

巨厚砂岩顶板弱化下矿压显现特征

李春佳¹, 沈孟飞^{2,3}

1. 国投新集能源股份公司新集二矿, 淮南 232172
2. 安徽理工大学能源与安全学院, 淮南 232001
3. 安徽理工大学煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室, 淮南 232001

摘要 以某矿 210108 综采工作面为研究对象, 针对工作面顶板较坚硬、不易自然垮落的特点, 为得到该条件下的矿压显现特征, 制定了巨厚砂顶板深孔爆破弱化条件下的现场矿压观测方案。通过对实测数据及现场矿压日报的整理分析, 对采场矿压显现特征、顶板活动规律和超前支承压力分布规律进行了研究, 并分析了初次来压和周期来压期间支架载荷的变化情况。结果表明, 通过掌握坚硬顶板弱化条件下的矿压显现规律, 对指导工作面安全高效开采具有重要意义。

关键词 巨厚砂岩顶板; 爆破弱化; 支架载荷; 矿压显现

中图分类号 TD323

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.15.007

Strata Behaviors Laws Under the Condition of Thick Sandstone Roof Weakening

LI Chunjia¹, SHEN Mengfei^{2,3}

1. Xinji No.2 Coal Mine, SDIC Xinji Energy AG, Huainan 232172, China
2. School of Energy and Safety Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China
3. Provincial and MOE Joint Key Laboratory of Mine Safety and High Efficient Mining, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China

Abstract With the fully mechanized coal mine surface of a mine 210108 as the object of research, in view of the fact that the working face is hard and the natural caving roof is not easy to collapse, in order to determine its characteristics under the condition of the mine, an observation scheme is devised for the thick sand roof under the condition of the deep hole blasting weakening the mineral pressure. Based on the measured data and the daily field pressure analysis, the pressure characteristics, the stope roof activity and the abutment pressure distribution are studied, and analyzed during the first weighting and periodic changes of the support load. It is shown that under the condition of hard roof weakening, an understanding of the mine pressure variation law is of great significance to safety and efficiency of the working face mining.

Keywords thick sandstone roof; blasting and weakening; load of hydraulic support; strata behaviors

矿山开采中, 坚硬顶板是指厚度大, 强度高(单轴抗压强度 > 80 MPa), 整体性好, 节理裂隙基本不发育, 煤层开采后在采空区可以大面积暴露, 短期内不易自然垮落的顶板岩层^[1,2]。中国煤层赋存条件复杂, 属于坚硬顶板的煤层分布在中国约 50% 以上的矿区, 随着综采技术的不断发展, 仍有近 40% 的综

采面属于来压强烈的坚硬顶板。此类顶板抵抗破坏的极限强度往往很大, 老顶自稳能力较强, 采场老顶岩层断裂后的岩块旋转或滑落下沉较强烈, 来压步距大, 强度高, 对工作面甚至矿井的安全生产造成严重的危害, 并有可能发生冲击矿压或矿震^[3-6]。以某矿 210108 工作面现场为研究对象, 通过深

收稿日期: 2013-08-29; 修回日期: 2013-12-23

作者简介: 李春佳, 助理工程师, 研究方向为矿山压力及其岩层控制、煤矿开采方法等, 电子信箱: licj315@163.com; 沈孟飞(通信作者), 硕士研究生, 研究方向为坚硬顶板矿山压力及其岩层控制, 电子信箱: miner211@163.com

引用格式: 李春佳, 沈孟飞. 巨厚砂岩顶板弱化下矿压显现特征[J]. 科技导报, 2014, 32(15): 53-57.

孔爆破弱化技术处理煤层顶板坚硬岩层,采用现场实测与理论分析相结合的研究方法,分析该条件下的矿压显现特征,特别对老顶来压时间、来压强度和来压位置进行及时预测预报,以确保煤矿现场安全生产。

1 工作面概况

某矿 210108 综采工作面作为 1 煤首采工作面,此工作面布置在 2101 采区的东翼 1_上煤层中,采面沿煤层布置有三条基本巷道(风巷、机巷、切眼)。该工作面可采走向长度为 565 m,平均倾斜长度为 148 m,煤层平均厚度为 4.5 m,煤层平均倾角为 8°,现场采用全部垮落后退式综合机械化开采,风巷与机巷支护均采用架棚支护,在架棚上方分别铺设锚网。

东翼 1_上煤层厚度 0~5.2 m,平均 4.5 m,煤层厚度变化大,但结构较简单。据钻孔资料及精查地质报告,局部可能发育一层 0.2~0.4 m 厚的夹矸,岩性为深灰色泥岩。根据采区及工作面煤层综合柱状图分析,顶板岩性主要为巨厚层状砂岩或石英砂岩,少量为泥岩,单向抗压强度平均为 92.3 MPa,最大可达 137.9 MPa,单向抗拉强度平均为 7.82 MPa,岩石坚固性系数 $f=13.8$,根据中国工程界的岩石单轴抗压强度分类方法,对东翼 1_上煤层顶板进行划分(表 1),可归并为 II 级,煤层顶板属坚硬顶板^[7]。使用综采支架对东翼 1_上煤层一次性采全高,还剩约 4 m 高的 1 煤层本次不能开采。1 煤位于东翼 1_上煤层之下,平均厚度 4.3 m,中间发育一层平均 1.1 m 厚的灰色泥岩夹矸。开采东翼 1_上煤层时,1 煤层作为工作面的底板。根据顶板赋存状况,对工作面切眼顶板进行爆破弱化处理,工作面推进至 5.2 m 时,开始沿工作面倾向方向在切眼顶板单排分 2 组布置 5 个炮孔,进行切眼内强制放顶施工。以后,按爆破参数要求,不断对顶板弱化处理。

表 1 岩石单轴抗压强度分类

Table 1 Classification of uniaxial compressive strength of rock

类别	岩石单轴抗压强度/MPa	岩石类别
I	250~160	特坚硬岩石
II	160~100	坚硬岩石
III	100~40	次坚硬岩石
IV	<40	软岩

2 矿压观测方法

沿工作面倾斜方向每隔十架作为一个观测断面,每天统计一次架前冒顶、煤壁片帮、支架受损损坏、安全阀开启情况等,将统计结果详细记录在现场的矿压监测分析日报中。不但要进行宏观统计,还要对支架载荷及超前支承压力变化进行实时监测。

2.1 工作面液压支架载荷观测

液压支架载荷监测采用山东科技大学中天电子有限公司

研制的煤矿矿压观测数据处理分析系统进行监控。沿工作面倾斜方向分别布置上、中、下 3 个测站,其中,下部测站分别在 27#、17# 和 7# 液压支架上设置测点,中部测站分别在 67#、57#、47# 和 37# 液压支架上设置测点,上部测站分别在 97#、87# 和 77# 液压支架上设置测点,将观测表与液压支架前、后柱相连,对前、后柱进行初撑力和工作阻力的监测,测点布置如图 1 所示。

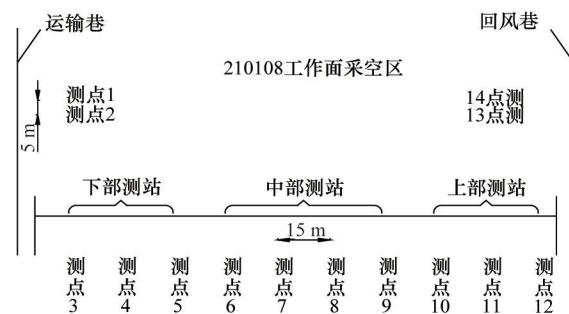


图 1 工作面测点布置示意

Fig. 1 Measuring point layout

2.2 工作面超前支承压力监测

将工作面前方 30 和 35 m 处运输顺槽、回风顺槽内的单体液压支柱通过测压计与压力阀连接,实现工作阻力的连续监测,详细记录工作面前方支承压力变化情况。

3 矿压观测结果分析

3.1 直接顶初次垮落特征

根据现场宏观统计情况及监测数据分析,210108 工作面推进至约 21 m 时,机巷采空区直接顶垮落,工作面 28#~50# 架采空区直接顶未垮落,18#~27#、51#~74# 架采空区垮落不充分,1#~17# 架、75#~94# 架采空区冒落较充分并压实,76#~94# 架煤壁发生片帮。当推进至约 24 m 处时,工作面推过风巷第二组超前深孔松动爆破点后,采空区全部垮落,持续时间 1 d。初次垮落时,机巷推进至 26 m,风巷推进至 20 m,平均垮落步距为 23 m。直接顶初次垮落前,支架的平均工作阻力为 4758 kN,是额定工作阻力的 51.7%。来压时支架的最大工作阻力为 7026 kN,为额定工作阻力的 76.4%,动载系数为 1.48,支架工况良好。

3.2 老顶初次来压特征

超前深孔松动爆破使坚硬顶板整体性得到破坏,对初次放顶步距产生影响,降低了来压强度。煤层顶板在此影响条件下,对支架和工作面煤壁形成的压力变化较大(图 2)。随着工作面的推进,采空区的跨度不断加大,当跨度约达到 36 m 时,一个采煤循环内支架工作阻力增载十分明显,最大增载可达 88.8%,两巷超前支护单体的工作阻力也有所增加。77#~80# 支架附近出现不同程度的顶板淋水、煤壁片帮等现象,显现出来压征兆,受调采影响,上部显现比较明显。

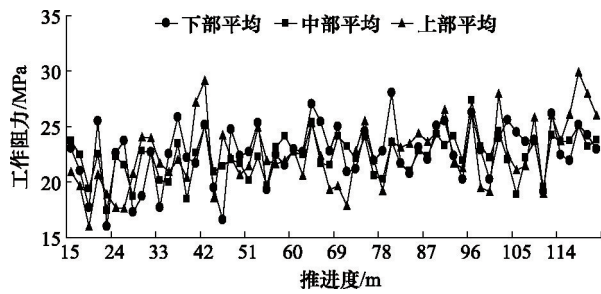


图2 支架工作阻力与推进度关系

Fig. 2 Support working resistance vs. the advancement

至16日中班支柱压力开始回落,共持续约9 h。此时工作面推进了34.7 m,切眼宽度7 m,工作面上部老顶初次来压步距为41.7 m。17日工作面中部及下部支架增阻也越来越明显,其中,机巷超前支护单体工作阻力迅猛最大至235.5 kN,煤

壁掉渣。一个采煤循环内工作面支架工作阻力增载普遍为75%~80%,最大增载为110%。实测液压支架瞬时最大工作阻力达到9170 kN/架,占支架额定工作阻力的99.7%,工作阻力有极小的富余量。此时,工作面中部及下部分别推进到43.9和35.3 m。工作面老顶初次来压步距为35.3~43.9 m,平均为40.3 m,影响范围为4.8 m。

3.3 老顶周期来压特征

老顶初次来压以后,工作面继续推进,又连续观测到5次周期来压。由基本顶来压观测结果(表2)可知:老顶周期来压呈不均匀分布状态,其中,来压步距上部平均为13.8 m、中部平均为14.8 m、下部平均为11.6 m。从观测的数据分析可知,210108工作面在推进过程中,可能受深孔松动爆破、煤层厚度变化、推进速度及地质构造等各种复杂因素的影响,使周期来压时的特征主要表现为工作面上部、中部、下部不仅来压步距不同,来压时间也并不一致。

表2 基本顶来压观测结果

Table 2 Basic roof weighting observations

来压周期	推进度/m				来压步距/m			
	上部	中部	下部	平均	上部	中部	下部	平均
初次	41.7	43.9	35.3	40.3	41.7	43.9	35.3	40.3
第1次	56.7	55.7	45.3	52.6	15.0	11.8	10.0	12.3
第2次	72.4	72.5	59.6	68.2	15.7	16.8	14.3	15.6
第3次	84.4	90.3	66.9	80.5	12.0	17.8	7.3	12.3
第4次	94.2	106.6	85.6	95.4	9.8	16.3	18.7	14.9
第5次	110.5	117.9	93.1	107.1	16.3	11.3	7.5	11.7
综合平均值					13.8	14.8	11.6	13.4

3.4 液压支架工作阻力特征分析

3.4.1 支架初撑力

工作面液压支架的额定初撑力为7752 kN,实测初撑力平均值为4243 kN,最大初撑力为5715 kN,分别为额定初撑力的54.73%、73.72%。部分支架初撑力达不到规定要求,其中,37#~7#架支架初撑力普遍偏低。初次来压以后,工作面支架初撑力有所下降,中部显现偏低,并低于规定要求。分析可能原因有:

1) 液压泵站提供的压力不足或泵站受供液距离的影响,沿程传输中有一定压力损失^[8]。

2) 受现场工人的操作水平、工作经验和个人职业素养的影响,供液时间可能得不到保证^[9]。

3) 1煤层作为工作面的底板,顶板载荷大,底板(1煤层)松软,支架让压大,易陷底产生歪斜,支架的稳定性差,承压能力下降,导致支护系统刚度不足。

此外,两巷超前支护单体初撑力均能达到规定要求。应加强液压支架初撑力的管理,避免采空区顶板大面积突然垮

落而损坏支架。

3.4.2 支架工作阻力

经数据统计分析,工作面支架时间加权平均工作阻力为5381 kN,平均最大工作阻力为7879 kN,最大工作阻力达到9425 kN,分别为额定工作阻力的58.49%、85.64%和102.45%。其中,最大工作阻力发生在周期来压瞬间,影响时间较短。可能受底板软弱条件、煤层倾角、移架前后泵站压力不稳定等因素影响,支架前后柱受力多数情况下不均。顶板经深孔爆破弱化促使裂隙发育,时间加权平均工作阻力相对偏低,支架工作阻力变化较大,但集中在2500~7500 kN,占90%以上。

来压期间支架工作阻力频率分布状况,如表3所示。由表3可知,支架工作阻力分布大致遵循正态分布特点,支架工况良好,故支架选型较为合适,总体上可以满足现场实际需要。但在来压期间需加强顶板管理工作,以防压架事故发生,保证支架正常运行。

表3 支架工作阻力分布

Table 3 Support working resistance distribution

支架/(kN·架 ⁻¹)	7 [#]	17 [#]	27 [#]	37 [#]	47 [#]	57 [#]	67 [#]	77 [#]	87 [#]	97 [#]	%
0~2500	0.04	0.24	0.02	1.34	0.28	0.44	0.57	0.41	0.16	3.27	
2500~5000	19.18	22.59	18.84	19.54	19.96	31.51	22.43	26.52	23.62	52.56	
5000~7500	76.20	76.29	78.42	77.01	77.44	67.96	75.48	72.47	73.51	44.17	
7500~10000	4.62	0.88	2.72	2.11	2.32	0.09	1.52	0.60	2.71	0.00	

3.4.3 来压期间液压支架载荷特征分析

来压时,支架载荷迅速增加,呈直线式增长,瞬时载荷甚至超过了支架的额定工作阻力,支架安全阀开启。周期来压时,实测工作面液压支架工作阻力最大达到9425 kN/架,不仅大于初次来压阶段工作阻力的最大值,甚至超过了支架的额定工作阻力,主要原因为:

- 1) 上覆岩层突然垮落时,支架安全阀未能实现瞬时开启。
- 2) 初采期间,严格的初采初放监管制度保证了液压支架能够提供足够的初撑力,随着工作面的不断推进,部分支架

性能降低,影响了工作面液压支架的初撑力。因此必须采取措施保证支架正常工作,减少来压期间顶板活动对工作面的影响,确保工作面安全回采。

3.5 工作面超前支承压力分布规律

自测点布置开始至测点失效为止,采用现场连续观测,当工作面推进到距离测点不远处时,对应的测点相应后移,进入下一个阶段。对现场所监测的实时数据进行拟合,绘制出不同推进度下单体液压支柱的工作阻力变化曲线,为研究工作面超前支承压力分布规律提供了依据,如图3所示。

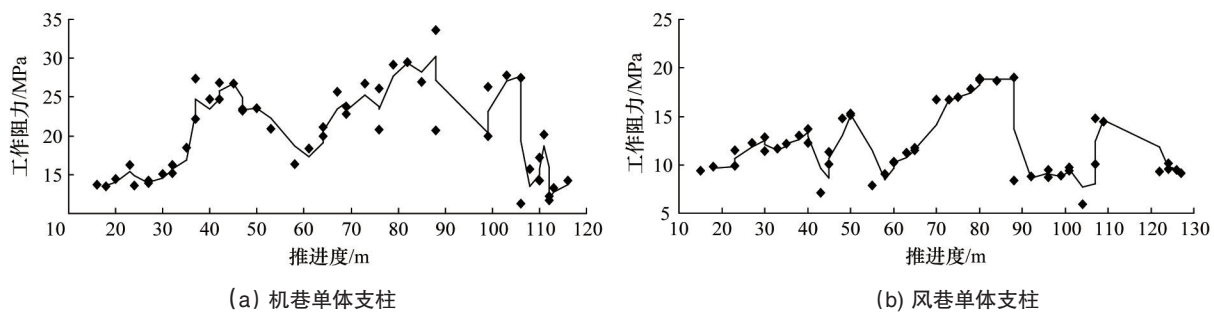


图3 两巷单体支柱工作阻力变化曲线

Fig. 3 Two lane single prop working resistance curves

根据图3中单体液压支柱的工作阻力变化情况,并考虑测点位置移动因素,将图3中超前支承压力的影响情况分为3个阶段,参数分析汇总见表4。

表4 超前支承压力影响范围

Table 4 The influence scope of abutment pressure

位置	阶段	峰值 /m	影响范围 /m	微弱影响 阶段/m	强烈影响 阶段/m
机巷	阶段1	14	30~35	5~7	6~20
	阶段2	18	30~35	10~15	12~25
	阶段3	13	30~35	5~7	6~16
	平均值	15	30~35	7~11	8~20
风巷	阶段1	20	30~35	5~10	7~20
	阶段2	19	30~35	5~10	7~28
	阶段3	16	30~35	10~15	12~30
	平均值	18	30~35	7~13	9~26

由图3、表4可知,工作面超前支承压力峰值位置距煤壁约为16.7 m,相当于3.7倍的回采高度。初步判定超前支承压力影响范围为30~35 m。受工作面回采的影响,工作面煤壁前方7~12 m范围所测单体压力变化不大,围岩受到工作面超前支承压力影响较小,为超前微弱影响阶段;8~23 m范围内工作面前方单体压力变化较明显,可看做超前强烈影响阶段。根据对工作面两巷超前影响范围分析,并考虑150%的安全系数,工作面前方33.8 m范围内应重点采取超前加强支护措施。

4 结论

1) 某矿210108工作面直接顶的初次垮落步距平均为23 m,老顶的初次来压步距平均为40.3 m,周期来压步距平均为13.4 m。其中,初次来压步距是周期来压步距的3.01倍。工作面顶板弱化处理后,保证了初采期间的安全生产。

2) 来压时,支架载荷变化较大,来压瞬间支架受冲击载荷,可能造成支架破坏,影响生产。因此,要求支架不仅要有

足够的初撑力和工作阻力,还应有较大的抗冲击性能。建议支架中改用较大流量的安全阀,使缸内液体瞬时能够排出以达到降低冲击载荷对支架的破坏,延长支架寿命的目的。

3) 从总体而言,支架工作期间工作阻力90%以上集中在2500~7500 kN,利用率高,故支架整体能够满足生产需要。但为防来压瞬时对支架造成冲击破坏,加强顶底板管理及泵站管理是今后工作的重点。

4) 210108工作面超前支承压力影响范围在工作面前方35 m左右,8~23m范围内,超前支承压力影响剧烈,两帮活动强度大。鉴于安全系数因素,建议超前加强支护距离为33.8 m,并加强巷道两帮的支护,尤其是在机巷。

参考文献(References)

- [1] 王开, 康天合, 李海涛, 等. 坚硬顶板控制放顶方式及合理悬顶长度的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 11(28): 2320-2327.
Wang Kai, Kang Tianhe, Li Haitao, et al. Study of control caving methods and reasonable having roof length on hard roof[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 11(28): 2320-2327.
- [2] 周登辉, 伍永平, 解盘石. 大倾角坚硬顶板深孔超前预爆破研究与应用[J]. 西安科技大学学报, 2009, 29(5): 510-514.
Zhou Denghui, Wu Yongping, Xie Panshi. Big dip angle and hard roof of advanced research and application of deep hole blasting[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2009, 29(5): 510-514.
- [3] 靳钟铭, 徐林生. 煤矿坚硬顶板控制[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1994: 203-235.
Jin Zhongming, Xu Linsheng. Hard roof control in coal mine[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1994: 203-235.
- [4] 黄洋, 姚强岭, 丁效雷, 等. 坚硬顶板条件下老顶来压预测预报[J]. 煤炭工程, 2008, 12: 56-57.
Huang Yang, Yao Qiangling, Ding Xiaolei, et al. Under the condition of hard roof main roof weighting forecasting[J]. Coal Engineering, 2008, 12: 56-57.
- [5] 曹胜根, 姜海军, 王福海, 等. 采场上覆坚硬岩层破断的数值模拟研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(2): 205-210.
Cao Shenggen, Jiang Haijun, Wang Fuhai, et al. Numerical simulation of overlying hard strata rupture in a coal face[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2013, 30(2): 205-210.
- [6] 牛锡倬. 煤矿坚硬难冒顶板控制[J]. 岩石力学与工程学报, 1988, 7(2): 137-146.
Niu Xizhuo. Hard coal mine roof control[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1988, 7(2): 137-146.
- [7] 沈明荣, 陈建峰. 岩体力学[M]. 上海: 同济大学出版社, 2006: 105-119.
Shen Mingrong, Chen Jianfeng. Rock mass mechanics [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2006: 105-119.
- [8] 王毅, 丁可可, 孙增飞, 等. 坚硬顶板条件下老顶初次来压规律研究[J]. 能源技术与管理, 2010(3): 67-69.
Wang Yi, DingKeke, Sun Zengfei, et al. Under the condition of hard roof and old first to pressure law research[J]. Energy Technology and Management, 2010(3): 67-69.
- [9] 黄靖龙. 液压支架初撑力不足的原因及对策[J]. 矿山压力与顶板管理, 2002(2): 24-26.
Huang Jinglong. The causes and countermeasures of hydraulic support setting force is insufficient[J]. Mine Pressure and Roof Management, 2002 (2): 24-26.

(责任编辑 赵业玲)

·学术动态·



中国科学技术协会

第16届中国科协年会在昆明隆重开幕

2014年5月24日,第16届中国科协年会在昆明隆重开幕。中共中央政治局委员、中央组织部部长赵乐际出席开幕式并讲话,中共云南省委书记、省人大常委会主任秦光荣致欢迎词。全国政协副主席、中国科协主席韩启德,十一届全国政协副主席王志珍,中央和国务院有关部委领导同志,云南省领导,解放军有关领导同志,包括中国科学院院士、中国工程院院士在内的国内著名专家学者,来自科研、生产、教学第一线的科技工作者,包括诺贝尔奖获得者在内的国际知名科学家、海外专家学者,以及国际知名科技组织的代表共2000余人出席大会开幕式。开幕式由中国科协副主席、党组副书记、书记处书记张勤主持。

大会特邀报告会上,全国政协副主席、中国科协主席韩启德,中国科学院院长白春礼,中国工程院副院长谢克昌,国家新闻出版广电总局副局长邬书林,台湾珩创科技董事长卢超群分别作特邀报告。

第16届中国科协年会由中国科学技术协会和云南省人民政府共同主办,以“开放、创新与产业升级”为主题,共举办5大板块397项活动,有4000余位科技工作者参加各项活动。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/15660706.html>。