



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



工矿区环境动态监测 与分析研究

盛业华 郭达志 张书毕 杜培军 著



地质出版社



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



工矿区环境动态监测 与分析研究

盛业华 郭达志 张书毕 杜培军 著

地质出版社

内 容 简 介

本书主要介绍矿产资源开发对区域环境的影响,地球信息科学与工矿区环境保护,遥感技术在工矿区环境保护中的应用,卫星定位技术在工矿区环境灾害监测中的应用,矿区岩溶陷落柱的综合探测技术,矿区资源环境信息系统及其应用,矿区环境灾害的数理分析与模拟,工矿区环境质量的分析评价和环境调控。

本书可供从事工矿区(城市)环境监测和保护工作的教学、科研、管理及工程技术人员阅读,也可供大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工矿区环境动态监测与分析研究/盛业华等著.-北京:地质出版社,2001.6

ISBN 7-116-03420-X

I.工… II.盛… III.①工矿区-环境监测②工矿区-环境保护-技术 IV.X322

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第030203号

责任编辑:陈军中 王明超 张 雷

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路29号,100083

电 话:82324574(编辑部),82324508(邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:010-82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787×1092¹/₁₆

印 张:11.875

字 数:270千字

印 数:1—800册

版 次:2001年6月北京第一版·第一次印刷

定 价:25.00元

ISBN 7-116-03420-X/T·93



(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

我国 95 % 的能源和 80 % 的工业原料依赖于矿产资源，矿产资源是保证我国经济可持续发展的重要物质基础。煤炭在我国总能源中的比例约占 75 %。矿产资源尤其是煤炭资源的大规模开发、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灾害，如大量占用和破坏耕地；使平原变成高低不平的塌陷区；造成地表和地下水位下降、含水层枯竭、井泉干涸；煤炭开采、洗选、储存、运输过程中产生的大量废气、废水、废渣给矿区带来严重的“三废”污染等。这些环境问题已成为严重影响矿区社会、经济健康发展的制约因素。如今，人们已逐渐认识到过去那种以环境污染为代价的经济发展模式已成为自身发展的桎梏，只有走人与自然协调发展的道路，才能实现社会可持续发展。因此，在矿产资源开发过程中要重视和加强矿区环境灾害问题的科学研究，合理开发利用矿产、土地、水等自然资源，研究和推行合理的资源开发方式，保护环境，实现区域社会经济与生态环境的协调发展。

在研究、监测、预测、预防和治理矿区环境灾害问题时，要深刻了解并针对其特点：矿产资源的开发、加工和储运是产生环境灾害问题的原动力或诱发因素；区域的地质、地形和地貌条件是重要影响或制约因素；工矿区具有多层空间的动态时空特性。因此，工矿区的环境灾害问题在产生原因、表现形式、影响范围、监测、预防和治理的理论及技术等方面具有特殊性、复杂性和多样性等特点。传统的工矿区环境监测手段比较单一，对环境信息的加工利用远远落后于环境保护的要求，信息技术的落后限制了人们对环境调控的能力。也就是说，必须把环境科学与空间信息科学等先进的科学技术手段结合起来，实现工矿区生态环境的有效调控和治理。

空间信息科学（Spatial Informatics）是在全球定位系统（GPS）、遥感（RS）、地理信息系统（GIS）和互联网（Internet）等现代信息技术的发展及其相互之间渗透的基础上，逐渐形成的以地理信息系统为核心的集成化系统。它为研究全球变化、区域环境保护和可持续发展提供了强有力的科技手段，也为矿区或工矿城市物流、能流、人流和信息流的获取与调控提供了有效的保证。如何将空间信息技术——空间对地观测和空间信息系统技术，结合其他多种科技手段应用于工矿区的环境保护工作中，还有许多复杂的理论、技术方法和应用难题需要研究。

近些年来，我们在国家自然科学基金委员会的资助下，在一些矿山企业的大力支持和帮助下，完成了国家自然科学基金项目“矿区环境及灾害动态综合监测与调控系统的基础研究”（编号：59478013），在这一领域做了一些探索性的研究工作。本书是对这方面研究成果的初步总结，其中也吸收了国内外学者的部分研究成果。主要研究内容包括：①工矿区环境、灾害问题的主要类型、主要影响因素和特点；②地球信息科学的内涵，发展现状及其在矿区环境和灾害监测、预防、调控中应用的优越性和工作模式；③遥感技术在工矿区应用的主要内容、工作方法，工矿区特殊地形、地物和环境的遥感信息机理、图像解释

和信息提取、复合处理、输出的理论及技术方法；④卫星全球定位技术在矿区应用的优越性、主要领域，针对实际条件在应用中需要注意的问题，以及需要解决的理论、数据处理和技术方法问题；⑤遥感、综合地球物理探测技术（磁法、电法、地震、重力等）及地理信息系统技术在岩溶陷落柱等典型矿山地质环境研究的理论、技术方法及多学科配合；⑥矿区资源环境信息系统在工矿区资源环境系统调控中的作用，信息系统研建和应用中的有关理论、算法模型、数据输入、处理、分析及技术方法；⑦工矿区环境影响的非线性特性、数理模拟及分析评价的有关内容和方法；⑧工矿区环境评价方法、环境调控措施和对策。

限于我们的水平，加上空间信息科学正在不断地发展，以及矿区环境灾害问题的复杂性、多样性和差异性，有关研究工作仍在继续深入进行，因此，本书难免存在不足，敬请读者批评指正。

本书的出版得到国家自然科学基金的大力支持和成果出版基金的资助，在此表示衷心的感谢。原申请出版的书名是“矿区环境灾害动态监测与分析评价”，根据评审专家提出的意见，现将书名做了一些小改动，特此说明。此外，在多年的研究中，金学林教授、韩国建副教授、方涛博士、胡明星博士、陈云浩博士、周廷刚博士、范爱民博士等也为本项目的完成做出了许多贡献，在此一并表示衷心的感谢。

著 者

2000. 9. 10

目 录

前 言

1 矿产资源开发对区域环境的影响	(1)
1.1 对自然生态环境的影响	(1)
1.1.1 对土地资源和景观的影响	(1)
1.1.2 “三废”污染	(2)
1.1.3 破坏水资源,造成水土流失	(3)
1.1.4 矿山动力地质、环境地质问题	(3)
1.1.5 噪声和振动污染	(3)
1.2 对社会经济系统的影响	(4)
2 地球信息科学与工矿区环境保护	(5)
2.1 地球信息科学及其在矿区环境保护中应用的优越性	(5)
2.1.1 遥感技术	(6)
2.1.2 GIS 技术	(6)
2.1.3 GPS 技术	(7)
2.2 工作模式	(8)
3 遥感技术在工矿区环境保护中的应用	(9)
3.1 遥感技术与环境	(9)
3.2 工矿区的生态环境特点和遥感研究的基本技术方法	(10)
3.2.1 航空遥感综合调查	(11)
3.2.2 遥感图像质量评价	(13)
3.3 土地利用现状遥感研究	(13)
3.3.1 工矿区土地利用类型划分原则和类型	(14)
3.3.2 土地利用现状的图像解译与制图	(14)
3.3.3 工矿区土地利用现状的分析研究	(18)
3.4 大气污染的遥感综合分析评价	(19)
3.4.1 大气污染的常规监测和分析	(19)
3.4.2 地物反射光谱测试与大气污染强度分析	(20)
3.4.3 遥感图像的大气环境质量分析	(21)
3.5 热红外遥感与热污染	(23)
3.5.1 热污染的卫星遥感测定	(23)
3.5.2 热污染的航空热红外遥感测定	(24)
3.5.3 地面热场分析及其对大气污染的影响	(26)
3.6 矿区地表塌陷的遥感研究	(28)
3.7 工矿区固体废弃物分布状况的遥感调查分析	(30)
3.8 工矿区水环境的遥感调查	(31)

3.9 工矿区植被分布与覆盖率的遥感调查研究	(31)
3.9.1 调查方法	(32)
3.9.2 图像预处理	(32)
3.9.3 植被信息提取	(35)
3.9.4 植被自动分类	(36)
3.9.5 植被覆盖率的量算与制图	(37)
3.10 工矿城市建筑物分布现状的遥感调查	(38)
3.10.1 建筑物分类体系与调查方法	(38)
3.10.2 遥感图像解译	(39)
3.10.3 建筑类型分布图的绘制与评价	(40)
4 卫星定位技术在矿区环境灾害监测中的应用	(42)
4.1 卫星定位系统的发展	(42)
4.2 卫星定位系统的应用特点	(43)
4.2.1 接收机技术的发展特点	(43)
4.2.2 卫星定位和导航技术的应用特点	(44)
4.3 卫星定位技术在工矿区应用中的若干问题	(45)
4.3.1 起算点坐标精度的影响和 GPS 网的约束平差问题	(45)
4.3.2 不同类型 GPS 接收机联合作业	(48)
4.3.3 GPS 高程测量精度的保证	(49)
4.3.4 多径误差影响	(49)
4.3.5 气象参数的影响	(50)
4.3.6 关于 GPS + GLONASS 测量模式	(50)
5 矿区岩溶陷落柱的综合探测技术	(51)
5.1 岩溶陷落柱的形成条件与发育分布特征	(52)
5.1.1 岩溶陷落柱的形态与结构	(52)
5.1.2 岩溶陷落柱形成的地质条件	(52)
5.1.3 岩溶陷落柱的发育与分布规律	(54)
5.2 岩溶陷落柱的地球物理特性	(54)
5.2.1 电性	(54)
5.2.2 磁性	(55)
5.2.3 密度与弹性波速度	(55)
5.3 岩溶陷落柱异常区的综合探测技术	(55)
5.3.1 凤凰山井田区域地质概况	(55)
5.3.2 岩溶陷落柱发育分布的地质构造分析	(56)
5.3.3 遥感信息在岩溶陷落柱分布预测中的应用	(58)
5.3.4 地理信息系统辅助下陷落柱异常区的多源信息复合与预测分析	(60)
5.4 岩溶陷落柱地球物理探测技术原理	(61)
5.4.1 高精度磁法勘探	(61)
5.4.2 联合三极测深剖面法	(61)
5.4.3 单极偶极测深法 (固定点源测深法)	(62)
5.4.4 高密度电阻率法	(62)
5.4.5 高精度重力勘探	(62)

5.4.6 地震方法与技术	(63)
5.5 已知陷落柱的地球物理勘探试验	(64)
5.5.1 物探方法的选择及依据	(65)
5.5.2 试验测线及测网布置	(65)
5.5.3 陷落柱磁异常特征与分析	(65)
5.5.4 陷落柱重力异常特征	(66)
5.5.5 联合三极测深剖面法探测结果分析	(68)
5.5.6 高密度电阻率法探测结果与分析	(69)
5.5.7 双侧单极偶极法探测结果与分析	(69)
5.5.8 垂向电测深法探测结果与分析	(72)
5.5.9 中间梯度法探测结果与分析	(72)
5.5.10 陷落柱地震法探测结果与分析	(72)
5.6 岩溶陷落柱异常区地球物理勘探	(74)
5.7 结论和展望	(75)
6 矿区资源环境信息系统及其应用	(77)
6.1 矿区资源环境信息系统的特点和基本功能	(77)
6.1.1 矿区资源环境信息系统的特点	(77)
6.1.2 矿区资源环境信息系统的基本功能	(78)
6.2 矿区资源环境信息系统空间数据标准化与分类体系	(80)
6.3 矿区资源环境信息系统数据库的特性和系统建立	(85)
6.3.1 矿区资源环境信息系统的构成	(86)
6.3.2 矿区资源环境信息系统数据的特性	(87)
6.3.3 矿区资源环境信息系统的建立	(88)
6.4 矿图扫描数字化技术研究	(91)
6.4.1 概述	(91)
6.4.2 数学形态学基本算法	(92)
6.4.3 矿图扫描数字化的基本策略	(93)
6.4.4 矿图扫描图像的净化处理	(94)
6.4.5 矿图制图要素的自动提取	(97)
6.4.6 制图要素的栅格矢量数据转换	(103)
6.5 矿区资源环境信息系统空间数据分析和应用模型	(106)
6.5.1 空间量测	(106)
6.5.2 空间内插	(108)
6.5.3 缓冲区分析	(108)
6.5.4 网络分析	(109)
6.5.5 空间合成叠置分析	(109)
6.5.6 综合属性数据分析	(114)
6.5.7 矿区资源环境信息系统空间分析应用模型	(116)
6.6 矿区资源环境信息系统空间数据质量与评价	(117)
6.6.1 概述	(117)
6.6.2 矿区资源环境信息系统空间数据质量指标	(118)
6.6.3 矿区资源环境信息系统空间数据质量的评价	(127)

6.7 多媒体及网络矿区资源环境信息系统初探	(129)
6.7.1 多媒体矿区资源环境信息系统	(129)
6.7.2 基于客户/服务器模式的局域网络矿区资源环境信息系统	(133)
6.7.3 基于万维网的矿区资源环境信息系统	(134)
7 矿区环境灾害的数理分析与模型	(138)
7.1 矿区环境生态系统的非线性动态特征	(138)
7.2 遥感图像的小波分析与信息提取	(139)
7.2.1 小波变换的基本概念	(140)
7.2.2 小波变换的影像多分辨率分解	(142)
7.2.3 多源影像信息的空间-尺度自适应融合	(145)
7.2.4 遥感影像的边缘检测	(145)
7.2.5 小波变换与图像数据压缩	(148)
7.3 矿区环境影响的数理模拟	(152)
7.3.1 开采引起地表沉陷的数理模拟	(152)
7.3.2 矿山工程对环境影响的数理模拟	(153)
7.3.3 矿井系统的熵分析	(154)
7.3.4 煤矿采区突水灾害的空间模拟	(156)
8 工矿区环境质量的评价与环境调控	(157)
8.1 概述	(157)
8.2 环境质量现状评价的方法	(158)
8.2.1 环境质量评价的一般程序、步骤	(158)
8.2.2 环境影响评价的一般步骤	(159)
8.2.3 环境质量评价方法介绍	(160)
8.3 煤矿环境质量评价举例	(169)
8.3.1 煤矿开采沉陷对环境影响的评价	(169)
8.3.2 煤矿环境影响技术经济评价	(174)
8.4 工矿区环境规划与管理	(176)
8.4.1 多级环境系统规划	(176)
8.4.2 工矿区环境规划与管理的一般程序和内容	(176)
8.4.3 工矿区环境调控措施和对策	(177)
参考文献	(180)

1 矿产资源开发对区域环境的影响

人口、资源、环境与发展是当今世界关系人类生存与发展的四大基本问题。我国是这四个矛盾最为突出的少数国家之一。人类的活动已到了足以影响自然界，并使环境灾害加剧或产生一些新的环境问题的时候，人们必须事先研究它们，以便届时对付它们。

我国的矿产资源，特别是煤炭资源丰富，大中小矿山遍布全国二十多个省、市、区，许多矿区已发展成为中、小型城市。据煤炭、冶金、有色金属、核工业、黄金、石油、化工等矿业生产管理部门的不完全统计，我国现有国有矿山企业 7 600 多个，集体所有制矿山 7 800 多个，个体采矿点 12 万多个。我国已形成了 300 多座以矿业为依托的工业城市，从事矿业生产的职工 800 多万人。1996 年，全国的矿区采掘总量超过 50 亿 t。

目前，我国 70 % 以上的工业原料取自矿产，95 % 以上的能源来自矿物能源。矿业已成为我国国民经济的重要基础产业。同时，我国的矿业开发规模已居世界第三位，成为矿业大国。

然而，人类对矿产资源的开发和利用，一方面增加了社会财富，促进了经济和社会的发展，另一方面又带来了环境和灾害问题。矿山的生态环境系统包括自然生态环境系统和社会经济两大系统。而自然生态环境系统又包括几个子系统，如图 1-1 所示。

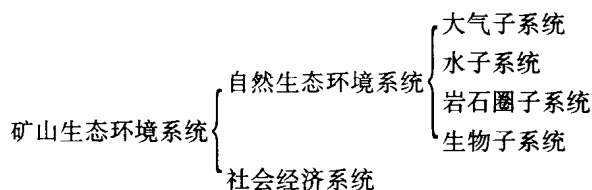


图 1-1 矿山生态环境系统的组成

自然资源是自然环境的重要组成部分，各种资源在不同时间和空间条件下，按不同的比例和关系联系在一起，形成相互作用、相互联系和相互依存的统一整体。一种资源（不论是再生资源，还是非再生资源）的开发，将不同程度地导致与之相联系的其他资源的变化。自然资源之间的这种相互影响，轻者造成资源的浪费和破坏，重者会导致环境严重污染，生态破坏，以致人类文明的衰落。矿产资源开发、加工和利用对区域环境的影响是多方面的和深刻的。下面从自然生态环境和社会经济环境两个方面予以简略说明。

1.1 对自然生态环境的影响

矿产资源开发和加工对自然生态环境的影响主要表现为对土地资源和景观的影响，对水资源的影响，对大气的污染、地质灾害以及噪声、振动的影响。

1.1.1 对土地资源和景观的影响

矿产资源开发要占用和破坏大量的土地，露天开采必须剥离煤层上覆的土层和岩层，

使原来生长在这些土层表面的生物遭破坏,还将影响矿坑周围动、植物的成长。地下开采将造成地面变形、沉陷,对农田、道路、地面建筑物、地下管线产生危害或破坏。在煤炭开发、加工过程中将产生大量的固体废弃物,如煤矸石、尾矿坝及排土场的土石、煤泥等固体废弃物。

这些废弃物的堆放不仅占用大量土地,并且对地表下面及附近的土地都有不同程度的污染。据不完全统计,我国由于采矿生产、加工活动,主要包括露天采掘挖损、地下开采塌陷以及开采压占的土地已超过 50 万 hm^2 。其中以煤矿生产造成土地破坏和压占最为严重。据原煤炭工业部对全国各主要矿区的统计,截止到 1994 年底,累计塌陷土地面积(以下沉大于 10 mm 为标准)达 28.1 万 hm^2 ,平均每开采一万吨煤炭塌陷土地 0.2 hm^2 ,其中常年积水面积约 2.5 万 hm^2 ,绝产征用面积 3.3 万 hm^2 。由此推算,目前全国井工开采煤矿造成土地塌陷总面积约 40 万 hm^2 。此外,全国大中型煤矿有矸石山 1 500 多座,堆积量约 30 亿 t,占地超过 5 500 hm^2 。露天煤矿开采挖损土地总面积约 8 000 hm^2 ,排土场占地约 14 000 hm^2 。

由于我国各矿区的地势地貌、区域气候及地下水位等方面差异较大,地表塌陷的形态,以及给农业和生态的影响有较大的不同。归纳起来,大致有三类:

(1) 黄淮海平原东中部地区。该地区地势平坦,潜水位高,是我国人口较密集的粮棉重要产区。这里分布着许多大型煤矿,如徐州、淮南、淮北、枣庄、兖州等矿区,还有一些金属、化工矿山。其地表塌陷区比比皆是,对农业生态损害严重。并且还有大面积的常年积水区,最大水深达 10 m 左右,往往成为绝产面积。如徐州矿区的塌陷地已达 5 000 hm^2 常年积水面积占 1/4。淮南矿区开采塌陷面积已达 11 216 hm^2 ,老区的最大下沉深度已达 19 m 之多,沉陷积水面积约为 1 417 hm^2 ,占总面积的 12.6%。淮北矿区的塌陷面积已达 7 000 hm^2 ,其中常年积水区约占 1/3。

(2) 黄河以北的平原地区。该地区的地下水位较深,年降雨量较少,因此地表塌陷后一般积水面积较小,如开滦矿区的塌陷区达 8 000 hm^2 ,积水面积约占十分之一。

(3) 西北、东北和华北的山地、丘陵地和黄土高原区。在该区域的开采塌陷区,一般地貌没有明显变化,不积水,地表变形主要表现为裂缝或漏斗式塌坑,有时会出现地表滑坡。一般来说,对农业生态和景观的影响不大。

但是,全国因开采塌陷、损坏和压占的土地,特别是可耕地的面积到底是多少?出入较大,很有必要应用最新的卫星遥感技术进行调查。

1.1.2 “三废”污染

煤矸石、矿井废水、燃煤余热、尾矿坝和废弃物是矿区的主要污染源。固体废弃物不仅占用大量土地,并且在长期风化、雨水淋溶的作用下会发生一系列物理、化学变化,产生有害物质,污染周围土壤、地表水和地下水。矸石自燃对环境的危害也很大。据不完全统计,我国正在自燃的煤矸石山约 200 座,自燃过程中排放出大量有害气体,如 SO_2 、 CO_2 、 H_2S 及氮氧化合物、烟尘等,污染了空气,抑制植物生长,危害人类及动物健康,还可能引发其他重大事故。例如,乌达矿务局因排矸场自燃使 SO_2 和 CO_2 的最高日平均浓度高达 10.69 mg/hm^3 ,致使附近居民患呼吸道疾病的比重明显偏高。

又如,1992 年 5 月甘肃窑街三矿自燃的矸石山发生大滑塌,造成死伤 49 人的大事故。新疆、陕西、内蒙古、豫、晋等省区煤矿中,也发生了自燃矸石山滑塌事故。我国煤炭自

燃火灾现象也很严重,新疆、青海、甘肃、陕西、宁夏、山西、辽宁等省区都不同程度地存在,年自燃煤炭量达 3.5 亿 t 左右,既污染大气,又引起许多社会问题。

至于在井下作业的矿工受粉尘的影响则更为严重。工业粉尘对人体的危害极大,特别是粒径小于 $5\text{ }\mu\text{m}$ 的粉尘,吸入后约有 90% 沉积在气管和肺的表面上,将引患尘(矽)肺病、肺心病等。

1.1.3 破坏水资源,造成水土流失

矿物开采和加工不仅造成地表水和地下水污染,还使地下水位降低,矿山周围水资源枯竭,水土流失,旱灾增多,甚至土地沙化。矿山酸性污水不仅污染地表水,并且可能通过地下井巷或岩层的裂隙污染地下水。例如,山西五阳煤矿周围十多个村由于采煤使地下水位下降了 3~8 m,严重影响居民用水。宁夏大武口洗煤厂煤泥池中沉淀后的废水漫流排放,形成约 2 km^2 的煤泥沼泽,废水中的悬浮物含量高达 $10\sim 30\text{ g/L}$,并含有害物质。

由于煤炭开发使岩土体的抗蚀能力降低,水土流失加剧。根据几个矿区开发前后不同时相的遥感资料,以及河流、库坝泥沙资料综合分析和计算表明,煤矿开采后水土流失量一般为开采前的 2 倍左右。黄土区、黄土与风沙过渡区的矿区水土流失量为最大,如甘肃的窑街、阿干镇、靖远,陕西的铜川、韩城、神府,宁夏的石嘴山、石炭井,山西的平朔、大同,内蒙古的乌达等矿区,侵蚀模数达 $10\,000\sim 30\,000\text{ t/km}^2\cdot\text{a}$,是开采前水土流失量的 3.0~4.5 倍。矿区水土流失灾害不仅严重破坏了生态环境,还直接威胁矿区安全。例如,神木中鸡煤矿由于矿碴倾入河道,占据河床 $2/3$ 的面积,1984 年 8 月雨季时洪水受阻而产生回流,造成特大的淹井事故。乌鲁木齐南山煤矿,1988 年 6 月下旬突降暴雨,导致许多沟梁发生泥石流,损失近千万元。铜川矿区近十年来发生重力侵蚀、滑崩大小灾害一百多次,损失严重。

1.1.4 矿山动力地质、环境地质问题

采掘工程活动可能诱发一些动力地质现象,如冲击地压、岩爆、矿震、岩土工程失稳、泥石流,以及煤矿瓦斯突出、突水等。除了上述列举的问题之外,我国过去 40 多年间发生瓦斯突出或爆炸事故 2 500 多起,造成人员伤亡,经济损失 20 多亿元。矿井突水、淹井事故也很严重。1949 年以来的统计资料表明,煤矿突水事故约 1 200 多次,其中淹井 250 多次,直接经济损失约 50 亿元。例如,1983 年 5 月 3 日太原西山观峪矿,岩溶水以 $2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的速度涌入矿井,使矿井被淹。1984 年 6 月 2 日开滦范各庄矿因岩溶突水,使相通的两座大型矿井被淹没,并给周围居民生活带来严重影响,经济损失高达 5.6 亿元。1991 年 4 月 4 日河北井陉赵家铺矿突水,矿井被淹,损失也很严重。焦作矿务局的矿井突水事故也较多。

这些矿山环境地质现象的产生既有其特定的地质条件,又与工程活动密切相关。研究矿山动力地质现象产生的地质条件及其与采掘等工程活动的关系,已成为矿山工程地质的专门问题。

1.1.5 噪声和振动污染

矿山地面及井下各种噪声大、振动强烈的机械设备多,噪声和振动的污染比较严重,许多设备产生的噪声严重超标。据华北一些煤矿的调查测试,90 dB 以上的设备占 70 %,其中 90~100 dB 的占 45 %,100~130 dB 的约占 25 %。这种污染不仅严重危害作业职工的身心健康,对附近的居民区也有严重影响,并且由于矿山为连续生产,噪声具有昼夜不

断的特点。例如，阜新某矿的机电修配厂车间外 50 m 处，噪声达 98 dB；开滦马家沟矿中央通风机房的扩散器上口的噪声为 128 dB，影响范围相当广。

井下的噪声也很严重，并且还有沿巷道的传播而产生叠加的现象。在综采工作面噪声可达 102 dB，巷道掘进工作面局部通风机的噪声可达 107 dB，风动凿岩机高达 120 dB，并且作业时振动严重。因此，在矿山采取防噪、减噪措施，研制振动及噪声小的机械设备是十分必要和重要的，但其难度也较大。

1.2 对社会经济系统的影响

这种影响主要涉及两个方面。一方面，一个大型矿区开发建设的过程往往也是一个地区工业化和城市化的过程，伴随着形成一些工矿城市，从而促进了这些地区社会经济的发展。另一方面则是负面影响：其一是由于上述的环境灾害导致对地面建筑物、交通及通讯线路、水利工程等设施的损坏；其二是引起区域社会环境 and 经济结构功能的变化。例如，土地征用、赔偿，居民或村庄搬迁产生的问题，工农业矛盾，农转非、就业和企业负担过重的问题，以及职工和农民生活，子女上学困难等问题。

总之，矿产开发使森林、天然植物、草场遭受破坏，使地形地貌塌陷开裂，使水资源遭破坏，大气遭污染，恶化了整个生态环境，改变了生活环境条件，甚至使区域正常的食物链和食物网发生改变。生态环境的恶化，也进一步导致新的自然灾害，水土流失，土地盐碱化、沼泽化、沙漠化等的发生和发展。而自然生态系统和社会经济系统进入恶性循环，将最终危及社会经济和社会生活的可持续发展。

从全国的统计数字看，因采矿造成环境灾害问题最严重、最频繁的是个体采矿业，其次是集体或地方采矿业，国有企业一般较好。因此，必须用生态经济的理论和方法来处理 and 协调矿产资源开发与环境保护之间的矛盾，使两个方面协调发展，力求实现经济效益、社会效益和环境效益的三统一，保障社会经济的持续发展。为此，必须采用现代先进的科技手段对矿区环境灾害进行动态综合监测，并运用相应的数学-物理模型和空间信息系统分析矿山工程的区域环境动态机制，研究其调控模式，从而实现地质、地貌、采矿、环境和社会经济等动态信息的存储、处理和反馈、调控，使矿山企业和地方政府部门能够科学地分析评价矿区环境，预测灾害，减少灾害发生，保护环境。

2 地球信息科学与工矿区环境保护

为了在矿产资源开发的同时能有效地保护矿区环境,减少和预防环境灾害的发生,应将区域的人口、资源、环境和发展作为一个整体,建立矿区生态环境动态综合监测与分析评价的技术体系,并且基于采矿工程、地质、地理等因素与区域环境的相互作用机理,预测其发展趋势,实施资源优化开发和环境保护、管理。目前,矿区环境监测的技术手段比较单一、落后,对环境信息的加工利用远远落后于环境保护的需求。信息技术的落后限制了人们对环境调控的能力。人们应当认识到,在信息时代,人类有可能全面而充分地利用地球资源、保护环境。地球的任何资源都是有限的,但开发利用的方式却是无限的。信息将是人类认识地球系统,控制人口膨胀、资源浪费,能源净化,环境保护的前提。人类将从信息中赢得预测、预报时间,获得调控人流、物流与能(量)流的科学依据。因此,应当把信息技术作为环境保护能力建设的重要内容加以重视。对矿区生态环境的保护与整治研究,应当打破常规,要把传统的环境监测和保护技术与其他科技手段,特别是高新科技结合起来,综合应用环境、遥感、测绘、地理和空间信息技术等多学科技术手段,以实现矿区生态环境的科学、有效调控与治理,实现区域社会经济的可持续、协调发展。地球信息科学技术可在矿区环境保护和社会经济可持续发展中发挥重大作用。

2.1 地球信息科学及其在矿区环境保护中应用的优越性

遥感(RS)、全球定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)是近20多年来逐步形成、发展起来的三门独立的科学技术,由于它们之间存在着紧密的联系,从学科发展和应用实践等方面考虑,都使人们愈来愈认识到三者必须相互融合、形成一体化,因此,现在人们又将三者统称为“3S”技术,并且是地球信息科学(Geoinformatics或Geomatics)的主体。

遥感技术(RS)随着空间技术和计算机技术的发展经历了近30年的发展,目前正进入一个能快速、及时提供多种对地观测及测量数据的新阶段。卫星遥感图像的空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率都有很大提高。利用CCD阵列传感器可以达到1 m的分辨率(Eyeglass),军用甚至达到10 cm的分辨率。合成孔径雷达除了全天候观测及影像纹理信息丰富外,基于空间重复轨道的雷达干涉测量技术(INSAR)可以导出 ± 5 m精度的数字高程模型(DEM),差分干涉雷达技术(DINSAR)测定相对位移量可达厘米甚至毫米级精度,在地表移动、土地利用状况、环境污染和环境破坏监测方面都很实用。

全球定位系统(GPS)于1994年3月完成其整体部署,实现其全天候、高精度和全球覆盖的能力。现在,GPS与现代通信技术相结合使测定地球表面三维坐标的方法,从静态发展到动态,从数据后处理发展到实时(或准实时)的定位与导航,极大地扩展了它的应用广度和深度。载波相位差分法GPS技术可极大地提高相对定位精度。在小范围内(如一个矿区或一座城市)可以达到厘米级精度。相对定位精度可达 10^{-6} 数量级。此外,由

于 GPS 测量技术对测站点间的通视和几何图形等方面的要求比常规测量方法灵活、方便，已完全可以用来施测各种等级的控制网。GPS 全站仪的发展，在地形和土地测量，以及各种工程、变形、地表沉陷监测中已得到广泛应用，在精度、效率、成本等方面显示出优越性。

地理信息系统 (GIS) 属于空间信息系统的范畴，有时也称资源与环境信息系统。GIS 是一种以采集、存储、管理、分析和评价全球或区域与空间地理分布有关数据的空间信息系统。它是随着计算机科学、空间科学、地球科学、测绘遥感学、环境科学、信息科学和管理科学的发展而新兴的一门边缘交叉学科。GIS 在 20 世纪 90 年代更加蓬勃发展，已成为地理信息产业的重要组成部分，为城市和矿区的土地测量、环境规划、管理和治理走向定量化、数字化、科学化开辟了广阔的前景。在地球科学、环境科学领域有许多现象、过程或问题是难以用具体的数值模型描述或模拟的空间问题。以 GIS 为基础，以模型库驱动为核心，由数据库、模型库、方法库、知识库及其管理系统构成基本框架的空间决策支持系统 (SDSS)，或者专家系统 (ES) 将是 GIS 的发展方向之一，并将在地球科学和环境科学研究和工程中发挥重要作用。地球信息科学在矿区环境和灾害及其防治中的主要优越性归纳如下。

2.1.1 遥感技术

遥感技术，特别是卫星遥感具有常规监测技术难以比拟的优势。

(1) 能迅速、动态地获取大量环境信息。各种常规手段只能获取点源环境信息，而遥感能够提供面域的环境信息，这就从根本上改变了人们长期以来由点到线、由线到面的推演模式，提高了精度和效率，这对于大范围的研究区域更为明显，还能周期性反映区域的环境动态变化。

(2) 能显著节省环境监测与调查费用。卫星遥感资料每景覆盖面积可达几千至上万平方千米，例如 Landsat TM 资料每景的覆盖面积为 $185 \times 185 \text{ km}^2$ 。一般来说，购置遥感图像资料的费用比常规污染监测、调查所需的费用少得多。

(3) 能同步或准同步地获取环境信息，受人为因素影响较小，信息数据真实、可靠、实用。

(4) 受地形、地貌或地面条件的限制小，可迅速提供任意区域或点的环境信息。

2.1.2 GIS 技术

环境科学具有多学科性，在矿区环境研究中要涉及和处理大量复杂的地理空间信息，如地形地貌、地质条件、土壤、水文数据、气候、矿产资源条件、采矿工程位置等，引入 GIS 技术将带来巨大的优越性。

(1) GIS 便于实现对空间信息的管理。其空间数据模型和数据库便于对各种类型的空间数据分别存储和处理。例如，利用 GIS 中“层”(Coverage)的概念和功能，可对不同种类或来源的空间地理数据、环境数据分层存储，以及进行投影、比例尺变换、旋转、叠加等的运算处理。

(2) GIS 的空间分析评价功能有利于解决传统方法难以完成的数值计算或空间模拟问题。例如矿区大气污染的扩散，开采沉陷规律的空间模拟，水资源的破坏或污染等。

(3) 对空间和环境数据及研究结果的表示形式直观、形象，能够可视化、图形图像化、专题图化、立体化。比传统的文件、报表形式实用、直观得多。

2.1.3 GPS 技术

(1) 用于矿区环境、灾害、地面塌陷、滑坡、变形等的监测，具有精度高、三维定位、全天候、速度快、无需通视等优点。

(2) GPS 在摄影测量及遥感中的作用，主要表现在：控制航摄飞行导航，以实现精确定点摄影；高精度动态相机定位，辅助进行空中三角测量；与其他传感器（CCD 数字相机、激光测量系统、合成孔径雷达等）组合，确定载体的位置、姿态和速度。

(3) GPS 可为 GIS 提供地理基础数据，进行矿区测量控制网的建立、监测或补测，便于实现多重、多时间、多比例尺、多分辨率空间数据在 GIS 中的复合处理。

应该指出，“3S”集成或一体化技术是发展方向，并且“3S”不是“RS + GIS + GPS”，而是“3S” $\geq P_1$ (RS) + P_2 (GIS) + P_3 (GPS)，其中 P_i 为权重，其数值是一个变值，依研究对象、工作目标、人的素质、仪器设备的优劣等因素的不同而异。

总之，地球信息科学技术在工矿区环境保护和社会经济可持续发展研究中有着重要作用。具有数据的快速获取、运算及处理、高精度目标定位、空间与瞬时模拟和区域发展规划决策等优点。

然而，“3S”技术应用于环境领域尚在初级阶段，在我国刚刚起步。特别是矿区环境问题本身的复杂性和特殊性，因此还有许多关键或困难问题有待进一步探索、研究解决。例如：

(1) 遥感图像信息的解释、反演和模式识别。一方面是根据矿区的地形地物特点，环境监测和保护的实际需要，对合适的遥感传感器及环境指标作出选择；另一方面，是研究矿区生态环境的遥感信息机理，以便通过反演、解释及模式识别技术将遥感信息转化为环境保护、治理的实用信息。

(2) 利用遥感环境信息进行矿区环境质量评价的方法学。与通常的环境质量评价方法相比，利用遥感图像信息进行矿区环境质量及其演变的评价有许多不同之处，需要有一套实用的科学方法，如评价模式、模型、评价指标（因素）的选择，它们的权重和关系等。

(3) 在 GIS 应用中多种空间与非空间的地学信息和环境信息编码、输入、存储与结合，数据质量的评价、数据格式的转换以及各种环境应用模型的建立和运行。

(4) 环境专家系统与决策支持系统的研究。解决环境领域中的问题既需要定性分析又需要定量分析。专家系统的辅助决策方式属于定性分析，而决策支持系统的辅助决策方式则属于定量分析，将这两种系统相结合将能极大地增强解决环境科学领域中的一些难题。此外，神经网络专家系统的知识获取不需要由知识工程师来整理、总结、消化专家的知识，只需要运用专家解决问题的实例或范例来训练神经网络，在同样输入条件下，神经网络能获得与专家给出的解答相当一致的输出。也即神经网络专家系统的知识获取具有效率高、质量高的优点。因此，神经网络环境专家系统的研究和应用是环境研究的一个发展方向和关键技术。

(5) “3S”集成的理论和技术。“3S”的集成是一项技术难度极高的综合高科技，具有重大的意义和效益。其出发点和归宿在于找到它的应用目标或应用市场。要实现真正的“3S”技术集成，需要研究、解决集成系统设计、实现和应用中的许多基本问题，如集成系统的实时空间定位、一体化数据管理、语义和非语义信息的自动输入和提取、数据自动更新、实时通讯、图形/图像的空间可视化和输出、基于客户/服务器的分布式网络集成环

境等。

2.2 工作模式

近几年来，我们在晋城、铜川、开滦等矿区应用“3S”技术进行了环境监测、分析评价及整治规划决策，取得了一些研究成果。实践表明，“3S”等高新技术在常规测量技术和常规环境监测手段的配合下，在矿区环境保护和区域可持续发展的研究中效果好、效益高。其工作模式、技术方法和主要应用目标如图 2-1 所示。

《中国 21 世纪议程》强调在节约资源、净化能源、保护环境的前提下，寻求区域社会经济的可持续发展和社会、经济与生态效益三者统一。可以相信，由于地球信息科学技术的参与和支持，必将使矿区（工矿城市）的资源开发、环境保护和社会经济的可持续发展出现新的面貌，产生新的概念、理论和方法。

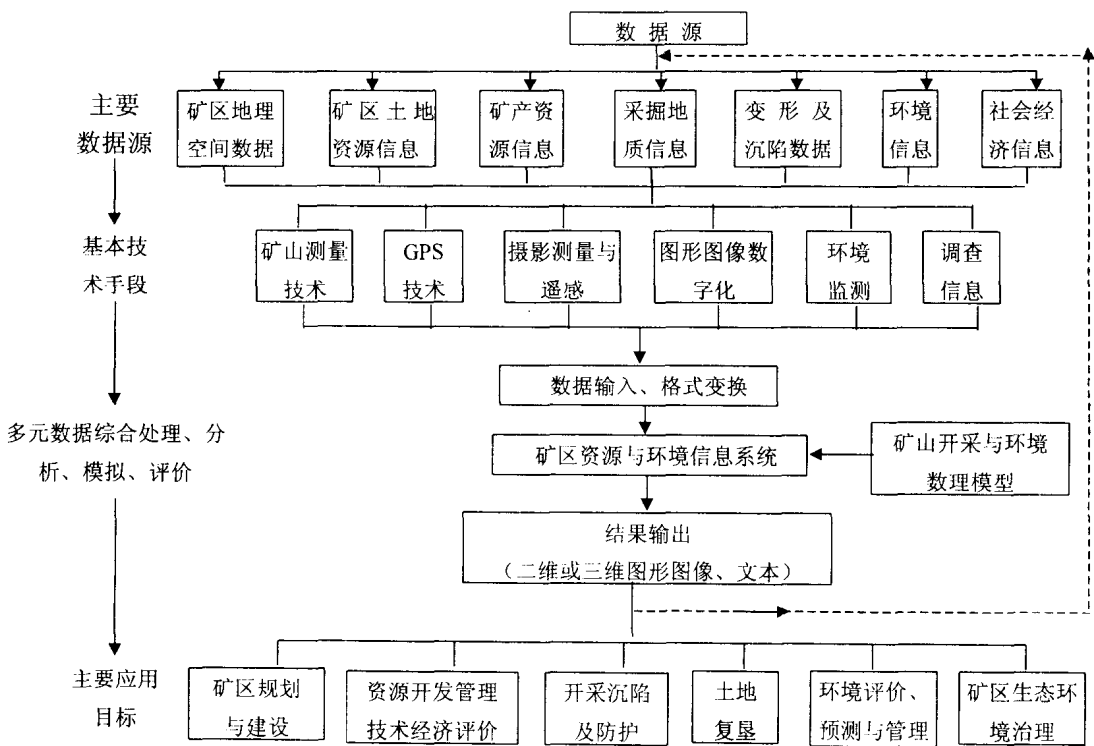


图 2-1 地球信息科学在工矿区环境保护和可持续发展中应用的工作模式