

关于采煤沉陷区的监测成果分析

——以淮南市某矿区为例

徐著

安徽省地质矿产勘查局 325 地质队, 淮北 235000

摘要: 经济的发展离不开资源的开发,煤炭作为一项重要的能源,支撑着人类的进步。但大量煤炭开采活动会导致地表的沉降,从而对生产生活造成严重的影响。安徽省淮南市拥有着丰富的煤炭资源,在多年的开采过程中形成了多处采煤沉陷区,对生态环境造成了一定的破坏,同时也阻碍着地区的发展。为了给生态修复工作提供依据,需对采煤沉陷区进行动态监测,进而根据监测成果运用科学技术合理地进行生态修复规划。

关键词: 采煤沉陷区;生态修复;沉降预测;耕地资源分析

中图分类号: TD167;X83;X171.4 **文献标识码:** A

Analysis of Monitoring Results in Coal Mining Subsidence Areas: A Case Study of A Mining Area in Huainan City

XU Zhu

325 Geological Team, Anhui Provincial Bureau of Geological and Mineral Exploration, Huaibei 235000, China

Abstract: Economic development relies heavily on resource exploitation, and coal, a vital energy source, underpins human progress. However, extensive coal mining activities can induce surface subsidence, significantly impacting production and livelihoods. Huainan City in Anhui Province, rich in coal resources, has developed multiple coal mining subsidence areas over years of extraction, causing ecological degradation and hindering regional development. To provide a scientific basis for ecological restoration initiatives, it is imperative to conduct dynamic monitoring of coal mining subsidence areas. The acquired monitoring data can then inform the application of advanced technologies to develop rational and systematic ecological restoration plans.

Key words: Coal mining subsidence area; Ecological restoration; Subsidence prediction; Cultivated land resource analysis

0 引言

煤炭是工业生产中非常重要的资源,为经济的发展提供了强劲的动力。但资源的不断开发也会出

现一系列环境问题,长期的煤炭开采会造成土地的不断沉降,沉陷范围和沉陷深度会逐年增加,大面积、高深度的常年积水区接连出现,进而造成耕地、农田、建筑等各类土地的损毁,破坏生态环境,导致

收稿日期:2024-07-20 改回日期:2024-09-23

作者简介:徐著(1995—),男,助理工程师,在安徽省地质矿产勘查局 325 地质队从事采煤沉陷区相关工作。E-mail:731997289@qq.com

引文格式:徐著.关于采煤沉陷区的监测成果分析——以淮南市某矿区为例[J].地质灾害与环境保护,2025,36(1):116-120.

XU Zhu. Analysis of monitoring results in coal mining subsidence areas: a case study of a mining area in Huainan City[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2025, 36(1): 116-120.

生物多样性下降^[1]。国外因采煤塌陷问题产生时间较早,先于国内开展采煤沉陷区生态修复研究工作。20 世纪 20 年代,Sauyer L. E. 提出于矿区开采损毁土地上植树之法,此方法不但能够修复塌陷地的生态环境,还可以减少修复成本,同时也使修复区的管理难度降低,此类方法经过发展逐步构成后续的景观生态再造技术。时至今日,国外有关采煤沉陷区治理的理论体系已然相对完备,形成了融合采矿学、地质学、人文地理学、自然资源与环境经济学等跨学科、多角度研究的格局。而国内对于采煤沉陷区的研究起步较晚,自 20 世纪 90 年代起,以基础的土壤植被修复和地形地貌重塑为出发点,运用生态学等相关理论,研究土地复垦相关技术,不断探索不同地区的治理模式及方法。近年来,我国采煤塌陷区治理效果显著,成果颇丰。山东济宁针对积水区提出了渔光互补的模式,将渔业和光伏产业相结合;安徽淮北针对采空区运用了挖深垫浅、煤矸石回填和粉煤灰充填等方法,依据需求达成不同的土壤修复效果;河北唐山提出在生态修复的基础上发展循环经济,为采煤沉陷区治理开辟了新思路。因煤设市的淮南,储有丰富的煤炭资源,是安徽省乃至华东地区煤炭资源最丰富的地区之一,也是华东地区重要煤电基地和安徽省重要煤化工基地。本文以淮南市某采煤沉陷区为例,通过分析相关采煤沉陷区的监测数据,提出相关治理方式和思路。

1 数据来源及测量方法

1.1 数据来源

本文研究所使用的调查数据是由 RTK 测量、正射影像航测以及激光雷达测量等方法获得,通过获取研究区的正射影像数据、数字表面数据以及数字高程数据,建立研究区的文档对象模型(document object model, DOM)、数字表面模型(digital surface model, DSM)和数字高程模型(digital elevation model, DEM)。再以沉陷深度为定量指标,使用 ArcGIS 软件将沉陷区分为轻度沉陷区、中度沉陷区和重度沉陷区。轻度沉陷区中下沉值为 10~500 mm,中度沉陷区中下沉值为 500~1 500 mm,重度沉陷区中下沉值为 1 500 mm 以上。

1.2 测量方法与数据处理

(1) 外业测量。选用支持网络 RTK 测量功能的双频 GPS 接收机,并在 AHCORS 系统服务中心进行登记、注册,获得系统服务的授权。在测量时应尽量保证有效观测卫星在 5 颗以上以及 PDOP 值在 6 以下,测量完成后及时导出。

(2) 航摄影像数据获取。通过无人机对研究区进行航摄,航摄影像完整覆盖整个研究区,航向及旁向重叠度一般为 60%~80%,最小不小于 55%;旁向重叠度一般为 15%~60%,最小不小于 8%。

(3) 航测数据处理。从解码后的原始测量数据中可以得到 IMU 数据、GPS 数据和激光测距数据等^[2]。基于差分 GPS 结果可以与 IMU 数据进行 POS 数据联合处理,并考虑系统检校已量测的偏心分量值,生成符合要求的点云数据;若 GPS 数据采用精密单点定位后处理模块进行处理,按照精密单点定位数据处理流程解算飞行过程中各个时刻飞机的准确位置。

(4) 点云滤波分类。剔除点云数据中的非地要素后,即可得到地表点云数据。生产数字高程模型应将点云数据的地面点和非地面点分离,地面点构 TIN 生成规则格网的 DEM,处理流程如图 1。

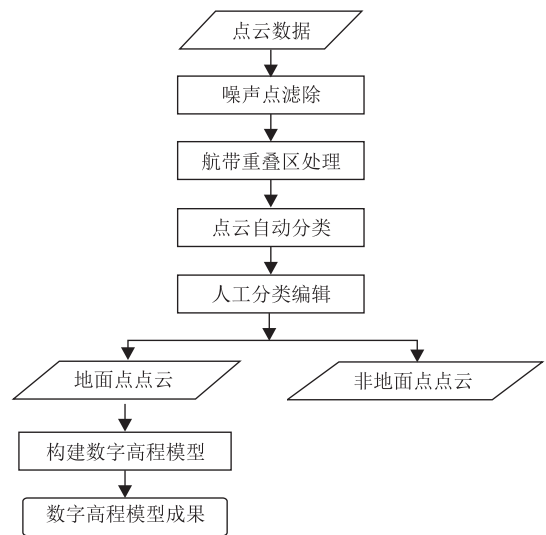


图 1 点云处理流程

(5) 高程数据对比。根据得到的 DEM 模型,提取研究区高程差值,通过分析地表不同点位高程变化情况,得到研究区的沉陷范围及沉陷深度,节选部分数据见表 1。

2 采煤沉陷区成果分析

2.1 沉陷范围特征

2021 年至 2023 年,该研究区每半年施行一次监测,针对此期间监测数据进行时序处理(图 2)。由各沉陷区范围分布及变化状况可知,2021 年至 2023 年,该研究区由外向内逐层分布着轻度沉陷区、中度沉陷区和重度沉陷区,整体呈中间深边缘浅的沉降漏斗特征,并且各沉陷区皆呈现出逐年扩大

表1 多点位两期高程对比

点位	下沉前标高 H_1/m	下沉后标高 H_2/m	下沉值 ΔH
1	23.038 5	22.667 0	-0.371 4
2	23.457 9	22.980 8	-0.477 1
3	23.384 6	22.838 5	-0.546 1
4	23.744 6	23.056 6	-0.688 0
5	23.191 9	23.144 2	-0.047 7
6	22.954 8	22.073 3	-0.881 5
7	23.160 3	22.207 9	-0.952 4
8	23.145 3	22.121 3	-1.024 0
9	22.959 0	21.874 9	-1.084 1
10	22.837 2	21.663 2	-1.174 1
11	22.752 0	21.519 3	-1.232 6
12	22.740 1	21.464 3	-1.275 8
13	22.470 1	21.161 0	-1.309 1
14	22.603 1	21.246 0	-1.357 2
15	22.775 3	21.394 3	-1.381 0
16	22.734 0	21.332 9	-1.401 1
17	22.714 7	21.283 4	-1.431 3
18	22.872 6	21.420 5	-1.452 1
19	22.684 6	21.205 1	-1.479 5
20	22.643 7	21.124 3	-1.519 4

的变化态势,符合开采沉陷规律。将沉陷区范围套合各年度井下开采面范围,可发现中度沉陷区和重度沉陷区与井下开采面基本保持一致,其中重度沉陷区会略小于井下开采范围,中度沉陷区会略大于井下开采范围,说明井下开采活动范围与中度沉陷区和重度沉陷区的关联性较强;而轻度沉陷区则超

出井下开采面较大范围,这是由于临近工作面的采动以及覆岩的连续性,致使轻度沉陷区在井下开采范围的基础上还会向外延展一定距离。

对比图2中重度沉陷区和井下开采面的位置分布变化,2021年井下开采面东北角已有开采活动。但该位置重度沉陷区形成于2022年而不是当年,其原因是在开采阶段初期,工作区对地层的扰动未传播至地表,地面的沉降值尚且较小,沉陷程度不明显。此后伴随开采的持续进行,逐渐形成了重度沉陷区,这表明井下开采对地表的沉降影响存在一定的滞后性。

2.2 沉陷区扩大速率

通过 ArcGIS 软件中的面积计算工具,可定量计算出各程度沉陷区的面积,如表2所示。自2021年初至2023年底,沉陷区总面积共增加101 hm²,年平均扩大速率达33.64 hm²/a。其中重度沉陷区面积共增加142 hm²,年平均扩大速率达47.27 hm²/a;中度沉陷区面积共增加14.87 hm²,年平均扩大速率为4.96 hm²/a;而轻度沉陷区面积共减少56 hm²,年平均减少速率为18.58 hm²/a。但轻度沉陷区面积的缩小并非意味着整体沉陷区的缩小,而是在沉陷区的动态变化过程中,部分轻度沉陷区逐步转变成中度和重度沉陷区;并且由于轻度沉陷区已超出开采面的范围,而开采工作的推进对边缘

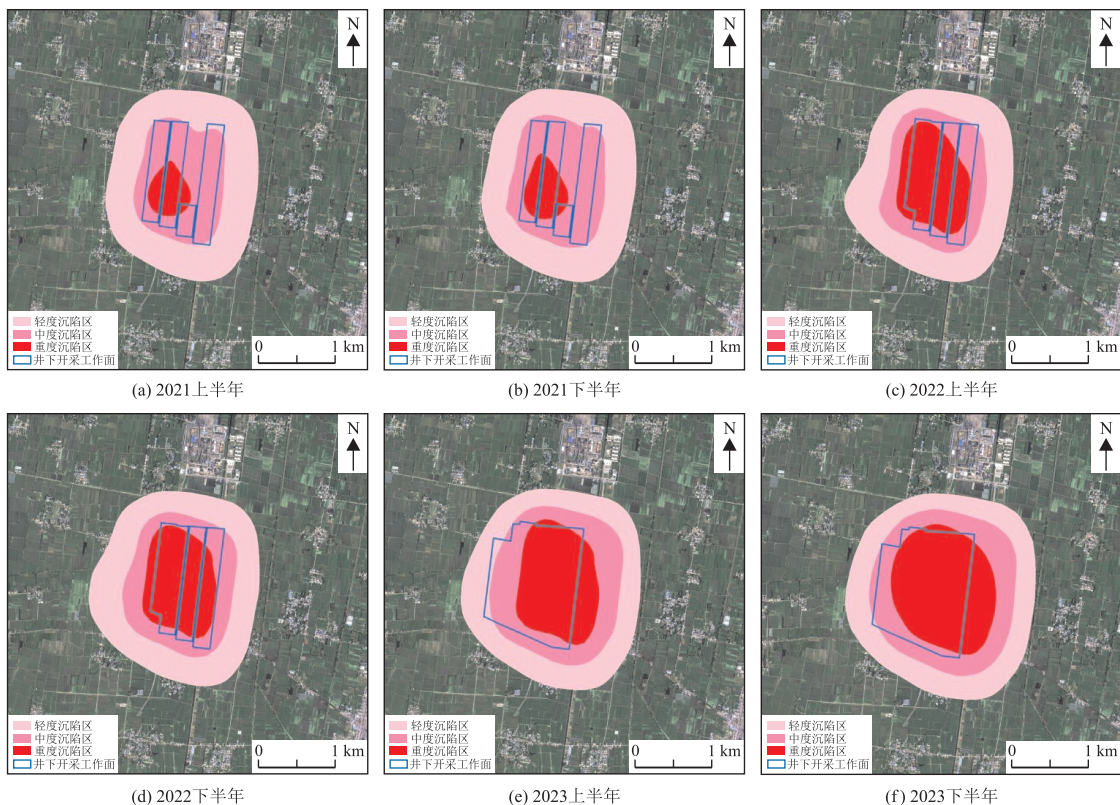


图2 沉陷区时序处理图

表2 沉陷面积变化

年度	沉陷区总面积/hm ²	轻度沉陷区/hm ²	中度沉陷区/hm ²	重度沉陷区/hm ²
2021上	408	250	129	29
2021下	415	235	144	35
2022上	428	222	102	105
2022下	447	228	109	111
2023上	492	204	150	137
2023下	509	195	144	171

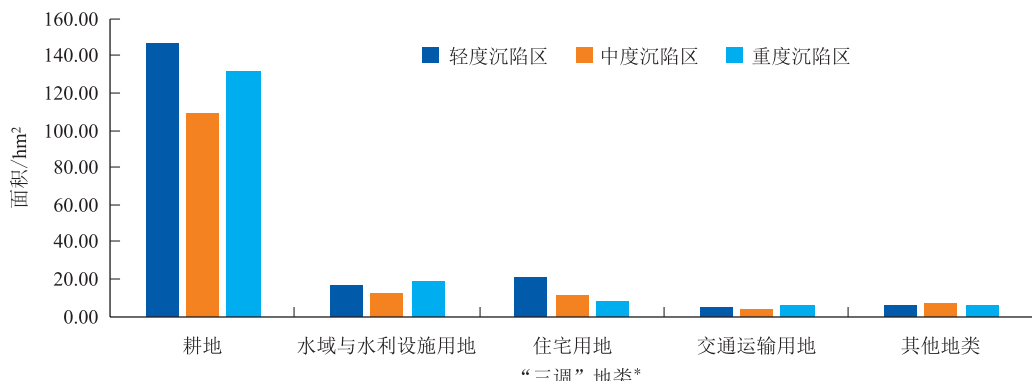
部分扩大的影响小于中间部分,致使轻度沉陷区面积的减少以及中度和重度沉陷区的增加。

进一步分析不同沉陷区的扩大速率,对照表2中2021年上半年和2022年上半年的数据,此期间沉陷区总面积扩大较少,为20 hm²。其中重度沉陷区扩大76 hm²,而轻度沉陷区缩小28 hm²,这表明不同沉陷区的扩大速率差别较大。当外部轻度沉陷区扩大速率较慢之时,内部重度沉陷区的扩大速率能够较快,呈现出区域化的沉降趋势。自2022年上半年至2023年上半年,此期间沉陷区总面积扩大64 hm²,同比增加44 hm²。而其中重度沉陷区扩大32 hm²,同比减少44 hm²,得到了与上一年相反的结果。外部轻度沉陷区的扩大速率较快而内部重度沉陷区的扩大速率较慢,这与波动式沉降特征以及开采活动对地表沉降影响的滞后性有关,说明2021

年度重度沉陷区进入了加速沉降期,但2022年进入了缓慢沉降期。而外部的轻度沉陷区和中度沉陷区部分在2021年度进入了缓慢沉降期,但2022年度进入了加速沉降期。

2.3 土地损毁分析

煤炭的井下开采会导致地表的移动、变形和沉陷。轻则造成表土层松动,从而破坏植物的生长环境,让粮食减产,威胁树木植被的生存;重则会使沉陷区呈季节性积水或常年积水,原有土地功能遭到完全改变,区域内农作物绝产,树木植被全部死亡,如果不加治理还会加剧水土流失,侵蚀加剧。第三次国土变更调查(以下简称“三调”)是自然资源管理体制改革后在全国范围实施的重要国情调查,涵盖了每块土地的利用现状信息。通过套合沉陷区范围内的“三调”,可以得到沉陷区范围内的损毁土地地类分布情况,为沉陷区内的土地复垦提供依据。图3为该研究区2023年下半年沉陷区套合“三调”结果。可以看出,无论是轻度沉陷区、中度沉陷区还是重度沉陷区,其中破坏的土地类型主要为耕地,其次为水域与水利设施用地、住宅用地、交通运输用地等。其中村庄、道路、铁路专用线以及水利、电力、通讯等基础设施受采煤沉陷影响较为严重,这将成为后期的土地复垦工作中的重点内容。



*说明: 其他地类为“三调”中除图中前4项地类外所有地类的汇总

图3 沉陷区土地损毁情况

3 采煤沉陷区监测成果应用

3.1 沉陷区范围预测

沉陷区的变化是一个动态且长久的过程,它伴随着煤矿的开采而持续存在,受采空区影响,采煤沉陷区的范围变化也具有一定的规律性。对于地表沉陷变形预测的研究,国内外专家提出了多种方法,目前,我国比较常用的地表移动变形计算方法有概率积分法、负指数函数法、威布尔函数法和典型曲线法等^[3]。本文对研究区地表沉陷预测采用概率积分

法,结合监测成果中相关参数,以5 a为一个阶段,预测到2028年。该研究区的轻度沉陷区、中度沉陷区和重度沉陷区分别将达到403 hm²、474 hm²和295 hm²,总计1 172 hm²,范围如图4所示。

3.2 耕地复垦区域及方向的确定

耕地是保障国家粮食安全和经济社会稳定的根基^[4],耕地复垦可以让耕地得到合理利用,实现耕地资源的可持续利用,促进经济和环境和谐发展。通过对采煤沉陷区中的损毁土地地类分析,确定出沉陷区范围内的耕地复垦范围。根据沉陷程度的不

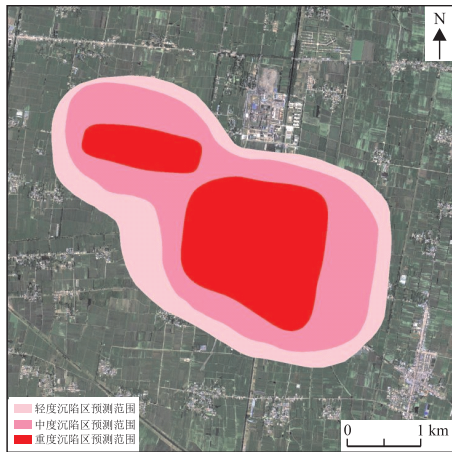


图4 沉陷区预测图

同,对耕地复垦范围进行分区,继而对各个分区采取不同的复垦措施。在轻度沉陷区中复垦成耕地区域的,因该区地面只有微微形变,土壤养分状态无变化,只需稍作平整,沿用原来的灌排设施和道路即可耕种。在中度沉陷区中复垦成耕地区域的,该区地表凹凸变化较大,对农田的正常耕作影响较严重,可采取挖高填低整理。在土地平整前,先将地表30~50 cm的耕植土剥离,暂时堆放在附近,接着利用挖掘器械在重度沉陷区中积水区域的泥土挖出,回垫至中度沉陷区地势低处推土整平,之后再将之前剥离的表土覆上整平,便可恢复土地原有使用功能^[5]。本文所研究沉陷区内,总沉陷面积为509 hm²,耕地复垦总面积388 hm²。其中轻度沉陷区中的耕地复垦面积为147 hm²,中度沉陷区中的耕地复垦面积为110 hm²,重度沉陷区中的耕地复垦面积为131 hm²。

3.3 沉陷区治理

对采煤沉陷区进行治理,可以最大程度地减少矿山地质灾害和矿山环境问题的发生,避免和减轻地质灾害造成的损失,实现采煤沉陷区开发利用与环境保护的协调发展^[6]。

通过现状与预测分析,对采煤塌陷区内矿山地质环境主要问题进行总结,主要在于长期高强度井下采掘活动,导致矿区地质环境破坏严重,造成地表大面积沉陷积水,地面建构物破坏以及含水层结构破坏等,使土地资源锐减。为了合理开发和科学利用采煤沉陷区,在治理过程中要结合自然因素和社会经济因素,在符合土地利用总体规划的基础上优先恢复成农用地。在轻度沉陷区和中度沉陷区中的水土资源条件较好的区域,可以通过挖深垫浅、土地平整、修路固坝等措施,使其恢复为具有可耕种能力的农业用地。对于修复后肥力较差、土地生产能

力较弱的土壤,可以选择在其中栽种对土壤条件要求不高、易存活的果树,如苹果树、梨树、柿子树等进行果园种植^[7]。而重度沉陷区积水区域,因其水源充足、水深水温适中、水体封闭,可以发展相对投入少、易管理的渔业,同时在周围配套发展禽畜养殖、果树种植及农副产品加工,按照生态学食物链原理合理组合,实现以水产养殖为主,种植、养殖、加工综合经营的模式。另外,还可以通过平整场地、填坪覆土、植被绿化等方法,在沉陷区内建立矿山生态公园、景观绿化带以及水上公园等设施,构建水域-绿地-山体相融合的城市绿色空间。

4 结论

为了及时预防和治理煤炭开采造成的地面塌陷,本文通过对淮南市某沉陷区的监测,从沉陷程度和范围的角度出发,结合土地损毁地类分析,探索相关应用方向,得到结论如下:

(1) 根据沉陷程度的不同可将沉陷区分为轻度沉陷区、中度沉陷区和重度沉陷区,沉陷程度由外向内逐层递增,不同程度沉陷区的扩大速率呈现出不一致性,但总体上处于不断增长的趋势。

(2) 采煤沉陷区内的耕地遭到损毁最多,其次是水域与水利设施用地、住宅用地、交通运输用地,耕地损毁占比超过75%。

(3) 采煤沉陷区监测成果可在沉陷区范围预测、耕地复垦以及修复治理得到应用,为矿区的可持续发展规划提供依据。

参考文献

- [1] 陈圆,青尚敏.广西北部湾海洋油污影响与应急管理浅析[J].南方国土资源,2012,29(12):32-35.
- [2] 郭岩.机载激光雷达技术在电力工程勘测中的数据采集与处理[J].百科论坛电子杂志,2020,3(8):1091-1093.
- [3] 宋红兵,温强.基于概率积分法油气管道矿山采空区变形预测[J].安全,2012,33(10):7-10.
- [4] 孔祥斌,陈文广,党昱譔.中国耕地保护现状、挑战与转型[J].湖南师范大学社会科学学报,2023,52(5):31-41.
- [5] 秦广洲,郭英帅.安徽省淮南市某煤矿矿山地质环境保护与土地复垦方案研究[J].内蒙古煤炭经济,2023,41(15):190-192.
- [6] 李焕平.浅谈露天采矿矿山地质环境治理及恢复的重要意义[J].中国石油和化工标准与质量,2011,31(12):224.
- [7] 孙晓娟,孙瑶,陈永春.淮南采煤沉陷区湿地保护与利用模式研究[J].内蒙古林业调查设计,2016,39(6):5-7,35.
- [8] SAWYER L E. Indiana strip-mine plantings[J]. Journal of Forestry, 1946,44(1):19-21.