



煤矿区“一张图”建设的 若干关键技术研究

陈国良 李 钢 汪云甲 顾和和 编著



科学出版社

煤矿区“一张图”建设的十大 关键技术研究

陈国良 李 钢 编著
汪云甲 顾和和

国土资源公益性行业科研专项“煤矿区国土资源管理一张图
关键技术开发与集成示范”(201211011)资助

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以煤矿区土地利用和煤炭资源开发相协调为目标,以矿区国土资源管理“一张图”核心数据库建设和管理信息系统开发和应用为导向,在统一的数据组织和数据模型下,研究煤矿区矿产资源开发与土地保护利用的信息关联和耦合计算。通过整合地下、地表、地上等各类国土资源信息,实现“一张图管地、管矿、管权”,建立煤矿区国土资源综合监管预警机制与方法体系,开发煤矿区国土资源管理“一张图”综合监管信息平台,为煤矿区国土资源管理各项审批业务、资源监管和宏观决策提供统一的数据和技术保障。

本书可供测绘工程、土地资源管理、地理信息系统和采矿工程等学科研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿区“一张图”建设的若干关键技术研究/陈国良等编著. —北京:科学出版社, 2014.11

ISBN 978-7-03-042428-0

I. ①煤… II. ①陈… III. ①煤矿—矿区—遥感图像—地图编绘
IV. ①P283.8 ②P285.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 260461 号

责任编辑:李涪汁 周 丹/责任校对:刘亚琦

责任印制:肖 兴/封面设计:许 瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 11 月第 一 版 开本:880×1230 1/32

2014 年 11 月第一次印刷 印张:4 5/8

字数:145 000

定价:69.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

近年来，国土资源部一直积极推进全国“一张图”工程，以实现土地资源与矿产资源等全覆盖、全流程的动态监测与监管，达到“一张图管地、管矿、管权”。实践表明，这对保证煤矿区土地利用与煤炭资源开发相协调、资源开发与环境保护相协调尤为重要，但同时又存在诸多问题。

本书围绕煤矿区“一张图”建设中的数据获取、核心数据库和综合监管决策平台开发及应用，以皖北煤电集团钱营孜矿（皖北钱营孜矿）、神府东胜矿区（神东矿区）和徐州矿务集团有限公司夹河煤矿（徐州夹河矿）为例，综合运用多学科理论与方法，探讨若干关键技术问题。首先总结煤矿区土地资源和矿产资源管理综合监管存在的问题，剖析煤矿区“一张图”综合监管的内涵和框架；借助多源、多时相、多尺度遥感数据研究煤矿区土地利用“一张图”数据融合处理与评价技术，分析利用多源遥感影像融合后数据更新矿区 1 : 2000 大比例尺地形图的可行性，探讨基于遥感的煤炭开发扰动下的土地利用/覆盖的空间格局分类与动态变化信息获取技术；通过对不同传感器的 SAR 数据（ALOS、ENVISAT 合成孔径雷达数据）进行干涉处理，探讨 D-InSAR 二轨法获取地表沉降信息的技术流程，利用时序 SAR 建立矿区沉降的非线性模型，揭示地表沉降变形的时空演变规律。利用 GIS 和物联网等信息手段，研究煤矿区物联网井下信息感知关键技术，探讨无线实时定位技术（WiFi RTLS）、自定义 UDP 通信协议数据包传输和处理方式，分析感知矿山 GIS 监控系统（MIOTGIS）工作原理，构建基于感知层、网络层、数据层和应用层的 MIOTGIS 四层结构模式，设计感知矿山网络部署和数据库 E-R 模型，基于.NET 平台开发井下人员和设施的实时定位功能和历史轨迹再现功能，实现矿产资源采掘跟踪、越层越界非法开采监控等矿山地下资源全过程，全方位远程精细化管理。

通过融合煤矿区地上、地表和地下多源信息，整合集成矿区土地权属、土地规划、土地利用状况、土地复垦等“地籍”信息与矿产资源的矿业权、矿产资源规划、矿产储量、矿产开发状况等“矿籍”信息，分析实体要素分类编码和市、县两级数据中心建设方式，实现煤矿区土地和矿产资源“一张图”的统一数据组织，建立矿地“一张图”核心数据库，实现数据整合、分层存储、集中管理和分布式应用。同时，以计算机网络和硬件设施为基础，采用 B/S 与 C/S 相结合的双构架模式，建设以 GIS 系统为平台，以 Web 技术为依托的集地政、矿政和决策分析于一体的煤矿区“一张图”综合监管决策平台，为矿区土地和矿产监管、宏观决策以及促进矿区资源与环境保护提供了技术与手段支持。

作 者

2014 年 9 月 20 日

于江苏徐州

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 矿区“一张图”工程建设背景	1
1.2 矿区“一张图”建设的研究现状	2
1.3 矿区“一张图”建设的研究内容和技术框架	13
第 2 章 煤矿区“一张图”内涵	16
2.1 “一张图”背景	16
2.2 煤矿区“一张图”体系	17
2.3 “一张图”监管模式与服务模式	20
2.4 “一张图”意义	21
2.5 本章小结	22
第 3 章 煤矿区“一张图”建设中的地表信息遥感获取	23
3.1 基于多源遥感影像的煤矿区地表信息提取的技术路线	23
3.2 煤矿区影像融合方法的最优选取	28
3.3 煤矿区遥感影像的融合与精度评价	32
3.4 基于多源遥感的地形图更新方法与精度分析	39
3.5 基于遥感的煤矿土地利用空间格局动态变化信息获取 及分析	45
3.6 本章小结	54
第 4 章 煤矿区“一张图”建设中的地表沉降信息 D-InSAR 获取	55
4.1 InSAR 基本原理	55
4.2 D-InSAR 形变测量原理	57
4.3 煤矿区地表沉降信息 D-InSAR 获取	59
4.4 基于 D-InSAR 的煤矿地表沉降时空演化规律研究	68
4.5 本章小结	85

第5章 煤矿区“一张图”建设中的物联网井下信息感知	86
5.1 物联网与矿山物联网	86
5.2 物联网井下信息感知	88
5.3 MIOTGIS 地下资源监控实现	100
5.4 本章小结	104
第6章 煤矿区“一张图”综合监管决策平台实现	105
6.1 平台建设总体架构	105
6.2 “一张图”统一数据组织和系统功能设计	108
6.3 煤矿区“一张图”综合监管决策平台应用	118
6.4 本章小结	127
第7章 结论与展望	129
7.1 主要研究结论	129
7.2 展望与设想	131
参考文献	132
致谢	141

第1章 绪 论

1.1 矿区“一张图”工程建设背景

土地资源与矿产资源属同位异类资源，其重叠赋存的特性，决定了矿产开发开采常涉及大面积的土地扰动，而土地资源合理开发利用与保护的要求往往又限制着矿产资源开发开采的方式与规模。多年来，由于缺少科学有效的管理和调控手段，矿产资源开发与土地保护利用一直存在着尖锐的“矿地矛盾”：矿产资源开发对土地、环境和建筑造成严重破坏，严重制约地面土地利用，导致矿区国土资源的利用效率降低；同时土地利用压覆大量矿产资源，资源开发损失严重。图 1-1 为矿区地面地下对应关系图。

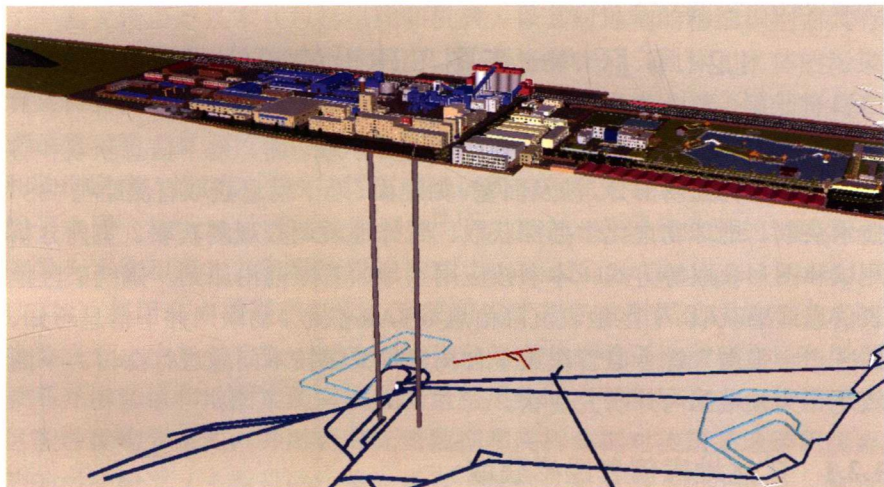


图 1-1 矿区地面地下对应关系图

对国土资源管理而言,国土资源部既要做好地质勘探、矿权管理、储量管理和地质灾害管理等“矿政”管理,又要做好土地规划、耕地保护、村镇搬迁和集约利用等“地政”工作。开发矿区各类地质、采矿、土地、资源和环境综合信息平台,将矿产资源与土地资源进行“一张图”管理,实时掌握矿区土地利用和矿产资源开发状况,对矿区每一块土地的“批、供、用、补、查”和每一个矿业权的审批、勘查、开采等进行实时全程监管,整合地下、地表和地上等各类国土资源信息。实行“一张图管地、管矿、管权”,是实现矿区国土资源协调管理、保证煤矿区土地利用与煤炭资源开发相协调、资源开发与环境保护相协调的主要技术途径。

国土资源部强力推进的矿区国土资源“一张图”工程建设,就是针对矿区城镇化发展进程中,信息化技术对国土资源管理创新带来的机遇与挑战而提出的。从矿区矿产资源开发、土地保护与利用、矿区城镇化建设、环境保护等现实国土资源管理需要出发,进行矿区国土资源管理“一张图”关键技术研究,以“图”管地、管矿、管权,以信息化建设成果带动矿区国土资源管理方式的转变,具有重要的实用价值。

1.2 矿区“一张图”建设的研究现状

矿区“一张图”建立的关键技术主要分为地面、地下信息获取和综合决策平台构建两部分,涉及面宽,如地面、地下信息获取有测绘与“3S”技术获取、地球物理化学勘探获取、野外地质调查观测获取、室内分析测试和图形获取等方式。本书按应用主导、着眼前沿原则,围绕矿区地表信息遥感获取、矿区地表沉降信息 InSAR 获取、物联网井下信息感知、矿区“一张图”综合监管决策平台构建等关键技术问题进行探讨。下面叙述相关领域国内外研究现状。

1.2.1 矿区地表信息遥感获取

1) 矿区高分辨率遥感

高空间分辨率遥感技术能精细地描述地面目标的细部特征,细致反

映相邻地物的空间关系。国内 20 世纪 90 年代以来,将高空间分辨率遥感数据应用于矿区环境监测的报道很多。2004 年,吴虹等采用 QuickBird-2 和 SPOT-1 遥感数据,利用人工目视解译方法,调查了广西大厂锡多金属矿田和高龙金属矿区生态环境破坏情况^[1];2005 年,李成尊等应用 QuickBird 遥感影像研究了晋城煤矿区不同类型地质灾害的遥感影像特征,对矿区地质灾害现状、成因、分布规律特点和调查精度进行了分析评价^[2]。2006 年,王瑜玲等应用 QuickBird 遥感影像数据对江西省赣州市北部地区稀土矿的开采状况引发的地质灾害问题进行调查^[3];同年,雷国静等采用 QuickBird 遥感影像对南方离子型稀土矿周围植被长势进行了调查^[4];杨圣军等采用 QuickBird 遥感影像,通过目视判读与计算机自动分类相结合的方法,实现矿区地面塌陷信息的快速提取^[5];2007 年,于海洋等讨论了高分辨率遥感影像波段间配准误差对线性断裂、地面裂缝、滑坡体、地面塌陷等信息提取的影响^[6]。目前,矿区环境下基于高空间分辨率遥感影像的信息提取大部分采取人工干预的方法,智能化的信息提取方法有待进一步发展完善。

2) 矿区高光谱遥感

高光谱遥感技术(包括星载和机载)以其对地物的精细识别而具有广泛的应用能力,在矿区土地利用、矿产资源评价、固体和水体的污染调查和监测等领域发挥重要的作用^[7]。20 世纪 90 年代以来,国外将高光谱遥感应用于矿区环境监测的研究逐渐增多,美国、加拿大、澳大利亚和欧洲联盟(欧盟)等发达国家和地区纷纷将高光谱遥感技术和方法应用于本国(地区)矿区环境监测中^[8-10]。其中,美国和欧盟的试验和研究最为系统和深入。美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)利用高光谱遥感技术,系统研究了若干典型煤矿区的污染水的主要成分,检测受污染水域的空间分布范围^[11]。美国地质调查局利用星载高光谱影像和地面实验室波谱测量结果绘制出了科罗拉多州某铅锌矿区酸性废物分布图,并融合高光谱数据和高程数据对美国某地磷矿废弃物的污染情况(主要是硒污染)进行了评估。欧盟的 MINEO 项目则联合英国、德国、葡萄牙、奥地利、芬兰 5 个国家,在 6 个矿区建立试点,应用 HyMap 机载高光谱数据和星载 Hyperion 数据,精确描绘采矿污染

源及其扩散分布情况,研究矿区环境下的植被胁迫效应,并给出相应的环境评价结果^[12]。

机载高光谱遥感兼具高空间分辨率的特征,近年得到迅速发展。2005年, Minekawa 等利用遥感车作为平台获取高空间分辨率高光谱数据,分析了盐海地的波谱特征^[13]; 2005年, Goovaerts 等采用基于机载 Probe-1 传感器获取的 1m 高光谱数据,结合空间、光谱特征实现了矿山尾矿区的异常信息提取^[14]; 2008年, Vaughan 等基于新型机载 HyperSpecTIR、SEBASS 成像光谱仪获取的 2m 空间分辨率的高光谱影像,绘制了美国内华达州 Virginia 城市矿区的风化矿物专题图^[15]。国内高光谱数据在矿区环境监测中的应用起步较晚。2004年,周强等针对江西德兴铜矿区,从 Hyperion 数据中成功地提取了固体废弃物、不同类型的污水和植被污染信息^[16]; 2005年,张杰林等利用高光谱遥感技术系统研究了煤矿区矸石山污染物的吸收光谱特征和受污染植被的光谱变异规律^[17]; 2006年,万余庆等利用 OMIS1 数据系统全面地研究了矿区环境污染探测等相关问题,其中包括植被、土壤、水体和粉尘等内容,并采用 OMIS1 数据的热红外波段编制了宁夏汝箕沟煤田火区等值线图^[18]; 2007年,郑礼全等利用 ASTER 数据监测德兴铜矿矿区的生态环境,提取矿区的黏土污染、水体污染和植被污染信息^[19]; 同年,程博等针对德兴铜矿区利用野外光谱测试仪分析了污染水体的波谱曲线特征^[20]。以上工作为国内开展矿区高光谱遥感研究奠定了基础。

3) 矿区双高遥感

从不同遥感平台获得的不同光谱分辨率、不同空间分辨率以及不同时间分辨率的遥感影像,形成多级分辨率影像序列的金字塔,为矿山环境信息提取与防灾减灾提供了丰富的数据源^[21-22]。美国早在 1969 年就组织了由土地保护部矿山处执行的包括矿山环境与灾害监测的项目,取得了明显的效果。不仅如此,他们还利用遥感技术对煤矿开采产生的煤矸石山进行动态监测,以防止煤矸石堆发生爆炸;同时,对煤矿区土地复垦效果进行遥感动态监测,为土地复垦管理提供了客观的资料,提高了资源环境管理部门的执法力度。在欧洲,欧洲共同体(欧共体)正实施 MINEO 工程,以法国地质调查局为代表的多个欧洲公司和研究单位已经

着手利用最先进的地球观测技术评价、监测开矿活动对环境造成的影响。2001年, Prakash 等采用 Landsat TM 数据、SAR 影像、地形图、DEM 和 GPS 数据, 基于数据融合技术对煤矿区的塌陷和煤火进行监测^[23]; 华沙西南的 Belchatow 褐煤露天开采矿区是波兰中部地区重要的能源产地, 2005年, Mularz 利用 Landsat TM 和 SPOT 卫星遥感图像以及航空遥感相片对该地的环境状况、多年来土地利用/土地覆盖变化情况以及植被覆盖变化情况进行了监测研究, 指出 SPOT 全色图像和 Landsat TM 图像的融合是最经济有效的监测露天矿区以及周边环境的数据^[24]。此外, Ferretti 等利用成像光谱技术对西班牙的最大的铜矿区 Rodaquilar 进行长期跟踪, 分析了由于铜矿的过度开采造成地面沉降及严重影响其他资源和设施的原因和发展趋势^[25-26]。德国 Ruhrgebirt 地区的主要采煤公司使用干涉雷达遥感技术和 GPS 对其煤矿开采的周围环境影响进行了评估, 有效监测了该地区的地面环境变化的位置和速率^[27-28]。2007年, Winter 等提出了 CRISP 方法, 可有效融合高空间分辨率多光谱数据 (IKONOOS) 与较低空间分辨率高光谱数据 Hyperion, 该方法已经发展成为商用的高光谱分析工具^[29]; 2008年, Sanjeevi 采用 ASTER 遥感影像, 结合 SRTM-DEM 以及野外测量数据, 针对印度某矿区开展了混合光谱分解方面的研究^[30]。

1998~2004年, 国内学者郭达志、盛业华、杜培军等利用将遥感和其他技术相结合的方法对晋城、铜川、开滦、徐州等矿区的大气、塌陷情况进行了调查分析^[31-33]; 2002年, 雷利卿等应用遥感技术对山东肥城矿区的污染植被和水体信息进行了遥感信息提取, 探讨了适合矿区环境研究的遥感图像处理方法^[34]; 2004年, 甘甫平等开展的江西德兴铜矿矿山尾矿、固体废料环境污染遥感调查技术研究, 首次利用 ASTER 和 Hyperion 数据, 基于野外实测地物的光谱曲线特征分析结果, 通过各种图像处理方法提取矿山环境污染信息, 进行了矿山环境污染监测^[35]; 同年, 陈华丽等利用 TM 数据对湖北大冶矿区进行了生态环境监测^[36]; 杨忠义等对平朔安家岭矿生态破坏阶段的土地利用/覆被变化进行了研究^[37]; 陈旭利用美国陆地资源卫星提供的 TM 遥感信息, 采用计算机分类、人机交互式分类和影像目视解译 3 种方法, 解译分析了鞍山市矿产开发对

土地、植被等生态环境的影响^[38]；2006年，李振存等依据水土流失特征和影像解译结果，提出了水土保持防治措施体系^[39]；2007年，马保东等基于 Landsat TM/ETM+遥感影像对兖州矿区地表覆盖变化进行了遥感分析，提出以 TM5 波段和 DN 值 40 为阈值自动区分矿区水体和煤堆固废占地的方法^[40]；卓义等针对内蒙古伊敏露天矿区，采用 5 个时相 Landsat-TM 遥感影像，分析了煤矿生产对矿区及其周边草原生态环境的影响^[41]；漆小英等以攀枝花钒钛磁铁矿区为例，采用土壤调节大气耐抗植被指数差值模型提取矿区扩展变化^[42]；2008年，许长辉等开展了基于加权融合算法、光谱分解-锐化方法、高光谱数据降维后融合、双高数据与 SAR/InSAR 数据融合等^[43]提取煤矿塌陷地。

总之，双高遥感应用是一个新的遥感应用方向，包括两类：一类为具有高空间分辨率的高光谱遥感应用，另一类为高空间分辨率遥感与高光谱遥感数据融合分析技术。前者仍在发展中，国际上尚未形成可民用的遥感平台；后者方兴未艾，充分利用高空间分辨率遥感数据和高光谱遥感数据的优势，进行数据融合处理，精确获取地物的光谱特征和空间分布特征，在矿区复杂开采扰动环境中的地质灾害、生态环境变化监测与预警中具有广阔的应用前景^[44-45]。

由于我国矿山种类繁多，分布广泛，开采方式各不相同，矿产资源开发利用情况较为复杂，监测目标众多，在监测区选择、监测目标确定、遥感数据源选择、遥感信息提取以及矿山地物类型解译标志建立等关键环节的技术要求和遥感分类精度仍需探索。

1.2.2 矿区地表沉降信息 InSAR 获取

合成孔径雷达干涉测量（InSAR）是以合成孔径雷达复数据提取的干涉相位信息为信息源获取地表三维信息和变化信息的技术。干涉雷达在 1969 年被用于火星观测^[46]，1972 年被用于观测月球的地形^[47]。1974 年，有专家提出用合成孔径雷达干涉测量进行地形测绘^[48]；1986 年，美国喷气推进实验室发表了用机载双天线 SAR 进行地形测绘的结果，拉开了干涉合成孔径雷达研究的序幕^[49-50]；2000 年，Nakagawa 等利用 JERS-1 L 波段 SAR 监测 Kanto 北部平原的地面沉降，研究表明 L 波段

的 SAR 数据比 ERS C 波段数据,更适合于平原地区的地面沉降监测^[51]; 2001 年, Hirose 等利用 JERS-1 数据监测印度尼西亚 Jakarta 地区的地面沉降,其结果与 GPS、水准仪测量较好地吻合^[52]; 澳大利亚新南威尔士大学采用 JERS-1 L 波段的 SAR 数据,用 D-InSAR 技术对 Appin、West Cliff、Picton 三个地方的煤矿沉陷区进行试验研究,并在研究中引入了 GPS 数据^[53-55]。随着差分干涉技术的不断发展,针对地表特征相对复杂的沉降区域,相应的处理方法相继出现,一些关键步骤的处理方法也得到了改进,例如, Raucoules 等在 2003 年利用 ERS 数据通过相位滤波技术对法国南部 Vauvert 城市附近少量植被覆盖的盐矿区进行沉降监测,测量结果与水准测量结果比较吻合^[56]; 2004 年, Ge 等用 ERS-1/2 与 EnviSat C 波段和 JERS-1 L 波段 SAR 影像对澳大利亚悉尼南部煤矿区进行了试验研究,结果表明 L 波段更适合于煤矿植被覆盖地区沉陷的监测^[57-59]; 2006 年, Cascini 等^[60]、Casu 等^[61]、Manzo 等^[62]分别对意大利萨尔诺城市、那不勒斯海湾和美国加利福尼亚的洛杉矶、伊斯基尔岛沉降采用空间基线较短的数据形成干涉进行沉降监测,并将该技术与 GPS、水准测量仪结合,更为有效准确地获取沉降场和沉降速率; 2009 年, Perski 等利用 D-InSAR 和 PS-InSAR 技术对波兰 Wieliczka 地区开采沉陷进行监测,对不同沉降速率和沉降时间的地区采用了不同方法,精密水准测量结果对比表明,吻合性较好^[63]。

国内利用 D-InSAR 进行变形监测方面的研究起步较晚,但也取得了一些成果。1999 年,李德仁等采用欧洲太空局(欧空局) ERS-1 和 ERS-2 相隔一天的重复轨道 SAR 数据,将 1995~1997 年中由重复水准测量求得的地面沉降等值线图与由 D-INSAR 得到的基于干涉条纹进行比较^[64]; 2001 年,刘国祥等利用 1998 年 12 月 29 日和 1999 年 11 月 9 日的两景 SAR 影像进行干涉处理, D-InSAR 监测结果和一等精密水准测量结果的总体相关系数为 0.89,差异均值为 -3.5mm,差异的总体标准偏差为 5.6mm,表明干涉结果精度优于 1cm^[65]。

2002 年,王超等利用欧空局 ERS-1 和 ERS-2 获取的苏州地区 1993~2000 年的 SAR 数据,通过“三轨法”差分干涉测量处理,获取了苏州市 1993~2000 年的地面垂直形变量和沉降速率^[66-68]; 2005 年,高均海等

采用“三轨法”和“二轨法”，对唐山市和开滦矿区地表演变与开采沉降的 D-InSAR 监测进行了初步研究^[69-70]；2007 年，王行风等利用 ERS 数据在潞安矿区进行了 D-InSAR 初步研究，得到了山西潞安矿区沉降分布情况，发现大多与采掘工作面位置吻合^[71]；2009 年，邓喀中等针对徐州沛城矿区采用 5 景 ERS-1 和 ERS-2 数据进行“三轨”和“四轨”试验，发现 D-InSAR 监测结果和水准观测的下沉差值与距离呈线性关系^[72]；2010 年，范洪冬利用 PS-DInSAR 和 SBAS 方法获取了天津主城区 1992~1997 年间的地表下沉情况^[73]；2011 年，盛耀彬针对北京地区和澳大利亚某矿区开展了基于时序 SAR 影像的地下资源开采导致的地表形变监测研究^[74]。

综上，国内外运用 D-InSAR 相关技术进行地面沉降监测主要集中于地面沉降范围的确定和沉降量的获取，煤矿区地表的特殊复杂性，除了面临着失相干和大气效应等干涉测量共性问题外，D-InSAR 技术在矿区地面沉降监测方面存在更多困难，特别是对于植被覆盖密集的地区，D-InSAR 监测的研究相对滞后。

1.2.3 物联网井下信息感知

物联网（internet of things, IOT）是互联网和通信网的网络延伸和应用拓展，其利用感知技术与智能装置对物理世界进行感知识别，通过互联网和移动通信网等网络的传输互联，进行智能计算、信息处理和知识挖掘，实现人与物、物与物的信息交互和无缝连接，达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的。

作为物联网应用的一个重要领域，“感知矿山”是通过各种感知、信息传输与处理技术，实现对真实矿山整体及相关现象的可视化、数字化及智能化，打造本质安全型矿井。

2010 年，张申等以物联网与感知矿山专题讲座方式分别阐述了物联网的基本概念及典型应用、感知矿山与数字矿山和矿山综合自动化、感知矿山物联网的特征与关键技术和感知矿山物联网与煤炭行业物联网规划建设^[75-78]。

2011 年，张锋国构建了矿区物联网三层网络架构^[79]；赵文涛等在

VS2008 环境下设计实现了简单的煤矿设备管理系统,利用工业以太网和无线传感网相结合的方式,传输井下各种设备的 EPC 码信息,避免了传统的用 RFID 作为标签引起的隐私泄露和环境污染问题^[80];孙继平提出了煤矿物联网特点和煤矿物联网需要解决的关键技术问题,如煤矿物联网信息编码、传输、处理等标准,但未能给出煤矿物联网的应用实例^[81]。

钱建生等为了实现煤矿井下复杂生产环境下的人员、物资、设备和基础设施等的实时有效的监控和管理,综合利用传感器技术、射频技术和智能嵌入技术等,结合工业以太网、无线传感器网、互联网和移动通信网,设计了基于 IE 浏览的煤矿综合自动化软件平台,解决了煤矿安全生产综采工作面的协同管理、井下重大灾害预警和矿井灾害有效救援等问题^[82]。

刘延岭针对煤矿安全事故频繁发生,井下人员营救困难等特点,提出了基于物联网的人员定位系统的解决方案^[83];孙彦景等针对煤矿安全生产监测、监控、预警与应急救援的要求,提出将信息感知、信息传输、智能处理、现代控制技术与现代采矿技术相结合,基于工业以太网综合自动化系统和无线传感器网络,构建动态感知煤矿灾害状况、设备健康状态、人员安全环境的煤矿安全生产物联协同网络系统,实现复杂环境下生产网络内的人员、机器、设备和基础设施的协同管理与控制,有效地解决煤矿安全开采和重大灾害防治的问题^[84];王军号等针对煤矿瓦斯监测的复杂性和不确定性,将物联网感知技术应用到瓦斯监测系统中,构建了感知层的分布式星状无线传感器网络,研究了物联网中的关键技术信息融合算法,针对不同的融合层次,分别采用了模糊近似度规则、D-S 证据理论和基于灰色关联分析的融合方法,并设计开发了智能移动 Sink 节点,为煤矿的瓦斯监测应用物联网提供了感知层解决方案^[85]。

由于煤炭生产系统复杂,工作场所黑暗狭窄,地质条件的变化会使移动的采掘工作面不断出现新情况和新问题,地下物联网感知仍处于初步探索阶段。特别是煤矿生产与安全系统多达数十种,而且由不同厂商提供,其数据格式、通信方式与协议、自动化水平均各不相同,

在狭窄的巷道空间里形成数十套感知层网络是不合适的。因此, 地下物联网感知一定要打破物联网应用初期功能单一、网络独立、数据私有、缺乏标准的现状, 采用适当的矿山物联网模型架构, 规范应用模式, 统一数据描述方式, 按照统一规划、整体设计、分步实施的原则进行。

1.2.4 矿区“一张图”综合监管决策平台

1) 土地资源管理信息系统

发达国家利用计算机技术和 GIS 技术对土地和矿产资源的管理已有 30 年以上的历史。世界上第一个土地管理信息系统是加拿大测量学家 Tomlinson 首次提出并建立的; 从 20 世纪 70 年代起, 欧洲的德国、瑞士和奥地利三国对土地管理工作自动化进行了研究并取得了一定的成效^[86-87]; 之后, 美国等相继建成了土地信息系统^[88]; 1973 年, 奥地利建成了地产数据库, 有效地克服了手工管理的缺陷, 改善了对公众的服务, 工作效率高, 数据查询覆盖全国^[89]; 德国于 1983 年将各州地籍登记的全部内容按统一的格式建立地籍数据库, 使用者可以随时以人机对话的形式对数据库进行检索、查询等^[90]; 到 90 年代, 发达国家实现了包括土地调查、土地登记和宗地图制作等内容的计算机管理, 其中不少国家的土地信息实现了网上查询, 一般用户可以随时通过因特网查询其所需要的任何一块宗地信息, 荷兰、加拿大等国已经开始宗地信息网上查询的有偿服务, 系统用户可以通过网络修改、更新数据。荷兰的土地管理信息系统还实现了对属性和图形历史数据的统一管理^[91-92]。

从 1987 年国家土地管理局成立以来, 国内土地信息系统发展迅速。1997 年, 国务院提出了“土地管理部门要抓紧建立全国土地管理动态信息系统, 利用现代技术手段, 加强对全国土地利用现状的动态检测”的指示精神。根据这一指示精神, 国土资源部专门成立了相应部门, 负责管理土地管理的信息化建设, 在国土资源部的鼓励和扶持下, 各地相继建立起一些规模不同、面向不同管理层次的土地管理系统^[93]。数据库从过去的属性数据库到现在的集图形、表格、声音和图像于一体的综合性