

# 深部开采工作面矿压规律及支架阻力优化

郜建明<sup>1\*</sup>, 司瑞江<sup>1</sup>, 王晓振<sup>2</sup>

(1. 晋能控股煤业集团 赵庄煤业有限责任公司, 山西 长治 046605; 2. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:** 随着煤矿煤层采深增加, 工作面顶板漏冒与煤壁片帮加剧, 为改进矿压控制技术, 保证矿井安全生产, 通过分析晋城矿区某矿 1311 工作面的现场实测数据, 研究矿压显现规律并分析支架的适配问题。在此基础上, 采用关键层理论, 揭示 1311 工作面覆岩关键层结构特征, 并优化邻近层 W1311 工作面的支架工作阻力, 提出工作面矿压预警管控对策。研究表明: 来压周期的步距平均为 20.9 m, 初次步距为 35 m, 平均支架阻力约 10 918 kN, 来压持续长度平均为 6.8 m, 动载系数为 1.45; 邻近的 1312 及 W1311 工作面开采合理工作阻力应为 15 000~16 000 kN。研究结果可为煤矿采场矿压控制和支架选型优化提供参考。

**关键词:** 深部开采; 矿山压力; 顶板控制; 支架选型

**中图分类号:** TD326      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-9102(2022)03-0026-05

## The Law of Mining Pressure Behavior in Deep Mining Working Face and Its Support Resistance Optimization

GAO Jianming<sup>1</sup>, SI Ruijiang<sup>1</sup>, WANG Xiaozhen<sup>2</sup>

(1. Zhaozhuang Coal Industry Corporation Limited, Jinneng Holdings Coal Industry Group, Changzhi 046605, China;

2. School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** With the increase of coal seam mining depth roof fall, coal wall spalling is intensifying. In order to improve mine pressure control technology and ensure mine safety production, by analyzing the field measured data of 1311 working face in Jincheng mining area, the law of mine pressure behavior and the adaptation of support are studied. On this basis, the key layer theory is used to reveal the structural characteristics of the key layer, the support working resistance is optimized, and the mine pressure early warning and control countermeasures of the working face are put forward. Results of 1311 working face shows that first weighting interval is 35 m, average periodic weighting step distance is 20.9 m, average supporting resistance during periodic weighting is about 10 918 kN, the average persistence length of mining pressure is 6.8 m, dynamic loading coefficient of pressure is 1.45, and rational working resistance of mining is 15 000~16 000 kN in 1312 working face and W1311 working face which is adjacent to each other. The research results can provide references for mine pressure control and support selection optimization in coal mine stope.

**Keywords:** mining engineering; fully mechanized mining; mining pressure; support selection

为保障工作面的开采安全, 工作面的矿压显现规律是必须研究的内容之一, 砌体梁与关键层理论为研究矿山压力显现规律提供了重要的理论支撑<sup>[1]</sup>。直至 2019 年, 我国煤矿中约有一半的煤矿开采深度超过 1 000 m, 因此针对矿山压力理论的深入研究依然是众多研究学者关注的核心问题<sup>[2]</sup>。

随着煤矿开采向深埋煤层发展, 深层开采的煤矿数量不断增加, 随之带来的是深部开采的应力增加及矿山压力异常的问题, 例如, 强矿压、压架、冲击等问题。2010 年至 2020 年, 国家对能源需求的增加, 全国煤

炭产能维持在34~40亿t/a,煤矿的开采能力日益提高,深部开采成为煤矿行业的新常态.谢和平等<sup>[3]</sup>对深部开采进行界定,认为不能仅依照深度界定,深部本质是一种由地应力、采动应力与围岩属性共同决定的力学状态;彭瑞东等<sup>[4]</sup>分析了深部开采中强扰动特性,分析动力扰动类型并总结波动传播规律;李杨等<sup>[5]</sup>利用微震检测技术研究工作面高强度开采情况下的围岩破坏情况;冯龙飞等<sup>[6]</sup>从能量角度分析了开采速度对矿压显现的影响机制;王晓振等<sup>[7]</sup>对浅埋煤层工作面高速推进下的来压周期进行研究,结果表明高速推进使得来压周期显著增加;朱志洁等<sup>[8]</sup>对特厚煤层工作面在不同推进速度下的来压规律进行研究,认为工作面推进速度越快,超前支承压力峰值越高,峰值点与煤壁的距离越近;郭文兵等<sup>[9]</sup>研究了高强度开采情况下覆岩破坏的充分采动特性.随着开采深度的增加,回采工作面的顶板漏冒与煤壁片帮加剧、邻空巷道严重变形、支护困难等强矿压显现问题日益显著<sup>[10]</sup>,对安全开采造成了一定影响.因此,研究来压规律,开展深部开采工作面来压数据的系统性检测,对工作面支架设计和选型、巷道支护的设计具有重要理论意义和工程实践价值.

本文以晋城矿区某矿一盘区1311工作面开采条件为研究对象,通过监测支架阻力,分析工作面的来压规律,结合所研究矿区的实际岩层结构分布情况,确定邻近工作面的支架阻力,为后期顶板控制和支架选型提供参考和借鉴.

## 1 采矿工程概况

晋城矿区某矿主要工作煤层为3<sup>#</sup>煤层,其厚度均值为4.5 m,工作面采宽为260 m,属于大采宽.工作面推进速度一般为6~7 m/d,属于典型的高强度开采.本次研究对象为该矿3<sup>#</sup>煤层一盘区的1311工作面,其层厚平均4.75 m,最大采高5.0 m.工作面布置:宽度260 m,进回风巷道走向长度1 700 m,回采长度1 440 m,平均倾角1°,最大倾角5°.煤层顶底板情况如表1所示.

表1 煤层顶底板情况

顶、底板名称	岩石名称	厚度/m	特征
老顶	泥岩	2.90	黑色泥岩,致密,坚硬.含丰富的植物化石.具壳状断口
老顶	细粒砂岩	5.70	浅灰色细粒砂岩,主要成分石英、长石.分选中等.水平层理
直接顶	泥岩	1.50	黑色泥岩,致密块状,含植物化石,裂隙发育
直接顶	砂质泥岩	6.36	黑色砂质泥岩,夹粉砂岩条带.含丰富植物化石.具方解石脉
直接底	泥岩	2.80	黑色泥岩,厚层状,含植物化石
老底	砂质泥岩	6.68	黑色砂质泥岩,均一,水平层理.平坦状断口.半坚硬

煤层底板标高+370~+430 m,埋深650~750 m,无表土层.工作面开采过程,采用后退式一次采全高的采煤工艺,全部垮落的顶板处理方法.采用型号为MG600-1505的采煤机,生产过程为双向割煤,端部三角煤斜切进刀,进刀总长度约50 m.巷道中部的液压支架选型,选用两柱掩护式型号为ZY12000/28/62的液压支架,工作阻力12 000 kN(压强 $P=47.75$  MPa),初撑力7 916 kN(压强 $P=31.5$  MPa),在中部支架和端头支架之间布置过渡支架,型号为ZYGT12000/28/62.

由于工作面中上部区域位于走向推进距离的213~300 m处,顶板陷落柱在实际开采过程中,对顶板压力和顶板支护会产生一定影响.

## 2 矿压观测方案

采用综采记录仪监测工作面支架的工作状况.在1311工作面的液压支架上共布置18个监测仪器,分别位于9<sup>#</sup>,19<sup>#</sup>,24<sup>#</sup>,29<sup>#</sup>,32<sup>#</sup>,39<sup>#</sup>,49<sup>#</sup>,57<sup>#</sup>,59<sup>#</sup>,69<sup>#</sup>,79<sup>#</sup>,89<sup>#</sup>,99<sup>#</sup>,109<sup>#</sup>,115<sup>#</sup>,119<sup>#</sup>,129<sup>#</sup>和139<sup>#</sup>等液压支架上.工作面开采过程中,支架上的综采记录仪将会记录并存储不同时刻的顶板压力,采集数据进行后期分析.本文重点对数据比较完整的32<sup>#</sup>,79<sup>#</sup>和115<sup>#</sup>支架阻力进行分析.

## 3 工作面矿压显现规律

### 3.1 工作面矿压观测结果

于2020年7月5日开始对1311工作面进行矿压监测,与工作面推进同步,监测至2020年10月30

日.观测期间,工作面开采推进约 234 m.分析观测数据,确定来压步距与强度大小,记录循环进刀次数下的开采距离与日期.选取处在工作面上、中、下部的 3 个液压支架 32<sup>#</sup>、79<sup>#</sup>和 115<sup>#</sup>上的综采记录仪采集的数据为样本,绘制支架的工作阻力在推进过程中随时间的变化规律,如图 1 所示.由于推进速度受开采条件变化而有所改变,图 1 中横坐标记录每 10 d 的推进距离,7 月 5 日—7 月 15 日推进长度为 61.2 m,而过陷落柱期间由于推进速度降低,8 月 4 日—8 月 14 日推进长度仅 23.6 m.根据图 1 曲线所示,过陷落柱期间的支架工作阻力与正常条件期间的支架工作阻力相比,过陷落柱期间,来压周期较长,来压不明显,来压步距降低且持续长度较短。

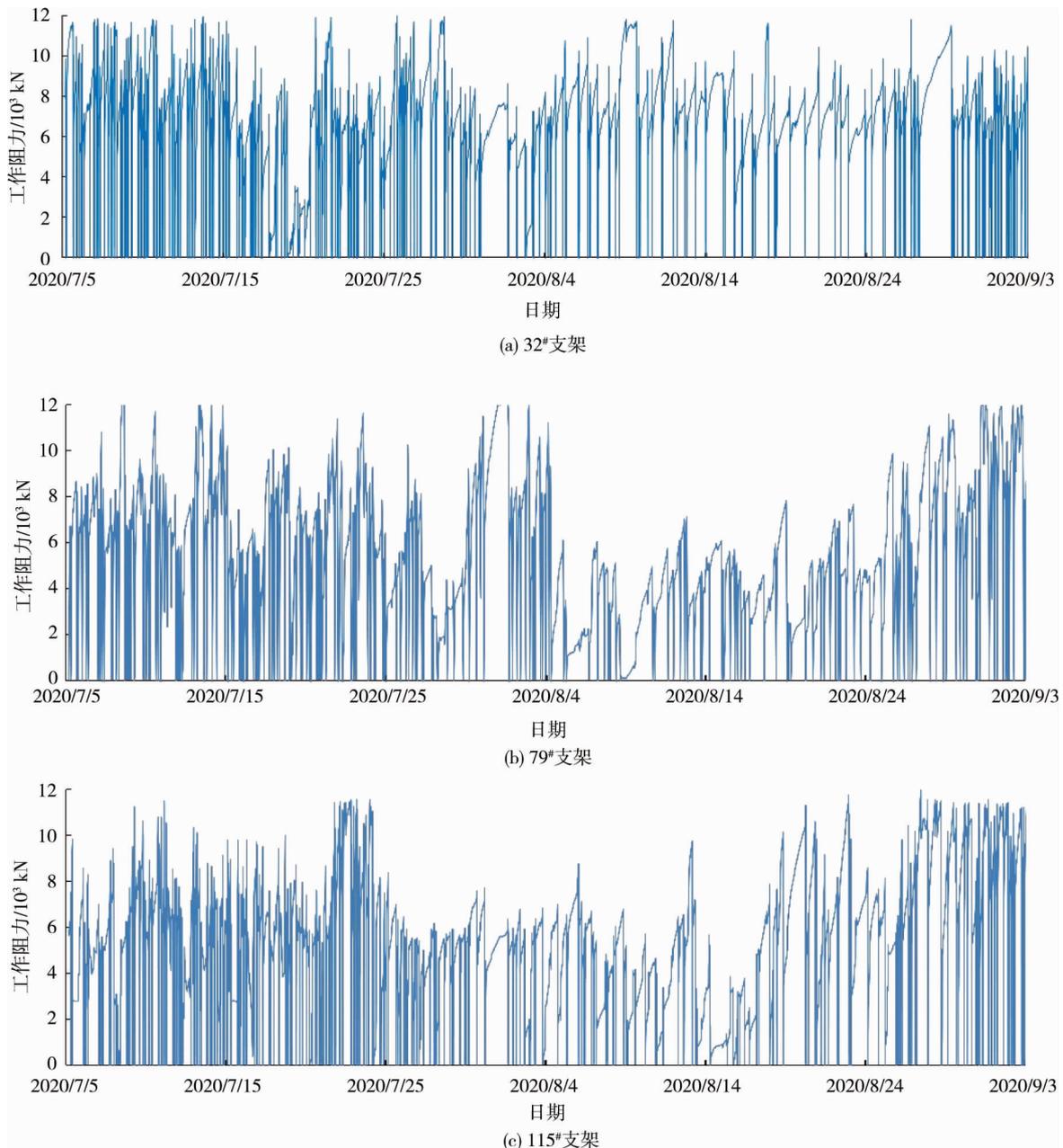


图 1 支架的工作阻力随工作面推进时间的变化规律

表 2 为工作面上部 32<sup>#</sup>支架上的综采记录仪采集的来压信息.由于工作面初采期监测仪器尚未完全安装到位,导致初次来压阻力未完整监测到,因此周期来压期间的规律为本次分析重点.结合表 1 工作面顶底板情况,煤层上部老顶中坚硬的 5.7 m 细粒砂岩的破断为顶板来压的主要原因.通过理论分析,确定工作面初次来压步距约为 35 m.此外,在过陷落柱期间,由于顶板破碎导致支架的工作阻力偏小,虽然来压时工作阻力较小,但动载系数反而较大,因此,对顶板的支护管理在工作面通过陷落柱时应更加注意.

表2 工作面32#支架来压规律分析

序号	来压时长/d	来压阻力/kN	非来压阻力/kN	步距/m	持续长度/m	动载系数
1	1.43	11 844	8 101	22.0	6.4	1.46
2	1.81	11 655	9 219	13.2	6.8	1.26
3	2.34	11 957	8 327	30.8	12.8	1.44
4	1.03	11 869	8 829	32.3	5.5	1.34
5	2.74	12 032	8 465	31.5	6.4	1.42
6	1.46	10 851	8 088	28.4	7.2	1.34
7	0.75	11 743	9 269	12.4	2.8	1.27
8	0.51	11 605	8 214	12.0	2.4	1.41
9	2.46	11 718	8 478	23.2	6.8	1.38
平均	1.61	11 697	8 554	22.9	6.3	1.37

### 3.2 工作面矿压规律分析

根据数据处理得到1311工作面的来压规律如表3所示.整体来看其来压规律表现为来压步距较大,持续长度较长,来压步距呈上部和下部大、中部小的特点,动载系数呈上部和中部大、下部小的特点.

表3 1311工作面来压规律

区域	来压阻力/kN	非来压阻力/kN	步距/m	持续长度/m	动载系数
下部	11 697	8 554	22.9	6.3	1.37
中部	10 806	7 362	19.5	6.6	1.49
上部	10 250	6 874	20.2	7.3	1.50
平均	10 918	7 597	20.9	6.7	1.45

## 4 邻近工作面的支架选型优化

根据1311工作面全部支架来压规律统计,1311工作面的来压支架阻力为9 404~12 032 kN,9 404 kN为79#支架最小来压阻力,12 032 kN为32#支架最大来压阻力.而目前1311工作面采用支架阻力为12 000 kN的液压支架,实际的最大支架阻力已超过了工作面支架的额定工作阻力.为保证邻近的W1311和1312工作面的支护效果,需结合1311工作面的柱状条件分析工作液压支架的合理选型.

事实上,决定综采支架载荷的主要因素除采高外,还有覆岩岩性与构造及岩层活动等因素.相同采高条件下,若覆岩岩性与构造及岩层活动因素不同,综采支架载荷也将产生差异.在实际生产中,仅利用工作面参数初步估算的支架阻力,由于可供参考的数据不充分或误差大等因素的局限,难以全方面掌握特殊条件下的岩层活动规则,常导致预估的支架阻力不能达到实际开采的需求.

为了掌握1311工作面顶板岩性的分布情况,在工作面中部,3#煤层顶板上方约60 m范围布置编号为Y1和Y2的岩层移动监测孔,与工作面切眼距离分别为57 m和95 m.由于工作面1311与W1311位置相近,利用1311工作面钻孔柱状估算出的支架合理工作阻力也适用于W1311工作面.Y1与Y2检测孔覆岩柱状分布如图2所示.

1311工作面3#煤层覆岩的主关键层为埋深约52 m,厚度8.8 m的细砂岩,主关键层与煤层距离约648 m,对工作面矿压规律影响可忽略不计.从图2中Y1钻孔柱状可以看出,距离3#煤层3.2 m的硬岩层为亚关键层,为厚约5.3 m的粉砂岩;在Y2钻孔柱状中,距离3#煤层基本顶上方8.65 m处的一层砂质泥岩,为距煤层上方最近的亚关键层.根据实测数据分析,垮落带高度约在16~18 m处,这层砂质泥岩的亚关键层处于垮落带内,亚关键层的破断下沉,诱导工作面发生矿压显现.假设垮落带中破断的岩层无法形成对自身产生支撑力的结构,其上部破断岩层的压力将垂直向下传递,全部由支架承载,在这种极端情况下,支架工作阻力的经验公式为

$$F = a \sum_{i=1}^i r_i h_i b_i / \eta \quad (1)$$

式中:  $F$  为支架工作阻力, kN;  $a$  为支架宽度, m;  $r_i$  为垮落带第  $i$  层岩层容重, kN/m<sup>3</sup>;  $h_i$  为垮落带第  $i$  层岩层厚度, m;  $b_i$  为垮落带第  $i$  层岩层悬顶长度, m;  $\eta$  为支架支护效率.

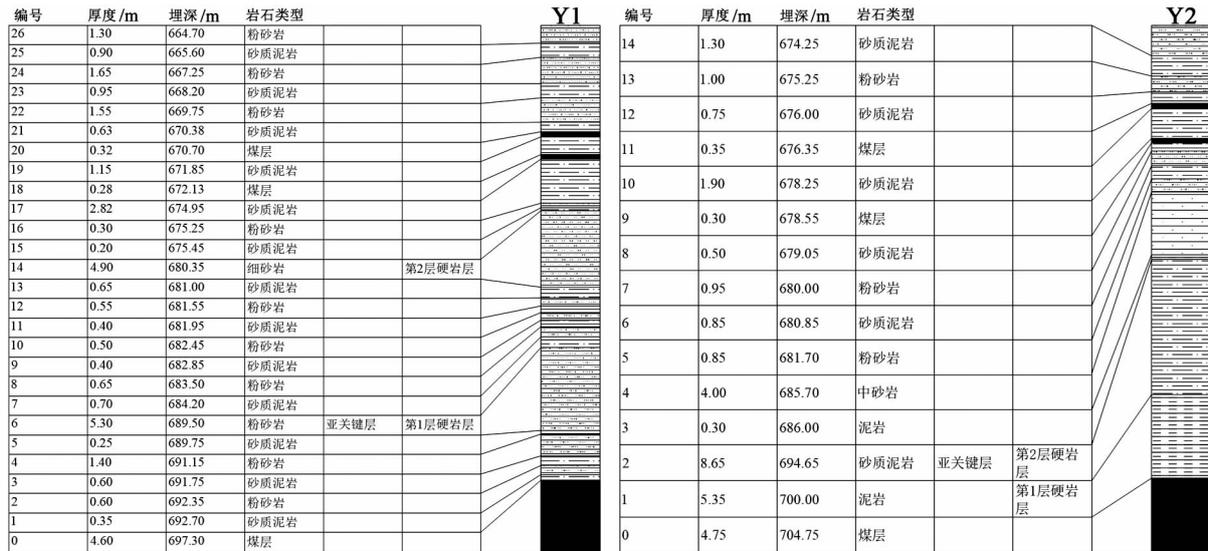


图2 1311工作面覆岩柱状分布

通过表2数据分析得到周期来压步距,估算上覆岩层的悬顶长度约为18.9 m。Y1钻孔中,垮落带高度为18.3 m,支架宽度为1.75 m,上覆岩层容重为25.6 kN/m<sup>3</sup>,η取1.将这些参数值代入式(1)中,计算得出Y1钻孔的支架工作阻力F=15 495 kN。同理对Y2钻孔的支架工作阻力进行估算,结果为F=14 775 kN。

根据1311工作面的Y1和Y2钻孔柱状的预算结果,1311工作面的支架工作阻力为14 775~15 495 kN。因此,其邻近工作面W1311和1312在开采过程中,建议选用工作阻力为15 000~16 000 kN的支架,当工作面推进到较厚的亚关键层时,应严格保证支护效果,以实现生产安全。

## 5 结论

1)在深部开采过程中,工作面推进过特殊地质构造(如陷落柱)时需降低推进速度,此时来压周期较长,来压不明显,来压步距降低且持续长度较短,并且在过陷落柱期间动载系数增加,应更加注意顶板控制。

2)综合支架工作阻力数据与上覆岩层柱状数据,利用关键层理论分析关键层对垮落带的影响,采用垮落带全部由支架支撑的极限情况下的经验公式,计算得到的支架工作阻力能确保工作面安全生产。

3)矿压规律受地质构造及开采布局等条件影响,同一煤层或相邻煤层的工作面,其矿压规律具有一定的相似性,可以基于本工作面的岩层结构和矿压实测结果,为邻近工作面的支架阻力及开采速度等提供合理参考。

## 参考文献:

[1] 钱鸣高,石平五,许家林.矿山压力与岩层控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,2010:84-97,111-113.  
 [2] 钱鸣高,许家林.煤炭开采与岩层运动[J].煤炭学报,2019,44(4):973-984.  
 [3] 谢和平,高峰,鞠杨,等.深部开采的定量界定与分析[J].煤炭学报,2015,40(1):1-10.  
 [4] 彭瑞东,薛东杰,孙华飞,等.深部开采中的强扰动特性探讨[J].煤炭学报,2019,44(5):1359-1368.  
 [5] 李杨,杨天鸿,郝耐,等.基于应力释放率与微震监测的高强度开采工作面推进速度效应分析[J].采矿与安全工程学报,2021,38(2):295-303.  
 [6] 冯龙飞,窦林名,王晓东,等.回采速度对坚硬顶板运动释放能量的影响机制[J].煤炭学报,2019,44(11):3329-3339.  
 [7] 王晓振,许家林,朱卫兵,等.浅埋综采面高速推进对周期来压特征的影响[J].中国矿业大学学报,2012,41(3):349-354.  
 [8] 朱志洁,张宏伟,陈莹,等.特厚煤层开采工作面推进速度对矿压显现的影响[J].安全与环境学报,2016,16(3):126-129.  
 [9] 郭文兵,赵高博,白二虎.煤矿高强度长壁开采覆岩破坏充分采动及其判据[J].煤炭学报,2020,45(11):3657-3666.  
 [10] 袁亮.深部采动响应与灾害防控研究进展[J].煤炭学报,2021,46(3):716-725.