

浅埋煤层开采地表沉陷规律及治理研究

奚利锋 610527198711020014

摘要：我国西部矿区普遍存在浅埋煤层赋存条件，煤炭开采引发的地表沉陷会对区域生态环境和工程设施造成严重破坏。本文以浅埋煤层开采地表沉陷问题为研究对象，分析了浅埋煤层开采沉陷的特殊机理，总结了不同赋存条件下地表沉陷的发育规律，提出了适配浅埋煤层特征的沉陷治理技术体系。研究表明，浅埋煤层开采顶板破断距离短、岩层移动传递速度快，地表沉陷表现出启动快、下沉量集中、台阶状破断的特征，与中深部煤层开采沉陷规律存在显著差异。结合我国西部矿区生态保护要求，构建“预控-治理-修复”一体化沉陷治理方案，能够有效降低开采沉陷对地表环境的影响，为浅埋煤层绿色开采提供技术支撑。

关键词：浅埋煤层；地表沉陷；移动规律；沉陷治理；绿色开采

一、引言

煤炭是我国能源消费结构中占比最高的基础能源，在未来较长时间内仍将占据能源供应体系的核心地位。我国煤炭资源开发重心逐步向西部转移，陕北、蒙东、神东等西部主产区的煤炭储量占比超过全国总储量的 60%，且多数煤层属于浅埋煤层，埋深普遍小于 150m，部分区域煤层埋深不足 50m。浅埋煤层开采过程中，上覆岩层破断会直接传递至地表，引发大范围地表沉陷，不仅会破坏地表建筑、道路、水利设施的稳定性，还会加剧区域水土流失、植被退化等生态问题，威胁矿区生产安全与生态安全。因此，明确浅埋煤层开采地表沉陷的发育规律，提出科学有效的沉陷治理技术，对于保障西部矿区煤炭资源安全绿色开发具有重要意义。

近年来，国内学者针对浅埋煤层开采沉陷问题开展了大量研究。黄庆享等通过物理模拟和现场实测，提出了浅埋煤层顶板“台阶下沉”的破断机理，明确了浅埋煤层覆岩移动的整体切落特征；张杰等采用相似材料模拟试验，分析了不同埋深、不同采厚条件下浅埋煤层地表沉陷的形态特征，得出了地表下沉系数随埋深减小而增大的规律；还有学者针对西部矿区生态脆弱的特征，提出了沉陷区生态修复的技术路径。本文在现有研究基础上，结合现场实测数据，系统分析浅埋煤层地表沉陷的机理与规律，提出适配浅埋煤层特征的治理技术体系，为同类矿区开采沉陷防控提供参考。

二、浅埋煤层开采地表沉陷机理与发育特征

浅埋煤层的定义目前行业内普遍认同为：埋深小于 150m，且采深与采厚的

比值小于 30 的煤层，部分埋深超过 150m 但上覆岩层存在厚松散层的煤层也归为浅埋煤层范畴。与中深部煤层相比，浅埋煤层上覆岩层厚度小，基岩承载能力弱，开采后覆岩移动规律和地表沉陷特征存在显著差异。

浅埋煤层开采后，直接顶板首先发生垮落，由于上覆基岩厚度较小，垮落范围会快速向上扩展至地表，不会像中深部煤层那样形成稳定的"三带"结构，多数情况下导水裂隙带会直接贯通地表。上覆整体岩层破断后，会沿工作面推进方向发生整体切落，在地表形成明显的台阶状下沉，这是浅埋煤层开采沉陷最典型的特征。从沉陷发育过程来看，浅埋煤层地表沉陷启动时间早，当工作面推进距离仅为采深的 0.2~0.3 倍时，地表就会出现明显的下沉，远早于中深部煤层的启动距离；同时，地表下沉速度快，最大下沉速度可达中深部煤层的 2~3 倍，下沉量主要集中在工作面推过后的 1~2 个月内，稳定时间远短于中深部煤层。

三、浅埋煤层开采地表沉陷影响因素与规律分析

第一，埋深与采厚比的影响。埋深采厚比是影响浅埋煤层沉陷特征最关键的参数，当埋深采厚比小于 20 时，上覆基岩厚度不足以支撑顶板压力，开采后顶板会发生整体切落，地表形成明显的台阶破断，最大下沉量接近采厚，下沉系数大于 0.9；当埋深采厚比处于 20~30 之间时，上覆基岩具备一定的承载能力，顶板破断后会形成一定的碎胀充填，地表下沉量有所降低，下沉系数多在 0.7~0.9 之间，地表台阶状破断特征减弱，逐渐过渡为连续性沉陷。

第二，上覆岩层岩性的影响。当上覆岩层以软岩为主时，岩层塑性变形能力强，开采后上覆岩层会缓慢下沉，地表沉陷范围更大，沉陷盆地边缘更为平缓，不会出现明显的台阶破断；当上覆岩层以坚硬基岩为主时，岩层破断前变形量小，达到极限跨距后发生整体破断，地表沉陷表现为突发性的台阶下沉，沉陷盆地边缘陡峭，下沉量更集中。若上覆岩层存在厚松散层，松散层会缓冲岩层移动的传递，地表沉陷的台阶特征会被弱化，下沉量会因为松散层的压缩而有所增大。

第三，开采方法的影响。采用长壁全部垮落法开采时，顶板完全垮落，地表下沉量最大，沉陷特征最明显；采用充填开采法时，采空区被充填体支撑，地表下沉量可以降低 80%以上，沉陷范围也会大幅缩小；采用条带开采法时，保留的煤柱支撑上覆岩层，地表下沉量也会明显降低，但资源采出率会下降。此外，工作面推进速度也会影响沉陷特征，推进速度越快，地表下沉越集中，一次性下沉量越大，台阶特征越明显。

四、浅埋煤层开采地表沉陷治理技术体系

（一）源头预控技术：从开采设计阶段优化开采参数，从源头上降低沉陷程度。对于浅埋煤层来说，充填开采是控制地表沉陷最有效的技术，采用膏体充填、矸石充填等方法充填采空区，能够有效限制顶板岩层移动，将地表最大下沉量控制在 0.5m 以内，满足地表建筑和生态保护的要求。对于不具备充填开采条件的矿区，可以采用优化开采布局的方法，采用条带开采、房柱开采等部分开采方法，保留足够尺寸的煤柱支撑上覆岩层，有效降低地表下沉量

（二）过程调控技术：在开采过程中通过对上覆岩层的改造，控制岩层移动的传递。针对浅埋煤层顶板整体切落的问题，可以采用顶板预裂爆破技术，对坚硬顶板进行预先弱化，避免大面积悬顶后一次性垮落引发的突发性台阶沉陷，降低地表沉陷的破坏程度。对于上覆岩层存在厚松散层的浅埋煤层，可以采用浅层注浆加固技术，对松散层进行固结，提高松散层的承载能力，减少地表下沉量。此外，在工作面推进过程中，可以通过动态调整推进速度，均衡顶板压力释放，避免压力集中引发的突发性沉陷。

（三）末端修复治理：对于已经形成的地表沉陷区，开展工程治理和生态修复。对于沉陷区形成的地裂缝、台阶破断，首先采用工程治理措施，对裂缝进行充填、对台阶进行平整，恢复地表的平整度，避免水土流失进一步加剧；对于沉陷引发的积水区，根据区域排水条件，修建排水渠道，排出沉陷区积水，恢复土地利用功能。

五、结论

浅埋煤层是我国西部矿区主要的煤层赋存类型，其开采沉陷规律与传统中深部煤层存在显著差异，表现为沉陷启动早、下沉速度快、下沉量大、台阶状破断明显的特征，埋深采厚比、上覆岩性、开采方法是影响沉陷规律的核心因素。针对浅埋煤层沉陷特征，构建"源头预控-过程调控-末端修复"一体化的治理技术体系，能够有效降低开采沉陷的破坏影响，实现煤炭资源开发与生态环境保护的协调发展。未来需要进一步针对不同赋存条件的浅埋煤层，优化沉陷防控技术参数，开发低成本的沉陷治理技术，推动浅埋煤层绿色开采技术的发展。

参考文献

[1] 黄庆享. 浅埋煤层顶板结构理论与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.

[2] 钱鸣高, 许家林, 王家臣. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.

[3] 张杰, 侯忠杰. 浅埋煤层开采地表沉陷规律模拟研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(6): 917-920.