

徐州旗山矿采空区地面塌陷特征及治理方案优化

苍天成

中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏 徐州

收稿日期: 2023年3月1日; 录用日期: 2023年3月31日; 发布日期: 2023年4月12日

摘要

采煤塌陷区的治理是一项多学科、多技术手段的综合治理, 废弃矿区的地面塌陷区治理对于生态修复具有重要意义。分析了研究区采空区地面塌陷的特征, 根据塌陷程度划分为严重区、较严重区和轻微区, 阐明了研究区的采空区地面塌陷防治方法, 针对研究区的塌陷区治理设计了A、B两套方案, 通过技术、经济的综合对比, 认为方案B具有更优的经济技术合理性, 有利于提高研究区地面塌陷治理的综合经济效益, 也具有较好的参考价值。

关键词

采煤塌陷区, 采空区, 地质灾害, 治理, 优化

Characteristics of Goaf Ground Collapse and the Optimization of Its Treatment Scheme in Qishan Mine, Xuzhou, China

Tiancheng Cang

School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu

Received: Mar. 1st, 2023; accepted: Mar. 31st, 2023; published: Apr. 12th, 2023

Abstract

The treatment of coal mining collapse area is a comprehensive treatment of multi-disciplinary and multi-technical means, and the treatment of ground collapse area in abandoned mining area is of great significance to ecological restoration. In this paper, the characteristics of goaf ground collapse was analyzed, taking the Xuzhou Qishan Mine as an example, the goaf ground collapse was

divided into serious, relatively serious and slight areas according to the degree of collapse. The prevention and control methods for the goaf ground collapse were clarified, and two sets of schemes A and B for the treatment of collapse area in the study area was designed. Through the comprehensive comparison of technology and economy, scheme B is considered to have better economic and technical rationality, which is conducive to improving the comprehensive economic benefits of ground collapse treatment in the study area and also has better reference value.

Keywords

Coal Mining Subsidence Area, Goaf Area, Geological Disaster, Treatment, Optimization

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

煤炭资源占能源消费的主体，江苏省徐州市曾经是煤炭大市，随着大规模的地下煤炭开采，导致了徐州矿区地表大面积塌陷，以贾汪区为例，煤炭开采塌陷土地面积累计达到 308 hm²，诱发了一系列的地质灾害，对国民经济建设和人民生命财产造成严重威胁。采煤塌陷区生态环境的破坏有多种形式，诸如地表沉陷、土壤剥离或盐渍化、植被损毁、地表水及地下水的平衡被破坏等，此外还造成粉尘、污水及有害气体等工业污染[1]。

采空区塌陷的治理应遵循因地制宜、综合治理、顺应自然、尊重自然的原则，并采用一地一策、一矿一策、甚至一点一策的策略[2]。采煤塌陷区的治理一般应在调查塌陷区地质环境条件、分析塌陷区破坏特征的基础上，针对地质环境问题设计恢复治理方案，一般采取土方回填技术、生物性复垦技术、农田水利设计、地质灾害治理技术等措施[3] [4]。生态修复是中国近年来愈来愈受到重视的治理方式，很多采煤塌陷区的治理思路为规划设计生态公园，实施人工湖、人工岛及土地平整治理措施，不仅改善了当地的生态环境，而且可以开拓文旅的发展，推动了资源枯竭型城镇的产业转型[5] [6]。对于一些地质环境条件特殊的矿区，例如高潜水位采煤沉陷区，则以恢复耕地、疏通水系、修复道路为主，辅以景观、水体治理的策略解决沉陷区的地面塌陷、地形地貌景观破坏、土地资源破坏、水资源水环境破坏等问题[7] [8]。自然环境较恶劣、土地资源紧缺的西部地区，一般应以消除地质灾害、进行土地复垦和恢复环境为重点[9]。南方山区岩溶发育，土地资源也很紧缺，主要措施为地面塌陷防治、土地资源恢复和塌陷区移民等[10] [11]。采煤塌陷区的治理是一个多学科技术的综合应用，治理工程中可能涉及到工程地质问题[12]、遥感影像的 3S 技术应用研究[13]等相关学科的理论与技术。

采煤塌陷区治理既是一个技术问题，也是一个经济问题，以往的研究多重视方案设计和技术措施，有关经济技术比较研究相对较少。本次研究以徐州市贾汪区旗山矿采煤塌陷区为研究对象，对采空区地面塌陷特征进行分析，对原有治理方案进行优化，通过经济技术对比提出优化的治理方案，为同类型的采空区治理提供借鉴和参考。

2. 矿山基本情况

(1) 交通位置：研究区位于徐州市东北 26 公里的贾汪区大吴镇境内，井田位于贾汪~潘家庵含煤盆地的东南部，206 国道贯穿井田南北，在鹿庄附近与 310 公路交汇，东达连云港市(图 1)。



Figure 1. Traffic location map of the study area
图 1. 研究区交通位置图

(2) 地层与构造：旗山矿位于贾汪~潘家庵含煤盆地的东南部，为全隐蔽煤田，覆盖于第四系冲积层之下。在矿区东南部的李家山、峙山等有煤系下伏的老地层出露。根据地面踏勘及钻探揭露，旗山矿及附近地层由新到老主要有：第四系(Q)、古近纪(E)、二叠系(P)、石炭系(C)和奥陶系(O)。

旗山矿以 F₅ 断层为界分为贾汪矿区和潘家庵矿区，潘家庵矿区位于 F₅ 断层以南，总体上是一个不完整的向斜构造，南部为煤系地层隐伏露头区，北部以 F₅ 断层与贾汪矿区相邻。潘家庵含煤盆地为一南北狭窄，中间宽阔的复式向斜，总体走向北北东，含煤面积约 170 km²，受四周大断裂的影响，形成中间底凹，四周抬起的盆地，构成一个封闭的构造系统。

(3) 煤层及开采历史

根据矿井资料，井田有 3 层可采煤层，自上而编号为 1、3、9 煤。1 煤层位不稳定，煤厚及与 3 煤的层间距变化较大，煤层平均厚度 1.5 m，与下伏 3 煤平均间距 13 m。3 煤作为矿井主采煤层，结构稳定、简单，局部有夹矸，煤层平均厚度 3.42 m。9 煤平均厚度 1.89 m，结构较简单，属局部可采的较稳定中厚煤层。

旗山矿井始建于 1957 年 12 月，1959 年 12 月简易投产，井田面积 28.30 km²，经二次改扩建设计后生产能力 150 万 t/a，主采下石盒子组 1、3 煤，配采山西组 9 煤，采用竖井和皮带机斜井的综合开拓方式，采煤方法以综采为主，矿井已于 2011 年关闭。

3. 采空区地面塌陷特征

3.1. 采煤地面塌陷原理

采煤塌陷区是由于赋存在地下的煤炭被开采后形成了采空区域，采空区上覆岩层在重力的作用下，逐渐开裂、断裂、分离，最终下陷形成了沉陷区。一般将上覆岩层受采动破坏所形成的破坏带划分为冒

落带、裂隙带和弯曲带(简称“上三带”)。冒落带是指采空区顶板岩层在矿山压力作用下自然垮落的岩层带;裂隙带是指顶板岩层在矿山压力作用下发生断裂的层带;弯曲带是指顶板地层在矿山压力作用下发生连续性弯曲的层带。采煤塌陷不仅破坏了地表原有地形,加重了工业污染,还打破了原有的生态平衡,造成了难以估量的经济损失。

3.2. 研究区地面塌陷特征

旗山矿地处平原,根据研究区地表的塌陷特征,笔者将塌陷区按照塌陷程度划分为严重区、较严重区和轻微区。在塌陷程度严重区,煤层开采引起地表出现不同程度的下陷,最大沉陷深度约 2.8 米,局部区域地表变形较大,下沉较深区域由于地下水的出露而变为水塘,众多房屋出现整体坍塌。目前浅部采空区所诱发的地质灾害已显现出来,在地表主要表现为地面塌陷,诱发多处塌陷坑以及地裂缝,地面大量散落浮渣浮石,农田及林地几乎没有植被覆盖,道路高低不平,引起地形地貌景观的完全改变。在塌陷程度较严重区,地面出现中等程度下陷,最大沉陷深度约 1.5 米,部分地面沉陷区域出现少量积水渗出现象,房屋出现墙体开裂,林地及农田作物部分枯死,沿河堤坝出现多处垮塌地点,水利、电力等生活设施出现不同程度的破坏,地貌景观发生了部分改变。在塌陷程度轻微区,最大沉陷深度约 0.5 米,个别房屋出现墙体裂缝,农田及林地植被丰富,路面较为平坦,没有出现大幅度塌陷坑,地形虽发生了一定的变化,但整体变化较为平缓,地貌景观改变较小(图 2)。



Figure 2. Zoning map of collapse degree in collapse area
图 2. 塌陷区塌陷程度分区图

4. 采空区地面塌陷防治方法

引起煤矿采空区地面塌陷的因素是多种多样的,如工作面大小、煤层厚度、开采深度、矿柱留设尺寸、地层岩性与地质构造、开采方式等。国内外采空区地面塌陷防治已经积累了丰富的经验,一般治理

措施有：村庄搬迁、塌陷区回填、塌陷区疏排积水及土地复垦、发展渔业养殖及旅游业等生态修复等。针对旗山矿煤层赋存及地质条件、开采方式、塌陷特征等特点，采取了如下防治措施：

4.1. 村庄搬迁避让

提前选取不再压煤的就近地区对受到采空区威胁的周边村庄实施整体搬迁，回填压实塌陷区作为搬迁村庄的宅基地，节约土地资源，实行统一规划，为新农村建设打下基础。

4.2. 塌陷区回填

在干旱塌陷坑中使用挖掘机开挖至塌陷坑底部，再使用大块煤矸石、废弃混凝土板等作为垫底，接着回填小块碎石，然后回填泥土，最后使用压路机分层压实。塌陷坑夯实之后须在原址上方堆积小型土包并压实，预留一定的下沉量，确保即使在原塌陷坑再次塌陷后，也不会继续形成塌陷坑洞。积水区塌陷坑坑较大且填埋成本巨大，对于塌陷深度大、常年积水的区域，应因地制宜，保留水面，集中开挖水库、蓄水池、鱼塘等，坑中取土用于干旱塌陷坑的填埋。

4.3. 保护煤柱留设

留设保护煤柱是一种传统且行之有效的措施，但是可能会导致矿体永久损失。其原理是避免采空区四周侧向压力对新的回采巷道围岩稳定性产生影响，采用预留永久煤柱来支撑采空区的顶板，同时有效隔绝采空区有害气体外溢。在闭坑煤矿治理方面，一般对工业广场留设保护煤柱，对村庄、厂矿企业、公路、铁路均不留设保护煤柱。

4.4. 受损基础设施维修加固

对塌陷区受损的沟渠、道路等进行维修加固或重建，加固河堤并进行绿化整治，建立地表移动观测站，保障防汛安全。

4.5. 土地复垦与平整

拆除工矿用地厂房，重新开辟为农耕地，对于塌陷深度较浅的塌陷区可以就近取土填平，施加化肥逐步恢复为耕地发展农业种植、家禽饲养。

4.6. 植树造林工程

在交通不够便利却有耕种价值的土地植树造林，选取生长速度快、枝叶繁茂、成本低廉的树种栽种下去，便于快速成林，形成风景带，同时发展果蔬产业。

5. 地面塌陷治理方案及优化

针对研究区的地面塌陷治理提出了 A、B 两个方案，方案 A 提出的原则是最大程度地减少矿山地质环境问题的发生，减小地质灾害造成的损失，有效遏制对地形地貌景观、土地资源的破坏性影响，保护矿区地质环境；方案 B 除了包含了方案 A 的因素以外，更多考虑了矿产资源开发与地质环境保护的协调发展，强化了环保与生态的因素，通过设计提升治理后的经济效益，实现矿区自然环境与经济的可持续发展。

5.1. 方案 A

考虑到矿区塌陷程度严重区村镇的居民房租已经出现开裂、倾斜、坍塌等现象，对该地所有村镇进行集中搬迁，将所有需搬迁村镇搬迁到矿区北侧的塌陷程度轻微区，不再压煤，避免二次搬迁，就地建

设新村, 实行统一规划, 为新农村建设打下基础。

对许场、鹿庄、徐台及附近的工矿用地的工业设备进行拆除, 清运建筑垃圾, 统一运送至罗圩, 封闭矿区西南侧众多小矿的废弃井口。

对所有塌陷程度严重区和中等区进行挖方, 挖深至 2.8 m 处停止挖掘, 使塌陷区积水上涌连通形成人工湖并命名为旗山湖, 建立生态湿地, 所有挖方泥土运送至矿区东北侧, 在鹿庄建立游船码头, 开展水上旅游项目, 增加收入。

对西大吴以北, 潘家湖生态湿地以南实施土地复垦, 采用回填、覆土、平整及修建农田水利工程的方法进行治理。施工时以机械施工为主, 人工施工为辅。对塌陷深度 1 m~1.5 m 的地段, 先用煤矸石或挖深处的土回填作为底层土, 上部 0.5 m 覆土, 后进行平整。再对治理地段进行田块施工, 保证相邻田块的高差应小于 0.5 m, 以期有利于水土保持和表层耕植土的利用。

原大蔡庄西侧土地, 规划为养殖场, 饲养鸡、鸭、鹅、猪等家禽, 每年定期出售。原湖里镇西北侧地块建设商务酒店和国际会议中心, 发展湖景旅游住宿产业, 提供高质量的旅游接待服务和休闲商业服务, 同时辅以特色文化服务, 提升矿区的产业经济价值, 带动当地经济发展。湖里镇南侧广大地区除个别水塘和林地外, 规划种植小麦。在矿区东侧, 董庄煤矿以北地区开展植树造林工程, 首先对该地块进行松土, 接着在水塘周围栽种树木, 促进矿区绿色农业、观光农业发展, 在树种选择方面主要种植白杨树、柳树、松树等, 耐旱耐涝, 易管理。

鉴于地面塌陷已经影响到不牢河的土质堤坝的安全, 故应沿河建立地表移动观测站, 以便及时掌握河堤受损情况, 对于已经受损的河堤应该使用土块和矸石对河堤进行裂缝修补和加高增厚处理, 以确保河堤在采空区段安全运行。

地表沉陷对道路的影响主要表现在下沉造成路面起伏凹凸不平, 在拉伸区和压缩区会造成路面的开裂等路面损坏。根据塌陷区内实际情况, 塌陷深度小于 0.5 m 的道路不影响正常通行, 可不进行修复, 塌陷深度大于 0.5 m 的道路需进行垫高重新修建, 路基采用煤矸石回填, 分层压实, 分层厚度不大于 0.5 m。对张庄东北侧煤矸石进行清运, 塌陷路段可采用煤矸石回填地基, 随塌随填(表 1)。

5.2. 方案 B

塌陷严重区大多位于矿区东侧, 塌陷深度大于 1.5 m 小于 3 m, 塌陷区中有大量居民区, 为了保证矿区居民的生命财产安全, 将许场、段庄、徐台、大蔡庄、潘安镇、潘庄等进行逐步搬迁。采用 3S 技术手段, 对旗山矿开展矿山环境遥感监测, 准确识别出塌陷区居民房相关信息。塌陷区总搬迁面积为 73,550 m², 其中住房面积为 52,100 m², 总搬迁人口共 24,359 人。将潘安镇、耿庄、大蔡庄搬迁至矿区西北侧林地旁, 鹿庄及其砖厂搬迁至北侧河流旁命名为新鹿庄, 潘庄搬迁至东侧不牢河旁, 徐台镇搬迁至北侧临近新潘庄, 湖里搬迁至原址东侧塌陷程度轻微区, 命名为新湖里镇, 彭庄搬迁至董庄煤矿西侧命名为新彭庄, 常庄搬迁至虎庄南侧, 命名为新常庄, 西白腊园搬迁至选址东侧, 命名为新西白腊园。参考徐州市拆迁补偿标准, 按照 2400 元每平方米补偿费对居民区搬迁费用进行计算。

在图中塌陷区规划建设一人工湖, 命名为银杏湖, 面积约 72,000 m², 其中塌陷严重区约 46,000 m², 塌陷程度较严重区约 21,000 m²。拆迁区地表清理完毕后, 继续对地表土壤进行挖深, 根据勘探资料银杏湖规划区塌陷深度普遍在 1.5 m~2.5 m, 大部分地区积水严重, 对银杏湖规划区中塌陷后高于或低于潜水位面的部分, 均使用挖掘机向下挖深直到低于水平面 2.8 m 处停挖, 保证积水完全淹没规划区, 对场地土方实施“挖、运、填、压”, 充分利用了原本废弃的积水区域, 在保证土方平衡减少经济损耗的前提下, 营造如麦田、渔业养殖、沿岸湿地等多样的景观空间, 真正实现低影响开发。银杏湖预计挖方量 62,000 m³, 默认大型渣土车参与运输, 运输价格参考徐州市发改委下发的渣土运输价格。将挖掘出来的泥土运送并堆

放到彭庄、常庄以南，在西白腊园及以南塌陷严重区，对洼地和积水区进行堆积填埋并压实。

考虑到矿区东侧塌陷程度严重区水土环境已经被破坏，即使填平后也无法栽种作物，遂在其上规划建设光伏电站，服务年限 50 年。将 8000 块太阳能电池板安装在场地上，每天实时调控电池板对准阳光的角度，并入国家电网向当地农户提供廉价清洁的电力，安装时注意保持间距，派遣工人定期在地面除草保证电站安全。

银杏湖东侧塌程度较严重区域，塌陷深度在 0.5 m~1.5 m，地形地貌景观影响程度较轻，水土保持能力较强，区域面积约 22,000 m²，划分为南北两地块进行治理。北地块北侧靠近不牢河水源，本就有零星林地，现在将该区全部规划为林地，先进行土地复垦，其中生物复垦技术采用关键层再造，用菌肥、微生物活化剂、增加有机质和腐殖质等增加土壤肥力，为植物的生长提供必需的营养物质，改善植物的生长周期，再采取土地重整、植物绿化等措施，开发城市生态服务功能，提升城市宜居度和舒适度，然后以 4 m × 4 m 间隔种植柳树、松树、杏树、桃树、苹果树，栽种半年后进行第一次松土。南地块的面积远大于北地块，受采空塌陷影响，地面略显凹凸不平，但土层并未发生较大改变，目前可以正常种植农作物，按田块单元开展土地平整，消除地表塌陷引起的附加坡度。南地块有矿区铁路和 301 县道穿越，交通较为便利，故发展新鲜蔬菜瓜果种植业，由西南向东北依次种植草莓、番茄、青菜、白菜、玉米，种植面积大致均等，安排农民定期浇水灌溉，打药除虫，成熟后即刻收获，通过 301 县道运输至徐州市各大农贸市场销售。

原湖里镇西侧规划建立农家乐，依托银杏湖发展乡村旅游业，沿湖建立观景台供游客拍照打卡地点，将乡村生活与生态湿地融为一体。

矿区西北侧地区，面积约 24,000 m²，包括旗山煤矿主楼，建平二矿等众多工矿用地，拆除地面工矿设备及建筑，清运垃圾，种植小麦，在原址建立面粉加工厂，方便小麦收割后及时加工进而销售。

对徐台庄西北侧，大蔡庄东南侧部分塌陷程度为严重的河堤进行水泥砂石砌筑修复，对其余塌陷程度为较严重和轻微的受损河堤采取裂缝注浆修复，以此缩小需修复堤坝的长度，从而减小工程量，在具体的实践过程中，为了防止河流的渗透作用，在河流的两岸位置应该使用砌筑砂浆进行涂抹处理。

清理张庄东北侧的矸石山，将矸石山中的矸石进行尺寸分类，挑选尺寸较小的矸石对堤坝破坏程度轻微的地段进行充填砌筑，避免大量使用混凝土造成环境污染和经济浪费。塌陷区内受损道路，若塌陷深度在 0.5 m 以内的可以不用修复，塌陷深度大于 0.5 m 的道路，先用大块矸石充填底部，再使用小块矸石铺平上部，最后对小型裂缝注浆填充并用混凝土抹平路面。

西大吴镇北侧地块面积较广，有众多小型塌陷坑，计划在该地区开挖众多水塘，开挖深度在塌陷面以下 3 m~5 m，地下常水位线下 2 m~3 m，长宽在十几米到数百米的规模。水塘建成后可以大力发展水产养殖业，也可以作为鱼塘供垂钓爱好者钓鱼，按照时长收费，引入鲤鱼、鲫鱼、草鱼、鲢鳙等鱼苗，定期安排村民投喂饲料，清除水草，修筑围栏(表 1)。

Table 1. Comparison of the budget of the governance plan in the study area

表 1. 研究区治理方案预算对比

方案 A			方案 B		
项目名称	数量/面积/体积	金额	项目名称	数量/面积/体积	金额
村庄搬迁	34.5 hm ²	3886 万元	村庄搬迁	21.6 hm ²	2434 万元
挖方	885,778.82 m ³	788 万元	挖方	593,320 m ³	472 万元
泥土运输	885,778.82 m ³	115 万元	泥土运输	593,320 m ³	77 万元
游船码头建设、装修	850 m ²	50 万元	光伏电站组件	8000 件	280 万元

6. 结论

(1) 旗山矿历经五十余年的开采, 矿区地面塌陷特征是: 从矿区中心的工矿用地到矿区四周农田以及林地, 塌陷程度由高渐进式降低, 根据塌陷程度可分为严重区、较严重区和轻微区, 相应的最大沉陷深度分别为 2.8 米、1.5 米和 0.5 米, 总体塌陷规模可控。

(2) 旗山矿采空塌陷区在治理过程中采取的主要措施有: 危房居民集中搬迁, 清理工矿用地, 开挖人工湖发展旅游观光产业, 实施土地复垦, 发展养殖业和林业, 修复受损河堤与塌陷道路。

(3) 方案 B 的优越之处在于: 治理措施更加合理和细化, 治理成本大幅降低, 交通便利性有所提高, 产业契合度较高, 注重环境保护的同时兼顾了治理后的经济效益, 具有更优的经济合理性。

(4) 采空区地面塌陷的治理, 除了需要消除地质灾害造成的损失, 减缓对土地资源的破坏性影响, 保护矿区地质环境, 同时, 更应考虑矿产资源开发与地质环境保护的协调发展, 通过因地制宜的设计, 提升治理后的经济效益, 实现矿区自然环境与经济的可持续发展。

参考文献

- [1] 王经钰, 邓睿, 方昌婷. 生态修复理论下的采煤塌陷区生态恢复措施探究——以淮南市春申湖为例[J]. 现代园艺, 2022, 45(17): 92-93, 70.
- [2] 高帅帅. 采空区塌陷及沉陷区治理方式探析[J]. 陕西煤炭, 2022, 41(3): 179-181, 189.
- [3] 雷薪雍, 陈拓其, 张海荣. 采煤塌陷区环境恢复治理措施研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(2): 41-46.
- [4] 刘青松. 甘肃省靖远县某采煤沉陷区地质环境评估及治理研究[J]. 西部探矿工程, 2022, 34(6): 30-32, 35.
- [5] 张丽娟, 张健. 基于煤矿塌陷区改造的邢台市中央生态公园规划研究[J]. 建筑与文化, 2021(8): 162-163.
- [6] 方忆刚, 郭飞翔. 永城市采煤塌陷区地质环境问题及修复治理措施[J]. 能源与环保, 2022, 44(6): 30-34.
- [7] 童格军, 庞建勇, 姜子亮, 等. “两淮”高潜水位采煤沉陷区生态修复治理探究[J]. 建井技术, 2022, 43(5): 43-48.
- [8] 董周宾. 高潜水位采煤塌陷区矸石充填复垦技术研究[J]. 山东煤炭科技, 2022, 40(9): 218-221.
- [9] 刘龙吉, 崔邦军. 活鸡兔煤矿采煤沉陷危害及地质环境治理工程[C]//陕西环境地质研究——2014 年陕西省地质灾害防治学术研讨会论文集: 中国地质大学出版社, 2014: 77-81.
- [10] 许少清. 江西东乡区张坊村地面塌陷成因及防治[J]. 中国科技信息, 2022(1): 73-76.
- [11] 石庆丫. 矿山采空区衍生环境问题及治理对策研究——以贵州省普安县地瓜镇瓦厂坪历史遗留矿山片区为例[J]. 地下水, 2022, 44(4): 153-155.
- [12] 李再兴, 徐伟, 蒋丽, 等. 永城市采煤塌陷积水区生态治理工程及相关问题探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 2022, 33(3): 108-112.
- [13] 刘小杨, 汪洁, 东启亮, 等. 基于 3S 的安徽省煤矿采空塌陷区现状与治理对策研究[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(1): 155-160.