

# 覆岩隔离注浆减沉技术在郑州矿区“三软”和“三下”开采中的研究与应用

朱玉杰

郑州煤炭工业(集团)有限责任公司芦沟煤矿 河南 郑州 452370

**摘要:** 郑州矿区“三软”煤层(软弱顶板、软弱底板、软弱煤层)及“三下”(建筑物下、铁路下、水体下)开采条件复杂,地表沉陷问题突出,严重制约资源安全回收与矿区生态保护。本文针对郑州矿区地质特征,研究覆岩隔离注浆减沉技术的原理与关键参数,通过现场试验优化注浆材料配比、注浆孔布置及注浆工艺,形成适用于“三软”和“三下”开采的技术体系。工程实践表明,该技术可有效控制地表沉陷率达40%以上,提高资源回收率15%-20%,为类似矿区的安全开采与环境保护提供参考。

**关键词:** 覆岩隔离注浆;“三软”煤层;“三下”开采;地表沉陷;郑州矿区

## 引言

我国煤炭资源分布广泛,建筑物、水体、铁路下(简称“三下”)压煤量大,“三下”压煤开采已成为矿区面临的主要难题。随着对煤炭资源高强度、大面积的开采,所造成的地表沉陷不仅引起矿区生态环境、地面建筑物、铁路、公路、水体、桥涵、管道、耕地、高压输电线等的破坏,而且给煤炭企业带来巨大的经济赔偿负担,同时也影响到矿区乃至社会工农业生产和可持续发展。资源与环境协调开采问题、采动损害与保护问题的矛盾日益突出。覆岩离层注浆减沉开采技术通过地表钻孔向地下离层空间注浆的方法,有效控制煤层开采引起的岩层及地表移动变形程度和范围,从而实现“三下”安全采煤的目的,并且该技术实施过程中与井下工作面开采相互干扰小,确保工作面安全高效生产,可显著提升企业经济效益和社会效益。

芦沟煤矿32071A工作面附近地表有砖厂、铁路、墨玉变电站等建(构)筑物,该工作面距三水平副井井筒较近,工业广场煤柱留设保护煤柱等压占了大量煤炭资源,正常开采引起地表移动变形对上述建(构)筑物及井筒造成损坏,不仅对安全生产造成影响,也影响企业的经济社会效益。研究区域地面标高为+226.8~+230.0m,煤层底板标高为-282~-204m,煤层平均埋藏深度约为471.4m,倾角平均为12°,平均厚度4.1m。需要结合煤矿的地质采矿条件和实际情,芦沟煤矿建(构)筑物、工广煤柱开采影响分析及注浆减沉可行性研究,分析论证建(构)筑物、三水平工业广场及井筒煤柱开采技术方案及可行性,提出技术上可行、经济上合理的三下采煤技术方案,同时对32071A工作面覆岩离层注浆减沉技术

进行论证和可行性研究。32071A工作面布置示意图如下图1:



图1 32071A工作面布置示意图

## 1 地表沉陷控制技术

煤层开采会引发煤岩体内部应力的重新调配,进而造成岩体破坏并向上蔓延,最终在地表形成范围远大于采动空区的下沉盆地,同时还会伴随地表裂缝、塌陷坑等破坏现象。若采动影响区域内存在建筑物、道路、水体等地表附着物,这些设施也会受到不同程度的损害。具体而言,建筑物地基可能因受压或受拉出现墙体开裂,危及结构稳定性,其中基底面积小、高度大的建筑更易发生倾倒;道路可能出现裂缝、不均匀沉降等问题,对通行安全构成威胁;水体则可能面临污染或渗漏风险,影响水质及周边生态环境。

我国对沉陷控制技术的研究,最初源于对地表附着物的保护需求。建国初期,当煤炭开采遭遇建筑物、铁路等地表设施时,主要通过留设安全煤柱来规避开采对其稳定性的影响。但面对村庄、线性构筑物等大面积地表附着物,留设煤柱会导致大量煤炭资源闲置,缩短矿井服务年限。为解决这一矛盾、提高资源利用率,相关研究人员开始探索在开采过程中有效减轻地表沉陷的方

法。据文献记载,在地表附着物保护实践中,人们逐步尝试了充填开采、协调开采、部分开采等技术。到20世纪80年代,国内学者基于“拱梁式平衡”离层分布理论,提出了离层注浆技术的初步构想,并在抚顺矿区开展试验,取得了较为理想的沉陷控制效果。

## 2 受护对象现场调查

无人机航测技术作为传统航空摄影测量的重要补充,随着无人机与数码相机技术的进步,依托无人机平台的数字航测技术已展现出独特优势。无人机与航空摄影测量的结合,催生了“无人机数字低空遥感”这一航空遥感领域的新兴发展方向。该技术在国家重大工程建设、灾害应急处置、国土监管、资源开发、新农村与小城镇建设等领域应用广泛,尤其在基础测绘、土地资源调查监测、土地利用动态跟踪、数字城市构建以及应急救援测绘数据获取等方面,具有十分广阔的应用前景。

### 2.1 调查结果

为准确核算和信砖厂、墨玉变电站、铁路以及三水平副井工业广场的压煤量。本项目采用无人机航测技术,对32071A工作面附近地表的各类建(构)筑物,采用无人

机进行现场测绘,并给出工作面与地表砖厂、铁路、井筒、墨玉变电站的具体位置关系,如下图2:



图2 地表建(构)筑物与32071A工作面相对位置关系图

### 2.2 主要建构筑物破坏等级

根据河南理工大学编制的《芦沟煤矿建(构)筑物、工广煤柱开采影响分析及注浆减沉可行性研究报告》,工作面开采后地表移动变形预计结果的分析,32071A工作面开采后,其南侧墨玉变电站、三水平副井工业广场,以及东侧和信砖厂、铁路等建构筑物,均处于地表移动变形的主要影响范围内。常规开采对地表主要建(构)筑物的最大移动变形值进行统计,具体如下表1所示:

表1 常规开采对地表主要建(构)筑物破坏等级和预计最大下沉值

| 地表建(构)物类型   | 和信砖厂 | 墨玉变电站 | 工业广场 | 绞车房 | 井筒  | 铁路   |
|-------------|------|-------|------|-----|-----|------|
| 破坏等级        | IV   | IV    | II   | II  | III | IV   |
| 预计最大下沉值(mm) | 1400 | 1420  | 900  | 470 | 450 | 1410 |

## 3 充填开采的方案对比分析

### 3.1 充填方案

针对芦沟煤矿,矿井地质、地形及其煤层开采条件等,综合分析采用不同开采方法的利弊如下:

#### (1) 常规长壁开采

长壁开采具有开采效率高,煤炭采出率高等优点。尤其是在煤炭形势利好的情况下,这一方法具有很大优势。但这一方法实施目前存在如下问题:直接在“三下”(建筑物下、水体下、铁路下)进行开采,会致使地表移动变形异常剧烈。这不仅会造成地表建(构)筑物遭到破坏,严重干扰铁路运输的正常运作,还会加剧矿农之间的矛盾,进而引发一系列社会问题。此外,还可能导导致井筒无法正常运行,对矿井的安全高效生产构成严重威胁。基于上述分析,在不采取技术措施的情况下,不宜在“三下”直接进行常规长壁开采。

#### (2) 充填开采

充填开采能够减小上覆岩岩层的变形和破坏,有效降低覆岩破坏高度。但存在以下问题:回采工艺和充填工艺比较复杂,采矿和充填相互影响,如果回采作业机

械化问题不能妥善解决,则生产效率和能力均较低;同时,矿方需要重新购置充填设备,成本昂贵,填吨煤成本增加。结合芦沟煤矿具体的情况分析认为:该方法将导致工作面的开采工艺复杂,生产效率和能力减小,并且增加采煤成本,因此该方法不适用于芦沟煤矿“三下”工作面回采。

#### (3) 条带开采

综合国内外条带开采技术发展现状,结合芦沟煤矿具体的情况分析认为:若采用条带开采,工作面宽度减小将导致工作面生产能力降低,不利于高产高效;且芦沟煤矿目前采用综合机械化采煤工艺,采用条带开采由于工作面尺寸太小无法使用目前的综采设备,因此条带开采的缺点要远大于其优势,故不宜采用。

#### (4) 覆岩离层注浆开采

覆岩离层注浆充填开采技术具备显著的安全可靠性,该工艺无需干扰井下采煤作业,也未增加井下人员与设备配置,从而避免了井下作业安全风险的叠加;同时,该方法通过有效控制地表沉降,显著降低沉降系数,减轻对地表建(构)筑物的破坏,具备良好的保护效果。在技术

可行性方面,自上世纪八十年代起,我国开始开展相关试验与研究,经过国内外诸多学者的持续探索与多个矿井的工程实践,该技术已趋于成熟并获得广泛认可。实证研究表明,其开采下沉系数可维持在0.15左右,减沉率超过80%,体现出优越的地表变形控制能力。

### 3.2 开采方案确定

基于芦沟煤矿32071A工作面工程概况,若直接采用长壁工作面开采方式,将会引发一系列不良后果,例如地表建(构)筑物进而致使工农关系矛盾激化、井筒受损严重威胁矿井的安全高效生产;充填开采成本较高,且干扰

工作面的正常生产;条带开采的资源采出率低、经常搬迁工作面、工作效率低,不符合经济可持续发展的需要;覆岩离层注浆充填与井下采空区膏体充填相比,具有不干扰井下采煤工作的明显优势。综上所述,32071A工作面地表建(构)筑物下开采宜采用覆岩离层注浆开采技术。

### 3.3 覆岩离层注浆充填开采治理效果

根据工作面覆岩离层注浆开采后地表变形计算数据并结合标准(表4-5~4-6),对32071A工作面开采后,墨玉变电站、工业广场、绞车房、井筒及东侧砖厂的建(构)筑物破坏等级进行统计,见表2。

表2 覆岩离层注浆充填开采地表建(构)筑物破坏等级

| 地表建(构)物类型 | 和信砖厂 | 墨玉变电站 | 工业广场 | 绞车房 | 井筒 | 铁路 |
|-----------|------|-------|------|-----|----|----|
| 破坏等级      | I    | I     | I    | I   | I  | I  |

通过对工作面开采后地表移动变形预计结果的分析,32071A工作面采用覆岩离层注浆减沉技术开采后,有效控制目标区域的地面沉降,最大下沉值控制在150mm以内,表建(构)筑物地表最大变形值处于I级损害程度内,实现对地面建(构)筑物的有效保护和煤炭资源高效采出。

## 4 社会效益

32071A工作面采用覆岩隔离注浆减沉开采可减少亏损,具有较好的经济社会效益、安全效益和生态效益。具体如下:

4.1 经济及社会效益。32071A工作面采用覆岩离层注浆开采预算总费用为2904万元,预计采出煤量40.09万吨,计算吨煤成本增加为65-78元/t。另外,工作面采用覆岩离层注浆技术控制地表沉陷,可避免或减轻地表建(构)筑物的采动影响,大幅减少搬迁赔偿费用,并提高煤炭资源采出率,可取得良好的经济和社会效益。

4.2 安全效益。采用覆岩离层注浆开采后,地表建(构)筑物受采动影响程度显著降低,损害程度可控制在I级范围内,避免对地表建(构)筑物搬迁或维修补偿,实现“三下”安全采煤。且采用覆岩离层注浆开采,生产布局不受限制,与条带开采、充填开采相比,井下不增加人

员队伍,避免“作业人员超限量、采掘接替紧张”等安全隐患问题,确保矿井安全可持续发展。

4.3 生态效益。通过复合材料注浆,实现电厂粉煤灰、脱硫石膏等固体废物的无害化处置;通过矿井水复用制浆回灌井下,减少矿井水外排的同时,可回补矿区地下含水层,保护水资源;有效减少煤炭开采对地下水、可耕地的破坏。

结束语:32071A工作面采用覆岩隔离注浆减沉开采,安全上可靠、技术性可行、经济上合理,采用覆岩隔离注浆减沉开采技术对32071A工作面进行加固。

### 参考文献:

- [1]翟灵俊.综采工作面充填开采技术应用研究[J].山西化工,2025,45(1):227-229.
- [2]杨振兴,李进,答鹏.综采工作面沿空留巷矸石充填开采技术研究[J].矿业装备,2025(3):4-8.
- [3]严鑫鑫.充填采矿技术在煤炭开采中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2025(17):112-114.
- [4]文高翔.充填采矿法在矿产资源开采中的应用[J].中国资源综合利用,2025,43(8):85-87.