的设想,并正在逐步得到实现,但对于矿区这一特殊的地理区域人居环境的研究,尚未引起足够的重视。

信息技术特别是空间信息技术将在人居环境建设中发挥重要作用,“数字城市”的建设是优化人居环境重要的技术支持和发展机遇,遥感信息融合、地理信息系统等都已初步在人居环境研究中得到了应用(吴良镛等,2002;党安荣等,2000a,2000b)。

目前人居环境研究正在与科学发展观相结合、与和谐社会建设以及“和谐城市”(如徐州市提出的建设“和谐新徐州”)等结合,成为落实科学发展观、建设和谐社会重要的组成部分(高中贵等,2004;林玉锁,2004)。

1.1.4 陆地系统科学与陆面研究

地球系统科学是可持续发展战略的科学基础,当前应主要开展陆地系统科学的研究。(黄秉维,1996a,1996b)。陆地系统科学也是区域可持续发展研究的基本切入点,其研究对象是整个陆地系统,它的空间范畴比较明晰,横向为所见的陆地(包括岛屿),纵向上限为对流层顶(大约8~10 km)、下限为岩石圈顶部(大约5~6 km)。在现阶段陆地系统科学至少要关注6个重大科学问题,即陆地系统自然过程和人文过程问题,陆地系统演化驱动力过程,资源环境定量测度问题,区域可持续发展的科学基础问题,人类活动影响和响应问题,机制和预测问题,其优先研究领域则至少应包括:陆地系统历史演化、陆面生物地球化学循环、海—陆—气相互作用、区域综合划分和区域分异规律、土地利用和土地覆盖变化、可更新能源利用、资源环境定量化测度及重要资源保护、环境变化情景与农业生产、环境变化与人类安全、人类适应环境变化的对策等10个领域(葛全胜等,

1999)。

地球表层学是由钱学森先生提出的，它与地球系统科学的提出在本质上是是一致的(黄秉维, 1996a; 钱学森, 1991)。地球表层是指地球上大气圈、水圈、岩石圈、生物圈相互接触、渗透的部分，也是人类生存与活动直接影响的部分。太阳辐射是地球表层的主要能源，地球表层是从属于太阳辐射能的耗散结构，它的范围，也就是太阳能在地球作用的部分。进化是地球表层作为耗散结构最主要的特征，进化规律是地球表层最基本的规律(浦汉昕, 1994)。

在陆地系统中则首先必然是直接与人类进行交互作用的界面研究——陆面研究。陆面过程(LSP)是指发生在地表控制地气之间水分、热量和动量交换的那些过程，包括地面上的热力过程、水文过程和生物过程，地气间的能量和物质交换以及地面以下土壤中的热传导和水热传输过程等。当前陆面过程的研究主要是对地表水热交换、地面生物化学活动及物质和能量循环方面的研究，如陆面过程的模式与观测，典型地区陆面过程的试验与地气相互作用(王介民, 1999)、陆地生态系统及其与气候相互作用的模型与机制、陆面过程对大气的影响和陆面生态模型、陆地表层碳循环模型、非均匀陆面上的区域蒸发过程、地表面物理过程与生物化学过程及耦合反馈机制等。这些研究主要面向物理、化学和生物过程，而且强调陆面状态的改变将影响这些陆面过程的进行。因此，从人地系统和地理科学的角度对陆面演变的研究将为陆面过程的动态分析与模拟提供基础。



图 1-1 从人地系统到陆面研究的金字塔结构

遥感数据已经成为陆面研究最重要的数据来源，以遥感、GIS、GPS 技术为核心的空间信息技术将在陆面研究中获得更广泛的应用(徐冠华等, 1996a, 1996b; J. C. Hinton, 1996)。

从人地系统、人地关系，到人居环境，再到陆面研究是从宏观到微观的发展，是在空间尺度上的缩小和细化，可用图1-1所示的金字塔结构表示。因此对人与陆面相互作用和陆面演变进行研究是人地系统优化与人地关系调控的基础。

1.2 相关领域研究的国内外进展

尽管当前对人地系统、人地关系、人居环境及陆面过程及其演变的研究取得了较大的进展，但对工矿区这一特殊的地理区域来说，相关的研究仍偏少，尤其是缺乏系统的研究。

1.2.1 工矿区及其陆面系统研究进展

1.2.1.1 工矿区及其存在的问题

工矿区是指以矿物开采、加工为主导产业发展起来，从而使人口聚集在一起的特殊社区，是一种特定地理范围内的社会群体所在的区域，具有空间的有限性和不连续性，如同村落、乡镇、城市一样，并有其自身的特点。工矿区具有空间功能、集聚功能、连接功能

和传播功能,其属性包括社会性、地域性、体系性和互动性(李堂军,2000)^①。

当前我国工矿区普遍存在严重的生态环境问题,主要包括:①大气污染;②水污染与水系破坏;③资源浪费;④地面沉陷与地质灾害;⑤地表生态系统破坏与水土流失;⑥矸石山占地;⑦生态系统紊乱;⑧影响区域微气候及生化过程(虎维岳,1998;韦朝阳等,1997;张永波等,1999;何书金等,2000;尹德涛等,2004)。这些问题都与矿区的陆面演变过程密切相关。

为了解决矿区存在的社会、经济与生态问题,矿区可持续发展、煤炭工业可持续发展近年来已成为可持续发展、矿业科学领域研究的热点问题,并在理论、政策、技术等方面取得了较多研究成果^①。

1.2.1.2 工矿区陆面研究的进展

陆面过程是一种动态时空演变过程,在以资源开采为主要原动力的工矿区,陆面演变呈现出复杂、动态的性质,即矿区非均匀陆面演变。当前关于工矿区陆面的研究主要体现在不同学科、不同方向的研究上,包括:

(1)以陆面系统的构成、特点为研究对象:主要是从地理学、区域科学的角度,将工矿区作为一种特殊的地理区域,对其定义、构成进行分析,探讨区域人地系统的构型、人地关系的形成与发展,研究资源承载力、环境承载力等因素,为区域规划等提供基础;

(2)工矿区陆面演变(包括地面塌陷以及由此引发的资源与环境问题)的动力与诱导机制:主要是开采沉陷、矿山生态环境领域的研究。地面塌陷是工矿区陆面演变的主要形式,也是破坏人地系统和人居环境的根本原因。工矿区地面塌陷主要是以矿产开采为原动力的开采沉陷,还包括过度采水导致的地面沉降及岩溶塌陷等。利用开采沉陷理论和流体力学理论,可以对采煤塌陷地的动态演变机制和规律进行描述(何国清等,1994;方创琳等,1998)。塌陷与生态、灾害及塌陷防治方面的研究也取得了较多的成果(纪万斌等,1996)。

(3)陆面演变对人居环境的影响与可持续发展:主要是从开采沉陷的环境影响评价方面进行研究,包括对水环境、生态环境、建筑物、生活设施的影响及评价与预测方法。

(4)土地复垦与生态重建:土地复垦与生态重建是通过人类活动影响陆面演变过程、从而实施调节,是在陆面演变中人类积极活动的形式。生物复垦应引起更多的重视,特别是随着“白色农业”、“三色农业”的兴起,生物复垦将有更广阔的应用前景。

(5)工矿区(或矿业城市)的规划与建设:工矿区的土地开发与利用、城市规划与建设有其特殊性,在矿业城市“再城市化”、产业结构与经济布局调整时,需要充分考虑土地资源合理配置、陆面空间合理布局的问题。

1.2.2 空间信息技术的发展及其应用

空间信息技术的核心和主体是遥感、地理信息系统和全球定位系统,即“3S”及其集成技术,这是全球与区域可持续发展的核心问题(徐冠华,1996b)。近年来,空间信息技术的应用得到了空前的发展,应用深度、广度都得到了很大的加强,已成为研究区域

^① 李堂军. 矿区可持续发展动态分析与适应性对策, 中国矿业大学博士论文, 2000。

发展、地球系统、地理环境问题的基本工具。在空间信息技术的应用中,“3S”技术的集成是发展方向和核心问题,在这种集成系统中, GPS 主要用于实时快速定位, RS 用于实时或准实时地获取目标及其环境的信息,及时对 GIS 进行数据更新, GIS 则是对多源时空数据进行综合处理、集成管理、动态存取,作为新的集成系统的基础平台,并为智能化数据采集提供地学知识(李德仁等,2000)。以“3S”及其集成技术为核心,在计算机技术、通信技术和网络技术的支持下,正在形成一门新的学科——地球空间信息科学。空间信息技术在陆面研究中的应用主要体现在以下几方面。

1.2.2.1 用于土地资源的监测与管理

将“3S”及其集成技术用于土地资源的监测和管理已得到广泛开展,主要包括土地资源调查、土地动态监测、土地利用/土地覆盖研究、土地“三化”监测、土壤侵蚀程度分级制图等(A. T. Cialilla et al., 1997; Jacek S. Blaszczyński, 1997; Magaly Koch et al., 1998; J. E. Vogelmann et al., 1998; 刘卫国等, 1998; 刘纪远等, 1998; 史培军等, 1996, 2000; 陈述彭等, 1994)。

1.2.2.2 用于陆面灾害监测

陆面是人类直接生活的场所,也是各种灾害频繁发生的场所。随着“国际减轻自然灾害 10 年”的实施,遥感和 GIS 应用于灾害监测方面取得了累累硕果,为防灾救灾、灾情预报、损失评估、指挥决策等作出了较大的贡献。空间信息技术在雪灾、洪灾、火灾、旱灾、环境地质灾害、地震等灾害的动态监测与治理决策中均发挥着重要的作用(Vincent G. Ambrosia et al., 1998; P. Gamba et al., 1994; 史培军等, 1996)。

1.2.2.3 用于农业生产

空间信息技术在农业的应用包括农业资源调查、评价、监测与保护,农业灾害预报、监测和评估中,农作物生长动态监测与估产、精细农业等(承继成, 2004)。

1.2.2.4 用于城市与区域规划管理

将空间信息技术用于城市、区域建设规划和管理已有 30 多年,国内外许多城市均进行了遥感调查和城市地理信息系统(UGIS)的建设。重庆市、上海市、广州市、北京市等均进行了城市遥感、城市地理信息系统等空间信息技术应用工作。空间信息技术的具体应用包括城市扩展监测、环境监测、决策支持、城市规划等方面(A. Y. Kwateng et al., 1998; 戴昌达等, 1995; 范作江等, 1997; 顾朝林等, 2002; 承继成等, 2003)。

人居环境作为城市与区域中人类生存与发展的基础,也是空间信息技术的主要应用领域(Floyd M. Henderson et al., 1997; 党安荣等, 2000a, 2000b; 陈崇成等, 2000; 吴良镛等, 2002)。

此外,空间信息技术在陆面地气过程研究中也正在发挥着日益重大的作用,如 GPS 在气象领域的应用有利于研究陆面气候过程、遥感信息则是陆面过程研究最主要的信息来源。无疑,空间信息技术将是陆面研究的主要技术支持。

1.2.3 空间信息技术在工矿区应用的进展

工矿区是资源和环境问题十分突出的区域,国内外在遥感、GPS 和 GIS 的工矿区应用方面都做了一些研究工作。

1.2.3.1 遥感矿区应用及其进展

在工矿区的遥感应用中,早期更多的是运用航空遥感,卫星遥感的应用尚处在开拓、发展阶段。遥感技术在工矿区的应用主要包括遥感找矿、基于遥感的矿区环境监测与生态要素调查、土地利用现状遥感调查、矿区测图、空间语义与非语义信息获取等。这方面的应用既具有与一般区域应用相类似的共性,又具有明显的地域特色,特别是应针对矿区的具体问题进行研究。其中矿区生态环境、地面塌陷以及矿区土地利用监测是遥感应用的主要方面。

针对矿区生态环境监测与土地利用动态变化分析的需求,陈龙乾(2003b)以 Landsat TM 影像为数据源,通过多时相遥感影像对矿区土地演变进行了分析研究;雷丽卿等(2002)利用 TM 影像对山东肥城矿区大气污染、水体污染与植被等信息进行了提取与分析;胡振琪等(2005)则对草原露天矿区土地沙化进行了遥感分析;盛业华等(2001)开展了矿区土地利用现状遥感调查、矿区大气污染遥感综合分析、矿区地面塌陷遥感分析、矿区固体废弃物分布遥感调查、矿区水环境遥感监测、矿区植被分布遥感调查与矿区建筑物分布遥感分析等方面的研究,但所使用的遥感信息源以航空遥感影像为主;陈华丽等(2004)以湖北大冶矿区为例,对生态环境动态遥感监测方法进行了研究。针对矿山塌陷地遥感监测,彭苏萍等(2002)利用多时相 TM 数据,通过多时相混合数据集主成分变换,研究了淮南矿区积水塌陷地的动态变化情况。

随着遥感技术的发展,遥感在矿区的应用领域正在逐步拓展,INSAR 技术应用于矿区地面塌陷监测、高光谱遥感影像应用于矿区污染分析等方面的研究正在受到重视。

1.2.3.2 GIS 矿区应用及其进展

GIS 在矿山应用称为矿山地理信息系统,目前的研究主要集中在系统建立、数据标准、空间分析模型、数据结构、关键技术、基本内容、基本应用等方面,从不同领域、不同尺度得出了一些有意义的成果,提出了 MGIS 的基本内容、关键技术、建设策略及相关的技术问题(盛业华等,2001),研究了矿业 GIS 开发中的矿图数据库、构件化技术等问题,开拓了 GIS 在矿区的应用领域,包括多源信息复合管理、塌陷区管理、空间数据库建立、矿产资源评价和决策支持、矿图更新与管理、生产过程模拟与可视化、矿井生产管理、矿井火灾事故预测、矿井规划与设计等,对 3D MGIS 及其数据结构、可视化等进行了一些初步的探讨(盛业华等,2001;陈云浩等,1998)。

近年来,随着 GIS 在矿区应用的发展,已有一些针对矿区特色的应用型地理信息系统投入使用,如 Titan MGIS、龙软煤矿地测空间管理信息系统等。

从当前发展来看,地理信息系统在矿山的应用主要存在以下一些问题:

- (1) 矿山多主题、多源数据的清理与集成。
- (2) 三维动态问题。
- (3) GIS 与矿山领域专业模型的集成应用。
- (4) 不确定性问题。
- (5) 应用系统开发与推广。

1.2.3.3 GPS 矿区应用及其进展

GPS 在矿区的应用主要是矿区地面定位与测量工作,主要包括:矿区控制网改造、矿

区地面工程测量、矿区地表塌陷监测、大地水准面反演、变形监测等（盛业华等，2001）。

1.2.3.4 3S 集成技术矿区应用

随着“3S”技术及其集成应用的发展，面向矿区应用的“3S”集成技术也得到了研究人员的重视，在矿区地表变形分析、矿区生态环境监测分析、矿产资源优化开发利用等方面都已开展了初步研究，为进一步发展奠定了基础。今后空间信息技术在矿山的应用将向集成化、智能化、网络化的方向发展。

1.2.3.5 数字矿区与数字矿山

“数字矿区”是“数字地球”和“数字区域”在矿区层次的区域维实现。“数字矿区”在实现过程中，既要考虑到区域特点，同时还要充分考虑矿区（矿业城市）所具有的行业和产业特点。“数字矿山”则是“数字地球”和“数字行业”在产业维、企业维的实现，通过将企业生产与管理的相关背景信息进行数字化管理，实现信息化矿山。中国科学技术协会青年科学家论坛 2004 年围绕数字矿山开展专题学术活动，从多学科视角对数字矿山的概念、体系、内涵、建设与应用等开展了深入全面的探讨，并将数字矿山建设与矿区可持续发展、绿色开采、资源优化利用等结合，提出了相关的研究构想。

总体来看，空间信息技术在矿山、矿区和矿业领域具有广泛的应用，是实现矿山信息化、提升矿业科技含量、促进矿区可持续发展的重要技术支持。

综合以上国内外在相关领域的研究成果可以看出：

（1）陆面研究是陆地系统科学、地球系统科学研究的基础与主要方向之一，也是人地系统、人地关系与人居环境研究的基础，当前对陆面的研究主要集中在陆面过程方面，而从多学科交叉的角度对全球、区域陆面的时空演变进行研究，尚在起步阶段。

（2）空间信息技术已成为可持续发展的基础技术支持，在陆面资源管理、环境监测、城市管理、决策支持、灾害防治等方面都有广阔的应用前景。相对一般城市与区域，空间信息技术在工矿区的应用处于滞后状态，应当进行深入研究。

（3）就工矿区而言，陆面演变是在资源开采原动力作用下，人地相互作用而形成的影响区域人居环境最为严重的问题，主要形式是地面塌陷及其引发的衍生问题，涉及到不同的部门和学科，具有明显的地域性，有必要、而且完全可能在空间信息技术的支持下展开全面研究，为工矿区可持续发展能力建设提供支持。

（4）遥感、GPS 和 GIS 及其集成综合应用是解决实际问题的有效方式，工矿区陆面演变是地面塌陷、区域土地利用、土地利用/覆盖变化、城市及村镇建设与发展、人类活动、自然过程影响的综合反映，必须充分利用现代空间信息技术的优越性，这既是学科发展的推动力，也是科学研究和工程实践的要求。

1.3 研究目标、内容及方法

1.3.1 研究目标与意义

在国家自然科学基金项目“基于遥感和 GIS 的徐淮矿区陆面演变及城乡变迁研究”