

# 浅埋房采区下综采工作面动压防治技术研究

杨浩宇 尚秀全 温晓荣 李瑞华 刘帅  
神木职业技术学院, 中国·陕西 神木 719300

**摘要:** 为分析上覆采空区遗留煤柱下工作面开采动载矿压显现机理, 以神府煤田生产能力为 300 万吨的矿井为例, 工作面在回采过程中顶板压架事故为研究对象, 结合理论分析和现场勘测等手段, 计算出该矿井某一个采煤作业地点煤柱载荷、塑性破坏范围和底板扰动破坏带深度, 建立上覆遗留煤柱失稳模型, 确定工作面出煤柱开采强矿压灾害载体、过渡体及承载体 3 个主控环节及其主要影响因素。对工作面顶板动载矿压进行 FLAC3D 数值模拟, 通过模拟结果可知: 诱发大面积强动载矿压原因是集中煤柱的突然破坏, 上覆岩层顶板垮落及工作面自身顶板切落, 使顶板载荷完全作用在支架上, 造成液压支架压架事故。通过动载矿压发生机理, 提出有针对性的应对措施, 为后续安全回采提供依据。

**关键词:** 浅埋煤层; 治理措施; 数值模拟; 动载矿压; 形成机理

## Research on Dynamic Pressure Prevention and Control Technology for Fully Mechanized Mining Face under Shallow Buried Mining Area

Haoyu Yang Xiuquan Shang Xiaorong Wen Ruihua Li Shuai Liu  
Shenmu Vocational and Technical College, Shenmu, Shaanxi, 719300, China

**Abstract:** In order to analyze the mechanism of dynamic load and mining pressure manifestation in the working face under the residual coal pillars in the overlying goaf, taking the mining face of a mine with a production capacity of 3 million tons in Shenfu Coalfield as an example, the roof support accident during the mining process of the working face was studied. Combining theoretical analysis and on-site investigation methods, the coal pillar load, plastic failure range, and bottom disturbance damage zone depth of a certain mining operation site in the mine were calculated. An instability model of the residual coal pillars in the overlying goaf was established, and three main control links and their main influencing factors were determined, including the carrier, transition body, and carrier body of the strong mining pressure disaster in the coal pillar mining of the working face. FLAC3D numerical simulation was carried out on the dynamic mining pressure of the roof of the working face. The simulation results show that the cause of large area strong dynamic mining pressure is the sudden destruction of concentrated coal pillars, the collapse of the roof of the overlying strata and the cutting of the roof of the working face itself, which makes the roof load fully act on the support, resulting in a hydraulic support pressing accident. By analyzing the mechanism of dynamic mining pressure, targeted measures are proposed to provide a basis for safe mining in the future.

**Keywords:** shallow buried coal seam; governance measures; numerical simulation; dynamic ore pressure; formation mechanism

### 0 前言

随着中国煤炭工业的快速发展和开采强度的不断增大, 大多数矿区开采条件较好的上部煤层逐渐减少, 储量在较短的服务年限内竭尽枯竭。为了继续支持中国工业经济的稳步发展, 下部煤层已经作为下一个开采主体, 逐渐走入人们的视野。

作为以开采探明储量 2300 亿吨, 预测储量 6690 亿吨的世界七大煤田之首——“神府—东胜”煤田为主的神华神东煤炭集团有限责任公司, 是目前世界上最大的煤炭生产企业。该公司在蒙、陕边界共拥有 14 个矿井开采“神府—东胜”煤田的煤炭资源, 年产能达 2 亿吨以上。自 1985 年开发建设至今, 累计生产煤炭超过 30 多亿吨, 为国家, 乃至

全世界的工业发展提供了巨大的能源支撑。与如此大的产能相对应的是, 该煤田埋藏条件相对较好的上部煤层即将开采完毕, 已经有几个矿井相继开始了下部煤层的开采。

“神府—东胜”煤田部分矿井上部煤层的开采以房柱式为主, 留下大量的采空区和残留煤柱, 而下部煤层离上部煤层又比较近, 从 3.5~39m 不等, 属于近距离煤层开采。而浅埋深的特点又使得上覆岩层难以形成可提供一定支撑力的结构, 再加上层间岩层的性质、承载能力及其赋存情况等因素的不同, 下部煤层的开采就显得更加困难了。主要表现在下部煤层开采时, 工作面来压剧烈, 极易发生顶板大面积冒、漏事故, 异常压架, 与上部煤层采空区沟通, 造成工作面漏风、突水, 甚至溃沙, 工作面及回采巷道的矿山压力

显现十分明显，压力传递规律特殊，巷道围岩移近量大，巷道支护困难。

### 1 工作面基本条件和事故概况

现在以生产能力为 300 万吨的矿井为例进行分析，该目前采用长壁综采工艺进行开采，垮落法管理顶板，其形成的采空区及时冒落，不存在悬顶问题。除综采采空区外，该矿还有多年前开采的部分房柱式采空区，分别位于 3<sup>1</sup> 煤层和 2<sup>2</sup> 煤层，两层煤的房柱式采煤工艺均为炮采，房采宽 6.5m，留 8m 煤柱。房柱式开采采留尺寸示意图如图 1 所示。

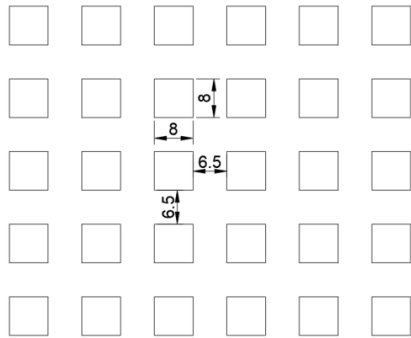


图 1 某煤矿房柱式开采示意图

在房柱式采空区中，3<sup>1</sup> 煤层房柱式区域于 2009 年开采，采空区面积约 1.9 万 m<sup>2</sup>，采高为 2.7m，开采后地表出现塌陷，3<sup>1</sup> 煤层房柱式范围如图 2 所示。因 3<sup>1</sup> 煤层房柱式采空区面积较小，地面已出现塌陷，未来出现垮塌可能性较小。同时根据矿井规划，该区域与未来规划开采区域留设了宽度不小于 30m 的隔离煤柱，3<sup>1</sup> 煤层房柱式采空区不影响该煤层其他区域煤层的开采。

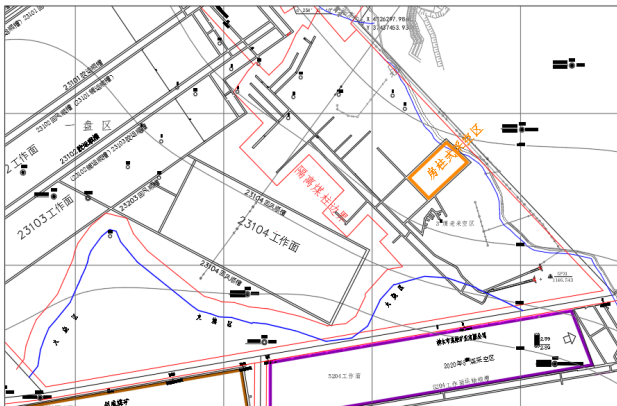


图 2 3<sup>1</sup> 煤层房柱式范围及隔离煤柱边界线位置关系图

2<sup>2</sup> 煤层房柱式采空区面积约 75.9 万 m<sup>2</sup>，采高 5m，开采时间为 2007 年至 2009 年。现场观测显示，开采后地表出现明显的塌陷。物探及钻探资料显示，房柱式采空区中部煤柱失稳、顶板冒落相对充分，为塌陷稳定区或塌陷趋于稳定区。采空区边缘少部分区域顶板冒落不充分，处于塌陷不稳定区。2<sup>2</sup> 煤层房柱式采空区范围及物探成果情况参见图 3。

2<sup>2</sup> 煤层房柱式采空区面积较大，且局部区域尚未完全塌陷稳定。



图 3 2<sup>2</sup> 煤层房柱式采空区范围

### 2 动载矿压机理

动载诱发冲击矿压的机理可以从应力波理论、断裂力学和能量理论等方面进行分析。应力波角度：开采活动等产生的动载以应力波形式在煤岩体中传播，当应力波相互叠加或遇到地质结构面等复杂情况时，会使煤岩体局部应力急剧变化，引发动载矿压。能量角度：动载为煤岩体带来额外能量，打破原有能量平衡。若积聚能量超过煤岩体强度和结构所能承受的极限，就会以动载矿压形式释放。煤岩结构角度：动载可能改变煤岩内部裂隙、节理等弱面的状态，降低煤岩整体强度，破坏原有的稳定结构，从而诱发动载矿压。

#### 2.1 集中煤柱与房采煤柱稳定性对比

集中煤柱由于其尺寸通常较大，承载面积广，能够承受较大的上覆岩层压力。其承载能力与煤柱的尺寸（宽度、高度等）、煤体强度等因素密切相关。例如，宽度较大的集中煤柱可以将上覆岩层压力分散到更大的面积上，从而更有效地支撑岩层。房采煤柱：相对较小且分散，主要承受单个房采空间顶部的岩层压力。其承载能力相对较弱，因为每个煤柱所承担的压力范围较小。不过，如果房采煤柱的间距设计合理，也能在一定程度上协同工作，提高整体的承载稳定性。即煤柱的截面积 S<sub>1</sub> 与其控制岩层范围 S<sub>2</sub> 的比例，如图 4 所示。控顶率 K 可表示为：

$$K = \frac{S_1}{S_2} = \frac{ab}{(a+x)(b+y)} \quad (1)$$

式中，a、b、x 和 y 分别为煤柱的宽度、长度、排距和间距，m。

课题组成员对陕北区采用房式采煤法的煤矿进行了调查统计。统计结果表明，大部分矿井埋深在 130~170m、采高 3~5.0m、采 8m 留 8m（即房采煤柱长宽和间隔均为 8m）的情况下仍然发生了大面积的地表塌陷。同样，煤柱的强度也因尺寸的差异而不同，根据 Obert-Dwvll/Wang 公式。煤柱的强度 R 与煤的立方体单轴抗压强度 R<sub>c</sub>、煤柱的

宽度  $a$  和高度  $h$  的关系可表示为:

$$R = R_c(0.778 + 0.222 \frac{a}{h}) \quad (2)$$

由式 (2) 可知, 煤柱的强度与高度成反比, 其宽度成正比。当煤柱承担载荷超过其强度时便会失稳破坏, 其失稳判断依据可用如下公式表示:

$$R_c(0.778 + 0.222 \frac{a}{h}) \leq \frac{K_1(a+x)(b+y)\lambda h}{ab} \quad (3)$$

其中,  $K_1$  为应力集中系数;  $\gamma$  为覆岩容重,  $\text{kN/m}^3$ ;  $H$  为埋深,  $\text{m}$ 。若式 (3) 成立, 则表示煤柱载荷超过其强度而失稳破坏。

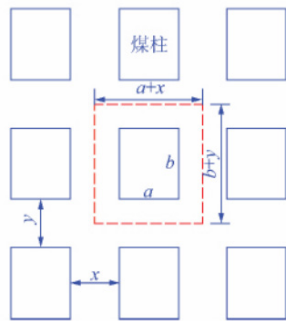


图 4 煤柱承载范围示意

### 2.2 煤柱塑性破坏特征分析

煤房采出后, 围岩体的应力重新分布, 应力应变关系变化在弹性阶段, 应力和应变呈线性关系, 当煤柱进入塑性破坏阶段后, 应力应变关系变为非线性。即使应力不再增加, 应变也会持续增大, 这表明煤柱的变形已经不可恢复, 就像拉伸过度的橡皮筋, 即使松开外力, 也不能恢复到原来的长度。随着塑性破坏的发展, 煤柱的承载能力会逐渐下降。煤柱内部结构在破坏过程中, 原本能够承受较大压力的完整煤体结构被破坏, 形成了许多破碎带和弱面, 使得煤柱抵抗外

力的能力变弱。得到计算煤柱塑性区宽度  $X_0$  的方程式为:

$$X_0 = \frac{mA_1}{2\tan\alpha} \left[ \frac{k\gamma H + \frac{C_0}{\tan\alpha}}{\frac{C_0}{\tan\alpha} + \frac{P_x}{A}} \right] \quad (4)$$

### 3 动载矿压机理研究及应对方案

安装应力传感器、微震监测系统, 实时监测煤岩体的应力变化、震动情况。通过分析监测数据, 及时发现应力集中、能量异常积聚等可能引发动载矿压的前兆信息, 提前发出预警信号。建立完善的矿压观测制度, 安排专人定期对巷道变形、顶板下沉等情况进行现场观测并记录, 结合数据分析判断动载矿压风险。合理规划开采顺序, 避免形成孤岛煤柱等容易造成应力集中的开采布局, 尽可能使煤岩体的应力分布均匀。控制开采速度, 不宜过快, 给煤岩体应力调整留出足够时间, 防止因开采推进过快而导致动载矿压频繁发生。

为防止支架被压死, 更好地应对工作面回采期间突然发生大范围顶板来压, 对采煤工作面回采通过上覆房采煤柱采空区时工作面应力分布情况进行数值模拟。采煤工作面柱状图如图 5 所示。

利用 FLAC<sup>3D</sup> 建立采煤工作面过集中煤柱过程的几何模型, 依据实际矿山地质条件, 精确构建包括煤层、顶底板岩层的模型, 准确设置各部分的力学参数, 如弹性模量、泊松比等。对于复杂地质构造区域, 要细致刻画。同时确定开采区域的形状和尺寸, 如巷道的规格、采煤面的长度和宽度。重点分析应力场和位移场的变化。观察动载作用下应力集中区域的位置和大小, 以及位移的突变情况。例如, 顶板在动载后的突然下沉、巷道两帮位移的急剧增大都可能预示动载矿压问题。同时, 关注煤岩破坏情况的模拟结果, 判断破坏范围和程度。最终的应力分布情况图如图 6、图 7 所示。

岩层序号	岩性	平均厚度/m	深度/m	岩性柱状图
1	流沙	18.1	18.1	
2	细砂岩	15.9	34	
3	粉砂岩	16.2	50.2	
4	细砂岩	12.7	62.9	
5	中粒砂岩	6.1	69	
6	细砂岩	8.2	77.2	
7	2-2 煤	4.1	81.3	
8	粉砂岩	12	93.3	
9	中粒砂岩	16	109.3	
10	砂质泥岩	8	117.3	
11	3-1 煤	4	121.3	
12	粉砂岩	7.6	128.9	

图 5 31201 工作面岩层柱状图

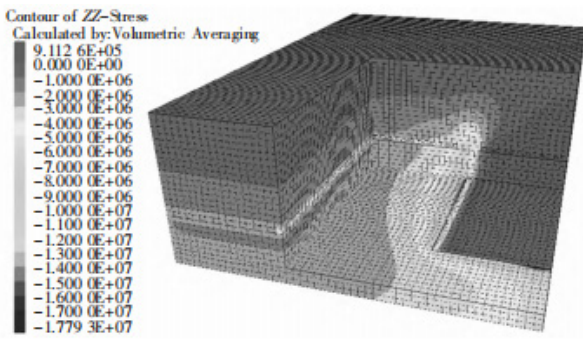


图 6 推进至集中煤柱正下方时顶板垂直应力分布图  
(单位: Pa)

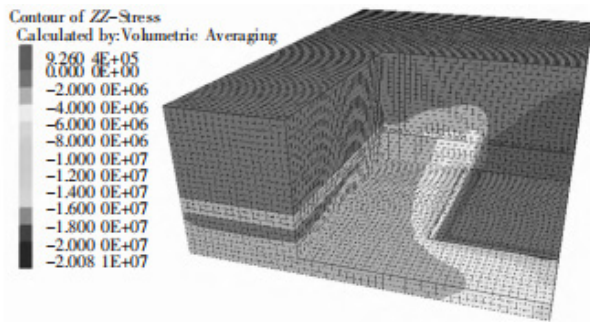


图 7 由集中煤柱正下方通过后顶板垂直应力分布图  
(单位: Pa)

## 4 结论

论文针对陕北典型矿井煤层上覆房式采空区的关键层赋存特征、开采情况、覆岩结构特点等进行研究,分析了不同类型覆岩结构的运动特征,主要结论如下:

①建立了不同覆岩结构类型的运动模型和力学模型,揭示了房式采空区下长壁工作面动载矿压的发生机理,丰富

了浅埋房式采空区下位煤层覆岩结构失稳理论。

②采用钻孔应力计和钻屑法对煤层孤岛煤柱动压危险进行监测,应力峰值出现在 16~17m,影响范围为 0~35.0m。

③采用高强度的支护材料,如锚杆、锚索配合金属网、钢带等联合支护方式,增强巷道和采煤工作面周边煤岩体的稳定性,提高其抗动载能力。对重点区域,像应力集中区、构造复杂区等,进行超前支护,提前加固煤岩体,预防动载矿压造成的破坏。

④实施钻孔卸压,在可能出现动载矿压的区域提前钻取一定深度和密度的钻孔,释放煤岩体内部积聚的过高压,降低动载矿压发生的可能性。采用爆破卸压方法,在合适的位置进行小规模爆破,人为制造弱面,引导应力释放,缓解动载矿压带来的威胁。

### 参考文献:

- [1] 徐敬民,朱卫兵,鞠金峰.浅埋房采区下近距离煤层开采用动载矿压机理[J].煤炭学报,2017,42(2):500-509.
- [2] 白正平,高振俊.采空区遗留煤柱下开采用动载矿压机理及防治技术研究[J].煤炭科学技术,2022,50(S1):23-30.
- [3] 杨宏飞,高超,尹家宽,等.房柱式采煤采空区下采场动载矿压机理研究[J].煤炭技术,2024(6).
- [4] 霍丙杰,荆雪冬,范张磊,等.浅埋房式采空区下长壁采场动载矿压发生机制[J].岩土工程学报,2019,41(6):8.

作者简介:杨浩宇(1986-),男,中国山西朔州人,硕士,副教授,从事采矿工程及煤矿安全技术研究。

课题项目:陕西省神木职业技术学院教科研研究项目——浅埋房采区下综采工作面动压防治技术研究(项目编号:2023ZK05)。