

文章编号: 0253-9993(2009)02-0150-06

基于覆岩空间结构理论的冲击地压预测技术及应用

王存文¹, 姜福兴¹, 孙庆国², 孙春江², 张 明², 冀贞文², 张修峰²

(1. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083; 2. 新汶矿业集团公司, 山东 泰安 271413)

摘 要: 基于覆岩空间结构理论的基本思想, 结合力学分析, 研究了“S”型覆岩空间结构的岩层组成、运动规律、应力分布特征, 探索了基于覆岩空间结构理论的冲击地压预测方法. 基于山东华丰煤矿微地震监测的结果, 证明除了受构造、煤柱等影响区域外, 当“S”型覆岩空间结构在工作面推进至单工作面“见方”、双工作面“见方”、三工作面“见方”阶段, 由于采场上方覆岩空间结构相互连通, 其运动范围和烈度增大, 更容易诱发冲击地压. 结合华丰矿1410工作面的开采实际, 预测了冲击地压发生的时间和地点.

关键词: 覆岩空间结构; 冲击地压; 预测预报; 微地震监测

中图分类号: TD324.2 **文献标识码:** A

The forecasting method of rock-burst and the application based on overlying multi-strata spatial structure theory

WANG Cun-wen¹, JIANG Fu-xing¹, SUN Qing-guo², SUN Chun-jiang²,
ZHANG Ming², JI Zhen-wen², ZHANG Xiu-feng²

(1. Civil & Environmental Engineering School, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. Xinwen Mining Group Co., Tai'an 271413, China)

Abstract: Based on the overlying multi-strata spatial structure theory and mechanics analysis, presented the rules of “S” shape spatial strata structure movement and mining stress distribution. Coal out-burst forecasting based on “S” shape spatial strata structure movement was studied. According to microseismic monitoring result in Huafeng Coal Mine in Shandong Province, coal out-burst will happen when the advancing distance of longwall face is equal to one, two or three times length of longwall face respectively. During these periods, mined areas approach to square shape while “S” shape spatial strata structures acting strongly. Based on this viewpoint, predicted the time and position of coal out-burst in No. 1410 longwall face of Huafeng Coal Mine. By using large diameter and deep drill hole in seam and deep drill hole with blasting in roof at those danger areas, the No. 1410 longwall face safely advanced through those danger areas. During those periods the microseismic monitoring system detected very strong mine quakes.

Key words: overlying multi-strata spatial structure; coal out-burst; forecasting; microseismic monitoring

进入深部开采后, 决定工作面周围矿山压力显现程度的岩层运动范围已经超出了直接顶和老顶的范围, 老顶上方岩层状况与相邻工作面的采动情况决定了关键岩层^[1]的运动, 从而决定了矿山压力的显现

收稿日期: 2008-03-20 责任编辑: 常 琛

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (40674017, 50774012)

作者简介: 王存文 (1980—), 男, 黑龙江牡丹江人, 博士研究生. E-mail: friendcunwen@163.com

程度,即覆岩以空间结构^[2-3]的形式影响采场矿山压力的显现.因此,基于覆岩空间结构的观点,可以进行冲击地压的宏观预测^[4-5].

微地震监测技术^[6-10]是近年来发展起来的一项跨学科的综合监测技术,在多个领域有着广泛应用.在煤矿灾害监测中,其原理是通过在采场周围埋设多个震动传感器,捕捉岩层断裂信号,根据震源到达传感器的到时差,反推震源位置和震动能量.微地震监测技术能够给覆岩空间结构理论提供最直接的证据,对于基于覆岩空间结构预测冲击地压有重要的作用.因此,本文探索并实践了以覆岩空间结构理论和矿山压力理论为基础,以微地震监测为手段,以现场矿山压力显现为验证的冲击地压预测技术.

1 覆岩空间结构学术观点概况

采场覆岩空间结构的概念中有2个含义:①采场周围岩体破裂边缘的形状特征;②破裂区内部岩层形成的运动结构.前者(破裂)是后者(结构)形成的基础.姜福兴教授有关覆岩空间结构的研究认为,覆岩空间结构有4种基本结构,即“中间有支撑”的“ θ ”型、“中间无支撑”的“O”型、“S”型和“C”型^[3].覆岩空间结构的观点是将从低位到高位的关键层的运动联系起来,按时间和空间的连续性推演岩层运动、变化的过程.这种时空观点对于大采深、高开采强度的煤矿灾害控制更具实用性.

2 大采深强冲击工作面基本情况

山东省新汶矿区的华丰煤矿是国内冲击地压灾害最严重的煤矿之一,目前采深达到1 100 m以下.自1992年以来,冲击地压造成数千米巷道破坏,数十人伤亡,给安全生产造成了重大影响.正在开采的1410工作面煤厚6.2 m,倾角32°,综放开采,其工作面回风巷侧为已开采的1409工作面,其下方43 m为已开采的1611工作面,作为1410工作面的保护层.

3 基于覆岩空间结构理论的冲击地压预测

3.1 覆岩空间结构与冲击地压间的关系

引起冲击地压的岩层主要有2部分:①从地表到覆岩空间结构上部的岩层,这部分岩层产生高应力并使其达到接近诱发冲击地压的水平;②覆岩空间结构内部的岩层,这部分岩层产生高应力差(动应力)并诱发冲击地压.因此,除了需要研究直接顶和老顶厚度外,还需要研究覆岩空间结构内部的岩层高度.

覆岩空间结构内部岩层的运动是冲击地压的主要诱发因素,而覆岩空间结构外部直到地表的岩层自重,则是决定是否发生冲击地压的基本应力的主要来源.因此,覆岩空间结构运动产生动压的强度随着不同阶段覆岩空间结构高度的变化而变化.低位岩梁运动(如老顶初次来压)涉及的岩层高度较低,动压也相对较小;高位岩梁运动(如本工作面“见方”、双工作面“见方”、三工作面“见方”)涉及的岩层高度较高,动压较大.因此,可以根据工作面推进的不同阶段,确定冲击地压危险程度.

3.2 “S”型覆岩空间结构下的应力分析

3.2.1 “S”型覆岩空间结构的组成

“S”型覆岩空间结构是指一侧采空的工作面老顶及其上覆岩层形成的、支点在采空区和实体煤上的岩层结构,从垂直层面方向看,“S”型覆岩空间结构涉及的岩层范围是老顶、老顶以上若干组坚硬岩梁、直至地表的各组岩层的总和.

(1)“S”型覆岩空间结构中的老顶.按照传递岩梁理论^[11],老顶(第1组岩梁)指直接顶上方自身能够形成平衡结构、能传递力的那部分岩层.老顶形成的“S”型覆岩空间结构是最下位的空间结构,由于距离煤层最近,其断裂、运动对采场及巷道形成的影响最直接,但不一定最大.老顶岩梁的厚度、岩性、节理裂隙发育程度、采煤方法、煤层厚度等因素共同决定了对采场的影响程度.

(2)老顶上方 N 组坚硬岩梁($N>1$). N 组坚硬岩梁($N>1$)一般指能够对采场造成显著影响的岩层范围,也是传统“三带”理论中的断裂带^[12-13].从关键层理论中可知,“S”型覆岩空间结构的 N 组坚硬

岩梁是指 N 组关键层, 即对上位岩层的运动 (断裂、沉降) 起控制作用, 其断裂和沉降对下位岩层有明显影响的坚硬岩层。 N 组坚硬岩梁所包含的岩层范围远远大于 6 ~ 8 倍的采高, 根据相似材料模拟实验^[14], N 组坚硬岩梁包含的范围达到 58 倍采高 (煤层 3 m, 破裂高度 176 m)。

(3) N 组坚硬岩梁上方直至地表的岩层。在 N 组坚硬岩梁的上方直至地表之间的岩层, 组成了“S”型覆岩空间结构的第 3 部分。这部分岩层是随 N 组坚硬岩梁的断裂开始沉降的, 岩梁本身未发生明显断裂, 即传统“三带”理论中的“缓沉带”。其运动程度决定地表下沉幅度。“缓沉带”的运动对采场及巷道的动压影响较小, 以“静压”的形式作用于煤层上。

3.2.2 平面非对称分布的“S”型覆岩空间结构特征

形成“S”型覆岩空间结构的岩梁在不同平面位置的形态是不相同的, 其剖面如图 1 (b) ~ (d) 所示。工作面前方, 坚硬岩梁的长度是按照自下至上的顺序逐渐增加, 触研线和断裂线的位置自下而上逐步远离工作面回风巷, 如图 1(a) 中 A—A 剖面所示; 在工作面附近, 坚硬岩梁的分布形态基本同前, 但触研线距离工作面更近, 断裂线距离工作面更远, 如图 1(a) 中 B—B 剖面所示; 在工作面后方, 触研线和断裂线全都位于采空区内, 如图 1(a) 中 C—C 剖面所示。由图 1 (b) ~ (d) 可知, 覆岩空间结构岩层的断裂线和触研线各自分布在不同区域内。

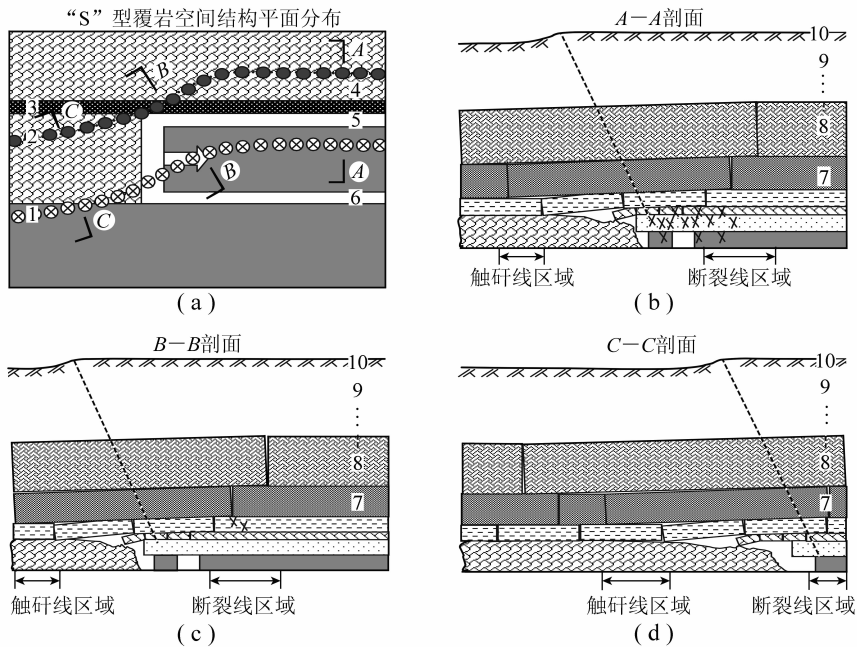


图 1 “S”型覆岩空间结构平面及剖面

Fig. 1 The plan and profile of “S” letter type overlying multi-strata spatial structure

1——断裂线区域; 2——触研线区域; 3——护巷煤柱; 4——“S”型覆岩空间结构; 5——工作面回风巷;
6——工作面运输巷; 7——第 1 坚硬岩梁; 8——第 2 坚硬岩梁; 9——第 N 坚硬岩梁; 10——地表

3.2.3 “S”型覆岩空间结构的应力集中区

(1) 静压分析. 对于某一特定的坚硬岩梁 N , 在采空区侧的触研线附近必然存在一个应力集中区, 在实体煤侧的断裂线附近, 也必然存在一个应力集中区。对比“S”型覆岩空间结构的剖面图 1 (A—A), 岩梁的全部质量由触研线及断裂线下方的岩石支撑, 即坚硬岩梁的质量向触研线及断裂线下方的岩体转移, 进而可以转移到实体煤上及采空区矸石上。

(2) 动压分析. 随着工作面推进, 与老顶周期断裂相似, 高位岩梁在达到一定跨度后也规律性断裂, “S”型覆岩空间结构亦不断向前发展, 高位岩层的断裂产生动压, 是诱发冲击地压的关键因素。尤其是在静态的“S”型覆岩空间结构作用高应力峰值位置, 即工作面回风巷及工作面上部, 动压会形成高于静

压数倍的应力,使煤体瞬间变形,形成冲击地压。

一般来讲,采场每推进一个工作面斜长的距离,“S”型覆岩空间结构就会规律性的断裂1次,采场及工作面回风巷就会产生较大的动压,因此可以用覆岩空间结构理论预测冲击地压发生的时间和地点。

3.3 “S”型覆岩空间结构及其应力分析

3.3.1 静压分析

受“S”型覆岩空间结构控制,煤体上应力较大的区域分布在靠近采空区一侧的沿空工作面巷道附近。此位置的埋深达到960 m,按岩体平均容重 $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$,则岩体自重应力 $\sigma' = H\gamma = 24 \text{ MPa}$,受侧向支承压力的影响应力集中系数 $\alpha = 1.5$,则此处煤体应力 $\sigma = \alpha\sigma' = 36 \text{ MPa}$,已经大于煤体单向抗压强度20 MPa,冲击弹性能指数 $W_{\text{et}} = 5.12$,即该部位具备了发生冲击地压的应力条件。

3.3.2 动压分析

“S”型覆岩空间结构随着工作面推进而运动变化,当工作面推进至“工作面斜长”的整倍数位置时,“S”型覆岩空间结构“新”、“旧”交替,即第1次形成的“S”型覆岩空间结构与第2次形成“S”空间结构交替,此时,顶板活动剧烈,产生的动压往往数倍于静压。对于1410工作面沿空工作面巷道侧的煤体,静压为36 MPa,若动压应力集中系数为2,则动压瞬间产生的应力为72 MPa,远大于煤体抗压强度。1410工作面煤体本身具有强烈的冲击倾向性,如果不采取措施,即有可能发生冲击地压。

4 冲击地压预测结果及微地震监测技术的验证

4.1 基于覆岩空间结构理论的冲击地压预测

在1410工作面“S”型覆岩空间结构运动过程、来压机理以及力学分析的基础上,对1410工作面的冲击地压危险区域、发生时间做出了预测:①工作面推进至“单工作面‘见方’”(即推进1个工作面长度128 m)时,将发生大能量冲击地压;②工作面推进至“双工作面‘见方’”(即推进1410,1409工作面长度之和268 m)时,将发生大能量冲击地压;③工作面推进至“三工作面‘见方’”(即推进1410,1409,1408工作面长度之和432 m)时,将发生大能量冲击地压。在1410工作面实际开采过程中,单工作面“见方”、双工作面“见方”、三工作面“见方”阶段,都发生了不同程度的冲击地压事件,与预测结果非常吻合(表1)。

表1 基于覆岩空间结构理论的1410工作面冲击地压预测与实际情况的对比

Table 1 The contrast between the rock-burst forecasting result based on overlying multi-strata spatial structure theory and rock-burst occurrence in fact

岩层运动阶段	预计发生冲击地压的推进步距/m	实际发生冲击地压的推进步距/m	破坏程度描述
老顶来压	60	58.0	动压明显,无破坏
单工作面“见方”	128	130.7	震级2.0级,破坏巷道170 m
双工作面“见方”	268	280.0	震级1.8级,动压明显,无破坏
三工作面“见方”	432	402.7	2次震级1.9级,工作面震感强烈,预处理及时,无破坏

4.2 微地震监测技术的验证结果及预测结果的应用

微地震监测技术(MS)既能准确地监测冲击地压发生的时间和地点,又能监测采场覆岩空间结构的断裂活动过程,为冲击地压的预测和验证提供可靠的依据。表2为3个工作面“见方”前夕的微地震事件统计。从表中可以看出,工作面推进400 m左右时发生了多次强冲击事件,这些冲击事件具有典型的冲击地压特征,即震感强烈、巷道破坏、工作面漏顶等。

微地震监测结果证明,采用覆岩空间结构理论可以预测长壁工作面冲击地压发生的位置,重点是老顶初次来压、单工作面“见方”、双工作面“见方”、三工作面“见方”及2个放顶煤工作面第2次“见

方”等特殊阶段。这些阶段都有一个共同的特点,即岩层破坏的范围产生突变从而引发应力的突变,这是基于覆岩空间结构理论预测工作面冲击地压的基本依据。

表 2 3 个工作面“见方”前夕 1410 工作面有震级的微震事件统计

Table 2 Microseismic events statistics before the 1410 long-wall face advancing to the distance equal to three longwall face lengths

序号	时间	工作面推进距离/m	能量/MJ	震级	现象描述
1	2007-06-09T21:20:34	398.6	0.629	1.5 级	工作面回风巷、运输巷有震感
2	2007-06-11T23:40:34	399.8	2.770	1.9 级	工作面震感强烈,63~73 架顶煤大范围垮落
3	2007-06-11T23:41:02	399.8	0.150	1.2 级	与上一事件类似
4	2007-06-13T06:50:17	402.7	0.750	1.6 级	工作面回风巷、运输巷震感强烈
5	2007-06-14T10:58:55	403.9	2.540	1.9 级	工作面回风巷、运输巷震感强烈,工作面掉渣

针对冲击地压预测中存在的危险区域,采取深孔爆破^[15]、大孔径钻孔卸压等卸压措施,使“S”型覆岩空间结构影响的区域的应力高峰向深部转移,保证了工作面的安全开采,做到了“有震无灾”。

5 结 语

基于覆岩空间结构理论进行冲击地压预测,是通过分析各类采场不同类型的覆岩空间结构的岩层范围、运动过程、力学机理,从宏观上分析采场不同阶段的冲击危险程度,从而确定冲击地压发生的时间和地点。微地震监测结果,证明了这种预测冲击地压方法具有较高的准确率和可靠性。随着煤矿开采逐步转入深部,面临冲击地压灾害的矿井越来越多,覆岩空间结构理论是预测冲击地压的有效方法之一,可以为提前治理冲击地压提供比较准确的时间和地点。冲击地压机理是十分复杂的科学问题,由覆岩空间结构运动诱发的冲击地压只是其中的一类,工程中还需要结合构造、煤柱等情况,以及微地震监测和电磁辐射、钻屑量等信息进行综合预报。

参考文献:

- [1] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等. 岩层控制的关键层理论 [M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2003:17-28.
Qian Minggao, Miu Xiexing, Xu Jialin, et al. Thoery of key strata control [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2000: 17-28.
- [2] 姜福兴. 采场覆岩空间结构观点及其应用研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23 (1): 30-33.
Jiang Fuxing. Viewpoint of spatial structures of overlying strata and its application in coal mine [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23 (1): 30-33.
- [3] 姜福兴,张兴民,杨淑华,等. 长壁采场覆岩空间结构探讨 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (5): 979-984.
Jiang Fuxing, Zhang Xingmin, Yang Shuhua, et al. Discussion on overlying strata spatial structures of longwall in coal mine [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25 (5): 979-984.
- [4] 潘立友,蒋宇静,李兴伟. 煤层冲击地压的扩容理论 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21 (S2): 2 301-2 303.
Pan Liyou, Jiang Yujing, Li Xingwei. Dilatation theory of rock burst [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21 (S2): 2 301-2 303.
- [5] 王恩元,贾慧霖,李忠辉,等. 用电磁辐射法监测预报矿山采空区顶板稳定性 [J]. 煤炭学报, 2006, 31 (1): 16-19.
Wang Enyuan, Jia Huilin, Li Zhonghui, et al. Monitoring and forecasting roof stability of goaf by electromagnetic emission [J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31 (1): 16-19.
- [6] 姜福兴,王存文,杨淑华. 冲击地压及煤与瓦斯突出和透水的微震监测技术 [J]. 煤炭科学技术, 2007, 35 (1): 26-28.
Jiang Fuxing, Wang Cunwen, Yang Shuhua. Microseismic monitoring and measuring technology for pumping pressure, coal

- and gas outburst and water inrush [J]. Coal Science and Technology, 2007, 35 (1): 26–28.
- [7] 孙庆国, 王存文, 姜福兴. 微地震监测系统在冲击地压预测预报中的应用 [J]. 煤矿安全, 2007, 38 (12): 55–57.
Sun Qingguo, Wang Cunwen, Jiang Fuxing. Application of microseismic monitoring system on rock burst forecasting and prediction [J]. Safety in Coal Mines, 2007, 38 (12): 55–57.
- [8] Volker Oye, Michael Roth. Automated seismic event location for hydrocarbon reservoirs [J]. Computers & Geosciences, 2003 (29): 851–863.
- [9] Luo X, Hatherly P. Application of microseismic monitoring to characterise geomechanic conditions in longwall mining [J]. Exploration Geophysics, 1998 (29): 489–493.
- [10] 唐礼忠, 杨承祥, 潘长良. 大规模深井开采微震监测系统站网布置优化 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (10): 2 036–2 042.
Tang Lizhong, Yang Chengxiang, Pan Changliang. Optimization of microseismic monitoring network for large-scale deep well mining [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25 (10): 2 036–2 042.
- [11] 宋振骥. 实用矿山压力控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1988.
Song Zhenqi. Mining pressure control and practice [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1988.
- [12] 钱鸣高, 刘听成. 矿山压力及其控制 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
Qian Minggao, Liu Tingcheng. Ground pressure and control [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1991.
- [13] 梁运培, 文光才. 顶板岩层“三带”划分的综合分析法 [J]. 煤炭科学技术, 2000, 28 (5): 39–43.
Liang Yunpei, Wen Guangcai. Comprehensive analysis method of “three zone classification” on mine roof strata [J]. Coal Science and Technology, 2000, 28 (5): 39–43.
- [14] 马其华. 长壁采场覆岩“O”型空间结构及相关矿山压力研究 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2005.
Ma Qihua. Study of the overlying strata “O” letter type spatial structures of longwall and correlate rock pressure [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2005.
- [15] 齐庆新, 雷毅, 李宏艳, 等. 深孔断顶爆破防治冲击地压的理论与实践 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26 (S1): 2 522–3 527.
Qi Qingxin, Lei Yi, Li Hongyan, et al. Theory and application of prevention of rock burst by break-tip blast in deep hole [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26 (S1): 2 522–3 527.

内蒙古成功研究出从粉煤灰中提取氧化铝的新技术

一项粉煤灰综合利用生产氧化铝联产活性硅酸钙的技术成果顺利通过了内蒙古自治区科技厅组织的专家鉴定。这项技术开辟了利用高铝粉煤灰生产氧化铝的新途径, 有利于缓解我国铝土矿资源短缺问题。

粉煤灰综合利用技术由大唐国际与清华大学合作研发, 以大唐托克托电厂烟囱烟气中收集下来的粉煤灰和电石渣为主要原料, 在提取氧化铝的同时, 联产活性硅酸钙, 硅钙渣可用于生产水泥熟料。据了解, 该技术中利用电石渣处理硅酸钙的新工艺, 与我国传统氧化铝生产工艺相比, 避免了赤泥的大量排放, 可解决占地和环境污染问题。

目前, 大唐托克托电厂利用粉煤灰综合利用技术已建成年产3 000 t的氧化铝示范工厂, 从工厂运转情况看该技术成熟可靠, 产品符合国家质量标准。

摘自“新华网”