

文章编号 1001-8166(2004)增-0242-03

采用遥感技术监测煤炭开采沉陷 灾害的应用及前景展望

孔祥生^{1,2}, 苗 放¹, 刘鸿福²

(1 成都理工大学信息工程学院, 四川 成都 610059 2 太原理工大学矿业工程学院, 山西 太原 030024)

摘 要 从煤炭开采引起的沉陷灾害出发, 针对传统监测评价方法的薄弱环节, 提出了光学遥感、雷达遥感干涉测量技术(InSAR)等先进遥感技术解决该问题的途径和对策, 最后就先进遥感技术在沉陷灾害监测和评价中的应用前景进行了探讨。

关 键 词 遥感技术, 开采沉陷, 灾害监测与评价

中图分类号: TP79 P642 26 文献标识码: A

煤炭是一种不可再生的能源资源, 我国的能源结构依然是以煤为主, 而且这种结构构成将长期存在。2001 年, 中国一次能源生产总量为 11.7 亿 t 标准煤; 一次能源的生产结构为: 煤炭 67.7%, 石油 20.6%, 天然气 3.4%, 水电 6.3%。中国近些年能源生产总量及其构成列于表 1。

表 1 中国近些年能源生产总量及构成

年 份	能源生产总量 (万吨标准煤)	占能源生产总量的 %			
		原 煤	原 油	天然 气	水 电
1990 年	103922	74.23	19.01	1.96	4.80
1995 年	129034	75.30	16.60	1.90	6.20
1996 年	132616	75.20	17.00	2.00	5.80
1997 年	132410	74.10	17.30	2.10	6.50
1998 年	124250	71.90	18.50	2.50	7.10
1999 年	109126	68.30	21.00	3.10	7.60
2000 年	106988	66.60	21.80	3.40	8.20
2001 年	117000	67.70	20.60	3.40	8.30

注: 1. 各能源折标准煤系数: 煤炭 0.7143, 石油 1.4286, 天然气 13.3; 水电按当年发电标准煤耗 1980 年以后为 404 g²。资料来源: 国家统计局《中国统计摘要 2002》

我国能源结构决定了煤炭开采还将是一项重要的工业活动, 煤炭开采在为国家发展做出巨大贡献的同时, 也带来了巨大的负面影响。由于煤炭开采

引起的沉陷具有不可逆性, 开采引起的地质灾害和环境灾害尤其突出, 沉陷灾害的监测评价就成为解决我国“四矿”问题和实现矿区可持续发展的重要课题之一。

1 煤炭开采沉陷灾害监测和评估现状

1.1 开采沉陷灾害分析

煤炭采出后, 形成了自由空间, 采空区周围的岩体失去了原有的力学平衡而发生移动变形, 并由煤层的上覆岩层波及到地表, 形成冒落带、裂隙带和弯曲下沉带, 引起地表沉陷, 导致开采沉陷影响范围内的土地资源破坏, 生产力下降, 房屋破坏; 公益和基础设施破坏。

(1) 对土地资源的破坏和占用。煤炭开采分为井下和露天两大开采方式, 其中, 我国 95% 以上的煤炭产量来自井下开采。沉陷灾害改变了土地内部的应力场, 导致土壤的物理和化学性质发生了变化, 直接影响了作物生长, 改变了地表的植被覆盖。对土地资源的破坏损害, 井下开采以地表塌陷和矸石山压占为主, 而露天开采则以直接挖损和外排土场压占为主。

(2) 对水资源的破坏。煤炭开采过程中, 为保证

收稿日期: 2004-04-10

作者简介: 孔祥生(1969-)男, 山东人, 博士生, 讲师, 主要从事 3S 技术与应用的教学和研究工作。

E-mail: emails05@163.com

安全而进行的人为疏干排水和采动形成的导水裂隙对煤系含水层的自然疏干 沉陷灾害打破了原有的水资源动态平衡系统 加剧了缺水地区的供水矛盾。

(3) 对地面建筑物和基础设施的破坏。煤炭开采过程中和开采之后 在移动、倾斜和曲率变形的影响下 使得开采影响范围内的建筑物和基础设施的受力状态发生改变 发生倾斜、裂缝、坍塌、弯曲。

1.2 开采沉陷灾害监测和评价

煤炭开采引起的灾害问题的关键问题涉及几个方面 一是确定沉陷灾害的开采源 即明确煤矿开采的矿井位置 二是圈定开采沉陷灾害的影响范围和程度 包括圈定对建筑物、土地、水资源和其它资源等破坏的面积 三是动态监测灾害的变化。

目前 采煤引起的沉陷和环境破坏的监测、评价所采用的变形监测手段主要是依靠常规的测量仪器如水准仪、经纬仪、全站仪、以及近年来开始采用高精度 GPS 单体网和区域网监测等。通过移动观测站 测量获取岩层和地表的移动观测参数 监测评价的方法一般有两种 一是地表移动与变形预计 二是通过地表观测的边界角、移动角或裂缝角来圈定。根据煤层赋存的地质地貌条件和开采条件的不同 方法也有不相同。

根据评价内容的不同 评价的方法也不同 其指标体系如下式：

$$A = B \cdot C \cdot D \quad (1)$$

- A - 开采沉陷灾害；
- B - 评价内容(水资源、建筑物、土地资源等)；
- C - 开采条件(开采方法和采空区处理措施)；
- D - 开采影响范围内的地质、地貌条件。

这些手段所监测的对象都只是基于一点 然后通过加密监测点来监测目标区地面的变形运动状况。这种由点到面的工作方法 不但工作量大 耗费资金多 测量周期长 而且监测精度低。

1.3 开采沉陷灾害评价和监测的薄弱环节

无论是移动变形预计方法还是采用边界角、移动角或裂缝角来圈定沉陷范围 所采用的参数都是基于点观测 通过专家分析之后 圈定煤炭开采沉陷引起的各种灾害的面积 对灾害程度进行评价 其存在的问题突出表现有 4 点 一是划分的范围不准确 或大或小 二是不能够准确计算出开采影响范围内的沉陷应力场 也就是难以绘制出沉陷区的下沉等值线图 三是由于煤层赋存的地质条件、水文条件、地貌条件和开采条件的复杂性 基于点观测所计算出参数有一定的片面性 四是时效性差 成本高 人

为因素影响大。

2 煤炭开采沉陷灾害遥感技术方法

早在 20 世纪 60 年代初期 美国就酝酿利用空间技术勘查地球的资源和环境。目前 美国、法国和中国等国家发射了一系列的资源卫星 在轨运行的地球资源观测卫星的有光学遥感卫星 也有雷达遥感卫星 因为各自不同的成像特点。光学遥感图像由于可读性强 分辨率高 已经得到了广泛的应用 雷达遥感由于其不受天气和光照的影响也在发挥着重要的作用。

2.1 光学遥感解译技术方法

煤炭开采沉陷灾害的光学遥感解译 包括以下几个方面。

- (1) 确定开采沉陷灾害源 即通过卫星光学影像识别矿井点的分布范围 分布特点；
- (2) 开采沉陷区范围的确定 计算开采沉陷灾害的影响面积；
- (3) 开采沉陷影响范围内的水资源分布情况 解译沉陷区内的水系发育的分布情况、面积计算 泉的分布情况、面积计算；
- (4) 沉陷区内的土地资源和植被分布情况、面积计算等。

山西省是我国煤炭生产的重要基地 含煤地层面积占全省总面积的 40% 煤炭开采引起的地质灾害和环境灾害尤其突出 采用先进的遥感技术对全省进行大面积的沉陷灾害调查和评估非常必要。

数据源采用 1999 年 Landsat TM 遥感图像 对图像进行了一系列的几何校正和光谱校正后 建立解译标志 进行矿区沉陷灾害的计算机自动识别和目视解译处理 对解译结果进行实地调查并纠正解译结果。最终获得山西省煤矿开采沉陷灾害遥感技术解译成果 如下表 2。

2.2 雷达干涉测量技术方法

合成孔径雷达干涉测量技术 (ISAR 或 InSAR) 是一种新出现的利用合成孔径雷达图像测量各种地面变化现象的空间测地技术 是一种主动式卫星成像技术。它的突出优点是不受光照和天气变化的影响 可以获得很好的时间序列的图像数据。这种干涉测量可以获取地面位移场的完整密集的合成孔径雷达干涉图像。目前国际上已有几颗卫星可以提供合成孔径雷达图像 例如 欧洲空间局的 ERS-1/2 和 ENVISAT 雷达遥感卫星 日本的 JERS-1 雷达遥感卫星 俄国的 ALMAZ 雷达遥感卫星 加拿大的

表 2 山西省煤矿开采沉陷灾害遥感解译成果

沉陷区名称	1999 年			
	沉陷区面积 矿井点数	水系面积 (km ²)	泉域面积 (km ²)	土地面积 (km ²)
大同煤矿开采沉陷区	627	1291	1291	312
宁武煤矿开采沉陷区	461	768	772	646
西山煤矿开采沉陷区	460	1030	1030	895
霍西煤矿开采沉陷区	887	2502	2068	271.0
沁水煤矿开采沉陷区	2369	5416	5378	501.5
河东煤矿开采沉陷区	609	1538	1292	2907

注 1. 表中的结果是根据山西省煤炭开采对水资源的破坏影响及评价分析整理得到; 2. 表中开采沉陷区的土地面积未作分析

RADARSAT 雷达遥感卫星以及美国的 **SIR-C/X SAR** “奋进”号雷达遥感航天飞机等。**InSAR** 是利用雷达的相干性,即利用地面位移前后影像反射信号的相位变化来测量地面位置的变化,其精度是雷达波长的分数(厘米级)。它既可提供数字高程模型,又可提供时间跨度为几天到几年的地面变化,而且能以密集的空间覆盖检测地面目标的变化。

国外利用干涉雷达技术已有许多成功的应用实例,包括建立数字高程模型、地震活动区形变分析、火山爆发前后的形变分析、极地冰山的移动监测、板块运动监测、对林业、洋流和海冰研究、行星研究、对土地进行分类等都发挥了重要的作用。国内也开始了有关干涉雷达技术的理论和应用的研究,真正将干涉雷达技术应用于煤炭开采沉陷的监测和灾害评估研究还未见报道。

3 分析对比

煤矿开采沉陷灾害监测评价的目的就是通过一定技术方法计算采煤影响区内移动和变形情况,从而对灾害进行监测和科学评估。我们主要从以下 4 个方面对遥感技术方法和传统的技术方法进行分析对比。一是垂直形变观测的精度,二是观测的范围,三是成本,四是观测周期,如下表 3。

表 3 传统监测评价方法与遥感监测方法对比表

观测方法	垂直精度(厘米)	范围	成本	观测周期
水准测量	0.1	点	高	长
GPS	2~3	点	高	长
InSAR	<1	面(大范围)	低	短(全天时全天候)
光学遥感	较差	面(大范围)	低	较长(3~7月)

从分析的结果来看,遥感技术具有观测范围广、成本低、观测周期短的特点,雷达遥感在观测垂直变形,特别是煤矿开采引起的下沉,其精度要远远高于光学遥感;传统的水准测量和 GPS 测量,尽管其观

测精度高,但是,基于点的观测无法实现大面积的沉陷监测,且观测成本较高。

4 结论

很明显,随着空间对地观测技术的飞速发展,在 21 世纪我国的煤矿开采活动中,遥感技术将得到更广泛的应用。国外已经将合成孔径雷达干涉测量技术用于煤矿开采沉陷灾害的监测和评估,我国还未开展此方面的研究工作。将光学遥感(RS)和雷达遥感(InSAR)、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)以及常规的地面水准测量结合,对煤矿开采引起的沉陷灾害进行科学的评价,将能更好地对我国煤炭开采活动进行动态监测,能够进一步解决我国煤矿领域长期存在的无证开采、乱采滥挖问题,为开展星地一体化动态监测和沉陷灾害评价提供一种实时的技术手段都有重要的意义。先进遥感技术,特别是 InSAR 技术将成为煤矿开采沉陷灾害大范围监测技术中最具有竞争力的手段之一,在 21 世纪内必定得到长足的发展,取得丰硕的成果。

参考文献(References):

- [1] 李德仁,等.卫星雷达干涉原理及应用[J].测绘科学,2000,25(1):9-12.
- [2] 王超,张红,刘智,等.星载合成孔径雷达干涉测量[M].北京:中国科学技术出版社,2003.
- [3] 王超,刘智,张红,等.张北—尚义地震同震形变雷达差分干涉测量[J].科学通报,2000,45(23):2550-2554.
- [4] 单新建,王长林,等.星载 D-InSAR 技术及初步应用——以西藏玛尼地震为例[J].地震地质,2001,23(3):439-446.
- [5] 牛仁亮,等.山西省煤炭开采对水资源的破坏影响及评价[M].北京:中国科学技术出版社,2003,191-218.
- [6] Massonnet D, Rossi M, Carmona C, et al. The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry[J]. Nature, 1993, 364: 138-142.
- [7] Zebker Howard A, Farr Thomas G, Salazar Ronald P, et al. Dixon, Timothy H. Mapping the world's topography using radar interferometry. The TOPSAT mission[J]. Proceedings of the IEEE, 1994, 82(12): 1774-1786.
- [8] Camec C, Delacour C. Three years of mining subsidence monitored by SAR interferometry, near Gardanne, France[J]. Journal of Applied Geophysics, 2000, 43(1): 43-54.
- [9] Perski Z. Applicability of InSAR for land subsidence monitoring of the coal mining region, Upper Silesia Poland[R]. ESA/ESRIN Fellowship Report, 1998, 1-23.
- [10] Ge L. Ground subsidence monitoring using three-pass radar interferometry[C]. Annual Research Seminars, School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, November, Sydney, Australia, 2001, 5-6.