

新时期煤炭绿色开采覆岩离层注浆充填技术研究及应用

赵建华

内蒙古利民煤焦有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 016064

DOI: 10.61369/SSSD.2025060012

摘 要 : 为了解决我国“三下”压煤开采问题, 消耗处理煤矸石, 实现煤炭资源绿色开采, 基于近40年来离层注浆充填减沉工程案例, 研究了覆岩离层注浆充填减沉机理, 从地质因素、采矿因素和注浆材料三个方面对该技术的应用条件进行了深入分析, 并在潞安集团夏店煤矿3117工作面开展覆岩离层注浆充填试验。研究表明: 覆岩离层注浆充填在应用过程中不能简单均化处理, 地质因素中的地层岩性、注浆关键层层位和地质构造是首要考虑的条件, 影响离层形成和发展的时间及空间; 采矿因素中的煤层采出厚度、开采深度、工作面采宽、开采速度对离层空间形成的大小有着重要作用, 进而影响注浆充填减沉效果; 注浆材料对注浆工程的经济效益有着直接的影响。

关 键 词 : 煤炭绿色开采; 覆岩离层; 注浆充填; 减沉机理; 应用条件

Research and Application of Rock Separation Grouting and Filling Technology for Green Coal Mining in the New Era

Zhao Jianhua

Inner Mongolia Limin Coal and Coke Co., LTD, Ordos, Inner Mongolia 016064

Abstract : In order to address the issue of coal mining under the "three underground" pressure in our country, consume and process coal gangue, and achieve green mining of coal resources, based on the cases of stratified grouting filling and settlement reduction projects in the past 40 years, the mechanism of stratified grouting filling and settlement reduction for overburden rocks was studied. The application conditions of this technology were deeply analyzed from three aspects: geological factors, mining factors and grouting materials. And the rockcover delamination grouting filling test was carried out at the 3117 working face of Xiadian Coal Mine of Lu'an Group. Research shows that in the application process of overlying rock separation grouting filling, it cannot be simply homogenized. Among the geological factors, the lithology of the strata, the key layer positions of grouting and the geological structure are the primary conditions to be considered, which affect the time and space of the formation and development of separation. Among the mining factors, the thickness of the coal seam extracted, the mining depth, the width of the working face, and the mining speed play a significant role in the size of the separation space formed, which in turn affects the grouting filling and settlement reduction effect. Grouting materials have a direct impact on the economic benefits of grouting projects.

Keywords : green coal mining; overlying rock stratification; grouting filling; sedimentation reduction mechanism; application conditions

引言

我国煤炭资源丰富, 但分布不均, 开采条件复杂, “三下”压煤问题突出。随着经济社会的快速发展, 对煤炭资源的需求不断增加, 如何在开采煤炭资源的同时, 减少对地表环境的破坏, 实现煤炭资源的绿色开采, 成为煤炭行业面临的重要课题。覆岩离层注浆充填技术作为一种有效的“三下”压煤开采方法, 近年来得到了广泛的研究和应用。该技术通过向覆岩离层空间注入充填材料, 支撑上覆岩层, 减少地表下沉和变形, 保护地表建筑物和生态环境。同时煤矸石是煤炭开采、洗选过程中产生的固体废弃物, 也是我国存放量最大的工业固废之一, 煤矸石的合理处置一直是困扰煤矿企业的老大难问题。尤其是对于生态环境脆弱的西部煤炭富集区, 矸石合理处置和生态环境保护这个矛盾点一直很难协调。本文基于近40年来离层注浆充填减沉工程案例, 对覆岩离层注浆充填技术的减沉机理、应用条件进行了深入研究, 并结合潞安集团夏店煤矿3117工作面的工程实践, 对该技术的应用效果进行了分析。

一、覆岩离层注浆充填减沉机理

（一）离层的形成与发展

煤层在进行开采作业后，其上方的覆岩层会在自身重力以及开采活动所带来的扰动双重作用下，逐渐发生变形、破坏乃至位置移动的现象。当这些岩层的变形程度超过其自身所能承受的极限强度时，岩层与岩层之间就会出现相对滑动的情况，进而产生分离，形成所谓的离层。离层的形成过程及其后续的发展态势，与地层的岩性特征、所采用的开采方法以及具体的开采参数等多种因素存在着极为密切的关联^[1]。一般而言，相较于坚硬的岩层，软弱岩层由于自身结构和强度的特点，更容易产生离层；在开采作业中，开采厚度越大、开采区域的深度越小、工作面的开采宽度越大，离层的发育程度往往也就越高。

（二）注浆充填减沉原理

覆岩离层注浆充填技术是将煤矸石在地面经破碎、球磨加工制成浆液，依托煤炭开采过程中覆岩下沉形成的离层空间，通过科学布设注浆钻孔位置与注浆层位，精准调控注浆压力和注浆量，采用地面高压注浆方式将煤矸石浆液注入地下离层区。浆液在离层空间内固化后形成支撑体，可有效支撑上覆岩层，减少岩层移动与变形，进而实现控制地表下沉和变形的目标。

注浆充填后，充填体与上覆岩层形成整体结构，共同承载上覆岩层压力，改变了岩层原有的应力分布状态，使岩层移动和变形得到高效控制^[2]。通过科学匹配注浆与采煤作业的协同关系，能够阻止或减缓离层区上方岩层的进一步下沉，从而实现“处废、保水、减沉、防冲、减震”五位一体的绿色开采效果，为大规模解决煤矸石处置难题提供了全新路径。同时，该技术能有效强化矿井水的源头控制，最大程度降低煤炭开采对水资源的扰动影响，促进矿井涌水量减少，对地下水起到显著的保护作用。

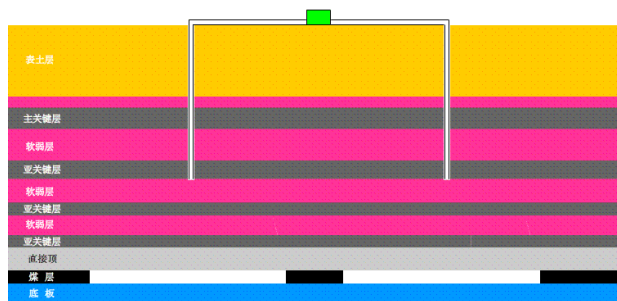


图1：减沉原理示意图

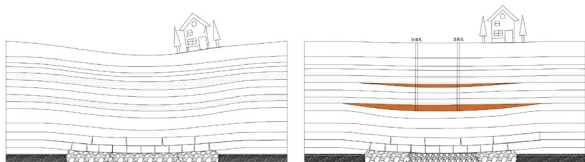


图2：不注浆充填效果图

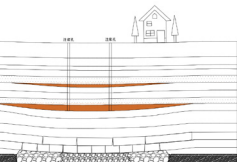


图3：注浆充填后效果图

二、工艺流程

技术工艺流程为：地面建设充填站，将矸石制成矸石浆液，

通过地面管路和钻孔对工作面回采产生的覆岩离层裂隙及时注浆。实施随采随注，做到注浆充填紧跟煤层开采，对整个开采区域全部充填，实现大量矸石减排的目的。

对于煤矿来说，利用煤矸石制浆工艺变固废为原料，结合矿井外排水形成浆液，以离层注浆为应用方式，解决了煤基固废处理、矿井水排放、“三下”压煤开采等难题。

三、覆岩离层注浆充填技术应用条件分析

（一）地质因素

1. 地层岩性

地层岩性是影响离层形成和发展的重要因素。一般来说，软弱岩层比坚硬岩层更容易产生离层，且离层的发育程度更高^[3]。在选择注浆充填区域时，应优先选择地层岩性以软弱岩层为主的区域，这样有利于离层的形成和注浆充填的实施。

2. 注浆关键层层位

注浆关键层是指对地表下沉和变形起控制作用的岩层^[4]。在注浆充填过程中，应准确确定注浆关键层的层位，将充填材料注入到注浆关键层以下的离层空间中，以达到最佳的减沉效果。注浆关键层的层位一般通过现场监测和数值模拟等方法确定。

3. 地质构造

地质构造如断层、褶皱等会影响岩层的完整性和稳定性，进而影响离层的形成和发展^[5]。在注浆充填前，应详细勘察注浆区域的地质构造情况，对于存在断层、褶皱等地质构造的区域，应采取相应的措施，如调整注浆参数、加强注浆监测等，以确保注浆充填的效果和安全性。

（二）采矿因素

1. 煤层采出厚度

煤层采出厚度是影响离层空间大小和地表下沉量的关键因素。采出厚度越大，上覆岩层的移动和变形越大，离层空间也越大，地表下沉量也相应增加^[6]。因此，在采用覆岩离层注浆充填技术时，应合理控制煤层采出厚度，以减少地表下沉和变形。

2. 开采深度

开采深度对离层的形成和发展也有重要影响。一般来说，开采深度越大，上覆岩层的自重压力越大，离层的形成和发展越困难。但随着开采深度的增加，地表下沉的影响范围也会增大。因此，在确定注浆充填方案时，应综合考虑开采深度对离层形成和地表下沉的影响^[7]。

3. 工作面采宽

工作面采宽是影响离层空间分布和地表下沉形态的重要因素^[8]。工作面采宽越大，离层空间的分布范围越广，地表下沉的范围和下沉量也越大。在实际开采中，应根据具体情况合理确定工作面采宽，以优化离层注浆充填的效果。

4. 开采速度

开采速度会影响上覆岩层的移动速度和离层的形成时间。开采速度过快，会使上覆岩层的移动速度加快，离层的形成时间缩短，不利于注浆充填的实施^[9]。因此，在采用覆岩离层注浆充填

技术时，应合理控制开采速度，为注浆充填提供足够的时间。

（三）注浆材料

注浆材料的性能直接影响注浆充填的效果和经济效益。理想的注浆材料应具有良好的流动性、可泵性、凝固性和强度，同时应成本低廉、来源广泛^[10]。目前，常用的注浆材料有粉煤灰、煤矸石、水泥等，在实际应用中，应根据具体情况选择合适的注浆材料，并进行合理的配比设计。

四、工程案例

（一）工程概况

山西潞安矿业集团慈林山煤业有限公司夏店煤矿3117工作面位于井田东北部，开采3号煤层，煤层平均厚度为6.5m，开采深度为350m，工作面走向长度为1500m，倾斜长度为200m。该工作面上方有村庄、公路等建筑物，为了减少开采对地表建筑物的影响，决定采用覆岩离层注浆充填技术。

（二）注浆充填方案设计

根据3117工作面的地质条件和采矿条件，确定了以下注浆充填方案^[11-12]：

注浆关键层：通过现场监测和数值模拟分析，确定3号煤层上方20-30m处的砂岩为注浆关键层。

钻孔布置：在工作面走向方向上，每隔50m布置一个注浆钻孔，共布置30个钻孔；在倾斜方向上，在工作面中部布置一个钻孔。钻孔直径为150mm，钻孔深度根据注浆关键层的层位确定，一般为380-400m。

注浆材料：采用粉煤灰和水泥作为注浆材料，粉煤灰与水泥的质量比为4:1，水灰比为0.8-1.0。

注浆工艺：采用分段下行式注浆工艺，即从钻孔底部开始，分段向上注浆，每段注浆长度为10-15m。注浆压力根据现场实际情况进行调整，一般控制在2-4MPa。

（三）注浆充填效果分析

在3117工作面开采过程中，对注浆充填效果进行了实时监测。

监测结果表明，注浆充填后，地表下沉量明显减小，地表最大下沉量为150mm，减沉率达到70%以上，有效保护了地表建筑物和生态环境。同时，通过对注浆充填前后上覆岩层的变形和应力状态进行对比分析，验证了覆岩离层注浆充填减沉机理的正确性。

五、结论

1. 覆岩离层注浆充填技术是一种有效的“三下”压煤开采方法，其核心优势不仅在于高效控制地表沉降，更能同步实现煤矸石的资源化处置。该技术的减沉机理是通过向覆岩离层空间注入以煤矸石为主要原料的充填材料，利用固化后的充填体支撑上覆岩层，有效减少岩层的移动和变形，从而达到控制地表下沉和变形的目的^[13-14]。这一过程既解决了传统开采中煤矸石堆积的难题，又通过材料复用提升了技术的生态效益与经济性。

2. 覆岩离层注浆充填技术的应用条件涵盖地质因素、采矿因素和注浆材料等多个关键方面。在地质因素中，地层岩性决定了离层空间的稳定性，注浆关键层位直接影响充填效果的发挥，地质构造则可能改变离层发育的形态，三者共同构成了技术应用的首要考量条件；采矿因素里，煤层采出厚度、开采深度、工作面采宽和开采速度通过影响离层空间的大小与分布，对注浆充填的范围和强度起决定性作用；而注浆材料（尤其是以煤矸石为基础的浆液）的性能与成本，不仅关系到注浆工程的施工效率，更对项目的经济效益有着直接且显著的影响^[15]，选择合适的煤矸石处理工艺（如破碎、球磨的精细化程度）可进一步优化材料性价比。

3. 潞安集团夏店煤矿3117工作面的工程实践，充分验证了覆岩离层注浆充填技术的有效性和可行性。该技术在显著减少地表下沉和变形、保护地表建筑物与生态环境的同时，通过将大量煤矸石转化为注浆材料，成功实现了固废减量，避免了矸石堆存占用土地及引发的环境污染问题。其良好的应用效果展现出广阔的推广前景。在今后的工程应用中，需进一步加强对该技术的研究与创新，重点优化注浆充填方案、提升煤矸石浆液制备工艺，在提高注浆效果的同时降低成本，持续增强技术的经济效益与生态价值。

参考文献

- [1] 吴永辉. 大理深煤层开采覆岩离层空间演化机理及注浆控灾技术研究 [D]. 中国矿业大学, 2024.
- [2] 赵新元. 建构物保护煤柱线覆岩离层注浆封堵特性与减沉机理 [D]. 安徽理工大学, 2024.
- [3] 郑晨, 张帅, 王长江, 等. 覆岩离层注浆充填技术在极复杂地质条件下的研究与应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (22): 136-138.
- [4] 牟兆刚. 潞安矿区覆岩离层注浆目标关键层研究 [J]. 中国煤炭地质, 2024, 36(12): 40-43.
- [5] 王新伟. 煤矿复杂地质构造掘进工作面瓦斯治理技术研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (24): 58-60.
- [6] 张伟, 高鹏, 崔博, 等. 近距离特厚煤层综放开采可行性及合理放煤工艺研究 [J]. 工矿自动化, 2024, 50(11): 161-168.
- [7] 王忠鑫, 蔡忠超, 王东. 露天矿端帮压煤开采顺序及深度对边坡稳定性的影响研究 [J]. 煤矿安全, 2024, 55(12): 180-187.
- [8] 韩猛. 建筑物下倾斜煤层群工作面安全开采研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (10): 114-116.
- [9] 张佳明. 厚松散层薄基岩煤层开采地表沉降及其速度规律研究 [D]. 安徽理工大学, 2024.
- [10] 白金婷. 煤基固废地聚物注浆材料制备及流变特性研究 [D]. 辽宁工程技术大学, 2023.
- [11] 张志军. 覆岩离层时空演化规律及注浆开采实践——以夏店煤矿3117工作面为例 [J]. 中国煤炭地质, 2023, 35(07): 33-40.
- [12] 宋涛. 夏店煤矿临空开采覆岩裂隙发育规律及注浆充填减沉技术研究 [D]. 中国矿业大学, 2024.
- [13] 史达. 采动覆岩离层注浆控制地面沉降技术的应用 [J]. 能源与节能, 2024, (12): 239-241.
- [14] 马新世. 煤矸石覆岩离层注浆充填绿色开采技术研究 [J]. 能源与节能, 2024, (04): 32-34+38.
- [15] 苏占林, 刘乐平, 张伟伟. 村庄下覆岩离层注浆充填开采技术的应用 [J]. 山东煤炭科技, 2023, 41(06): 226-228.