

综采工作面矿压监测数据处理方法研究及应用

张金虎^{1,2}, 杨正凯³

(1. 煤炭科学研究总院 开采研究分院, 北京 100013; 2. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013;
3. 煤炭科学研究总院, 北京 100013)

[摘 要] 基于实用矿山压力理论, 提出综采工作面矿压监测数据处理的4个步骤, 通过时间序列矿压数据的采集和预处理, 得到 P_0 , P_m 和 P_t 等关键基础参数, 分析其在推进方向及面长方向2个维度随时空变化的显现规律, 得出上覆岩层垮落特征, 评测液压支架支护质量, 为工作面顶板灾害预测、控顶方案制定和支架参数的优化提供依据。

[关键词] 压力曲线; 初撑力; 循环末阻力; 矿压监测

[中图分类号] TD325.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2018) 01-0096-04

Study and Application of Mine Pressure Monitoring Data Processing Method of Fully Mechanized Coal Mining Face

ZHANG Jin-hu^{1,2}, YANG Zheng-kai³

(1. Mining Institute, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China;

3. China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: Based on practical mine pressure theory, then four steps of mine pressure monitoring data processing of fully mechanized coal mining face was put forward, according collection and preprocessing of time series mine pressure data, then some key base parameters were obtained as P_0 , P_m and P_t , and behavior regularity on two dimensions of advancing direction and working face length direction with temporal and spatial variation was analyzed, collapse characters of overlying rock were obtained, supporting quality of hydraulic supports was evaluated, it references for roof disasters forecast of working face, roof control method with temporal and spatial variation and optimal supports characters.

Key words: pressure curve; setting load; cycle end resistance; mine pressure monitoring

液压支架与围岩关系是采场矿山压力理论研究的关键, 是指导工作面支架选型和顶板控制措施制定的依据^[1-3]。综采工作面液压支架工作阻力监测数据的变化规律是对采场矿山压力显现有明显影响岩层运动特征的直接反应, 矿压监测数据的分析处理是获悉采场上覆岩层运动规律和研究支架—围岩关系的重要手段^[4-5]。

近年来, 我国矿山压力监测仪器、方法和技术发展较快, 从最初的需要人工定期读数的机械式、数显式监测仪表逐步发展到单片机记录存储、采集器红外无线采集数据的实时监测单片机存储记录仪, 目前已经可以实现通过在线或无线监测系统用地面计算机进行在线监测与数据处理^[6-10]。

科学的矿压监测数据处理方法可以有效指导生产工作人员、工程技术人员和安全检查员直观了解

支架支护质量, 对围岩变形和顶板来压规律进行预报分析。本文结合大量监测数据信息的分析处理提出有关矿压监测数据处理内容和方法, 以指导支架围岩关系的研究和顶板控制措施的制定。

矿压监测数据的处理流程主要包括4个部分: 根据综采工作面开采实践制定科学合理的监测方案; 通过矿压监测仪器获得时间序列上的支架工作阻力并对原始数据进行预处理得到初撑力、循环末阻力和时间加权平均阻力; 分析初撑力和循环末阻力沿工作面推进方向及面长方向随时空变化的显现规律得出上覆岩层的运动特征; 支架支护质量评价。矿压监测数据处理流程如图1所示。

1 矿压监测数据时间序列上的采集和预处理

目前主流的矿压监测设备记录的 $P-t$ 曲线包含了矿压规律研究的基础内容, 但直接看记录数据或

[收稿日期] 2017-07-18

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2018.01.024

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2014CB046302)

[作者简介] 张金虎(1986-), 男, 山东德州人, 助理研究员, 博士研究生。

[引用格式] 张金虎, 杨正凯. 综采工作面矿压监测数据处理方法研究及应用[J]. 煤矿开采, 2018, 23(1): 96-99, 87.

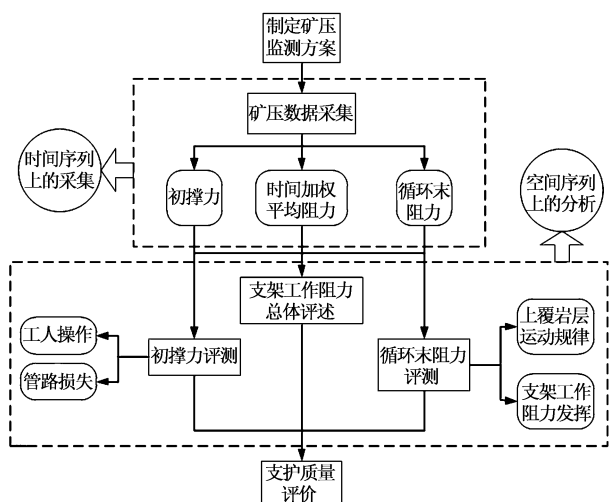


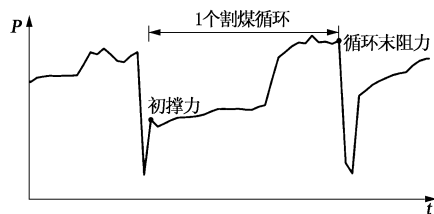
图 1 矿压监测数据处理流程

曲线很不直观，且大量的数据中有很多是对分析矿压显现规律而言无用的数据，必须加以整理和计算才能成为研究分析矿压显现规律的有用资料。支架在支撑上覆岩层的支护循环过程中有初撑和工作两个阶段，根据综采工作面矿压研究及支护质量评价的需要，按照支架不同工作阶段需对支架初撑阶段及工作阶段分别研究处理，主要处理数据包括初撑力 (P_0)、循环末阻力 (P_m) 和时间加权平均阻力 (P_t)。矿压数据的预处理是指根据矿压规律研究的需要在海量的数据中整理出需要处理的数据。

初撑阶段 支架初撑力是指在每个割煤循环中，支架向前推移到新的支护位置后通过泵站供液提供给顶板的主动支撑力（如图 2 所示），其大小取决于泵站的工作压力，并受管路损失、工人操作和供液距离等因素的影响。支架额定初撑力 F_0 的计算公式为^[3]：

$$F_0 = n\pi r^2 P_b$$

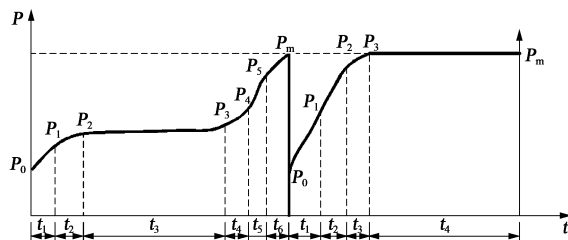
式中， n 为立柱数量； r 为支架立柱半径； P_b 为泵站额定压力。


 图 2 初撑力和循环末阻力在 $P-t$ 曲线位置

工作阶段 当支架完成初撑阶段之后即进入工作阶段，如图 2 所示在 1 个割煤循环初期支架工作阻力较小，随着割煤的进行，上覆岩层运动、回转产生作用力通过直接顶作用于支架上，支架工作阻力开始上升，当该作用力超过支架安全阀设定开启

压力时，支架通过卸压缓冲顶板压力，此时支架工作阻力在额定工作阻力上下波动直至平衡。支架在一个循环结束，液压支架移架之前的工作阻力称为循环末阻力，正常情况下循环末阻力为一个工作循环内工作阻力最大值，是反映矿压显现强弱、评价支架支护质量的重要指标^[11]。

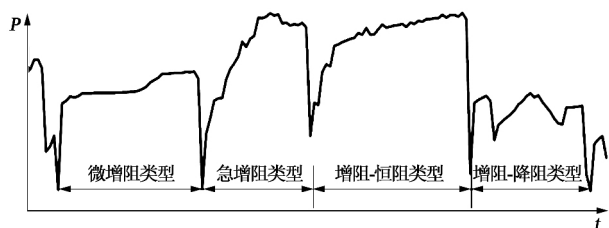
支架初撑力和循环末阻力分布特征基本可以反映液压支架主要工作状态，但是 2 个不同循环内存在如图 3 所示循环末阻力相等但是循环内支架受力差别很大的情况，因此不同循环内液压支架的受力状态不能简单地认为是等同的，此时，通过时间加权平均阻力 (P_t) 则可以反映这一差别。


 图 3 2 个不同工作循环内支架 $P-t$ 曲线

$P-t$ 曲线除了可以获取矿压规律研究所需的初撑力及循环末阻力外，统计不同时期（如周期来压和非周期来压）各循环 $P-t$ 曲线中不同类型的百分比，可以分析顶板压力的大小和支架对顶板的适应性。 $P-t$ 曲线类型主要分为图 4 所示 4 种：微增阻类型，支架升架后，支架的工作阻力不增加或增加较小，表明支架初撑力较高，或顶板没有下沉或离层，支架与顶板保持相对稳定；急增阻类型，支架升架后，支架工作阻力一直在急剧增加，一次急增阻中最不利的是连续增阻，急增阻类型表明液压支架的初撑力过低，并且在循环内难以实现支架顶板相对平衡；增阻-恒阻类型，支架升架后，支架工作阻力在很短时间内增阻，随着增阻达到安全阀开启压力后，安全阀一直在泄液，说明支架工作阻力较小或工作面矿压显现强烈，根据支架超过额定工作阻力的比例评价支架不能或接近满足工作面的支护要求；增阻-降阻类型，支架升架后，支架的工作阻力在减少，主要原因一是顶底板较破碎（软），或有浮煤，造成支架降阻，该种情况降阻幅度不大，二是由于立柱漏液或安全阀不能保压，导致工作阻力急剧减少，此种对支架控制顶板非常不利^[12]。

2 矿压监测数据空间序列上的处理

随着采场的推进，岩梁发生周期性破断、下沉

图 4 不同 $P-t$ 曲线类型

和回转, 矿山压力也随之发生周期性的变化, 液压支架的工作阻力也会呈现一定的周期规律性。上覆岩层运动分为相对稳定和显著运动 2 个阶段, 液压支架工作阻力随着顶板不同运动阶段也呈现不同的特征, 在顶板相对稳定运动时, 上覆岩层的运动幅度相对较小, 矿压显现不明显, 支架工作阻力较小且变化不大, 当顶板处于显著运动时, 岩层的运动幅度增大, 液压支架工作阻力将随之增大^[13]。

矿压监测数据在空间数列上的处理即沿工作面长方向分析工作面不同部位矿山压力显现的规律和沿工作面推进方向分析支架循环末阻力的周期性

变化规律所反映的上覆岩层周期性垮落特征。根据液压支架的不同工作阶段, 处理的数据主要包括初撑力和循环末阻力。

2.1 初撑力数据处理

液压支架初撑力是采场支护质量评价的重要指标, 对于支架合理工况的发挥和顶板的防护具有重要作用, 初撑力是液压支架给予顶板的主动作用力, 对于抑制顶板早期下沉、最大限度保持直接顶(顶煤)的完整、减小离层和预防冲击地压等都具有重要作用^[14-16]。

通过实时在线矿山压力监测系统获取工作面某段时间全开采过程支架初撑力原始数据并绘制支架初撑力特征曲线, 对统计的支架初撑力进行分析研究后绘制支架初撑力分布直方图。如果支架架型为两柱式, 则至少选取左柱或右柱之一进行观测分析; 如支架架型为四柱式, 则至少需前柱和后柱各选左柱或右柱之一进行观测分析, 然后再对整架初撑力进行分析研究。表 1 为某矿统计初撑力现场实测情况。

表 1 工作面不同部位支架初撑力及合格率

区域	架号	前柱/MPa			后柱/MPa			整架/kN		
		均值	合格率/%	均方差	均值	合格率/%	均方差	均值	合格率/%	均方差
上部	10	15.7	56.10	8.3	6.5	23.2	7.6	4496.2	35.2	2571.4
	30	19.2	68.60	7.8	6.8	24.3	8.5	4932.8	38.6	2812.2
中部	50	17.6	62.86	8.7	7.4	26.4	8.1	5119.2	40.1	2946.3
	70	17.1	61.10	8.3	6.2	22.1	8.4	4252.8	33.3	2858.4
下部	90	16.2	57.90	9.2	6.7	23.9	7.5	4715.9	36.9	2886.5
	110	17.2	61.40	8.9	10.0	35.7	8.1	5560.4	43.5	3179.9
均值		17.2	61.30	8.5	7.3	25.9	8.0	4846.2	37.9	2875.8

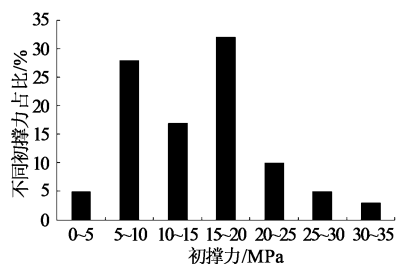
通过表 1 可以分析得到初撑力合格率及离散情况。由表 1 可知, 整个观测过程支架初撑力平均值均小于额定初撑力, 初撑力存在明显和较大幅度地波动, 总体而言, 初撑力合格率很低。另外通过初撑力在不同区间的分布情况绘制初撑力分布直方图, 可以更直观地获悉初撑力合格率以有效指导生产实践。标准的初撑力分布直方图应该符合以约 70%~80% F_0 为中心的正态分布。如图 5 所示为额定初撑力为 31.5MPa 的支架不同初撑力分布情况。

2.2 循环末阻力数据处理

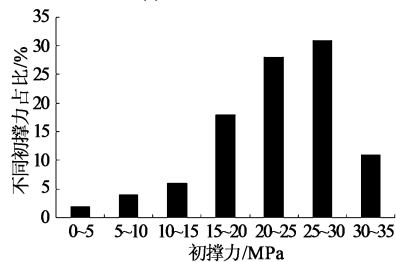
2.2.1 采场顶板运动特征和参数确定

支架工作阻力是顶板压力的直接反应, 通过对支架循环末阻力的处理可得出上覆岩层顶板的运动特征。周期来压分析以液压支架的平均循环末阻力与其均方差之和作为判断顶板周期来压的主要指标^[17]。来压判据计算公式为:

$$P'_i = \bar{P}_i + k\sigma_p$$



(a) 不合格的初撑力分布



(b) 合格的初撑力分布

图 5 初撑力分布

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{ti} - \bar{P})^2}$$

式中, P_i 为来压判据; σ_p 为循环末阻力平均值的均方差; n 为实测割煤循环数; P_{ui} 为第 i 循环的实测循环末阻力; $\bar{P}_i$ 为循环末阻力的平均值, $\bar{P}_i = \sum_{i=1}^n P_{ui} / n$; k 为均方差系数, 一般取 1~2。

顶板周期来压步距主要根据支架循环末阻力的周期性变动作为判断标准, 典型支架循环末阻力曲线如图 6 所示。

通过绘制支架循环末阻力曲线图可直观地观测

某一测线位置的来压步距, 通常工作面沿倾向方向来压步距及来压强度并不相同, 通过如图 7 所示曲面图的绘制可直观形象地观察这种差别, 在曲面图中, 可以用灰度代表特定的数值范围, 并可根据需要对灰度进行调整, 因此可以更加直观地显示面长方向和推进方向压力的分布情况。如图 7 可直观看出绝大部分时间工作面中部来压强度要明显强于工作面上部和下部。

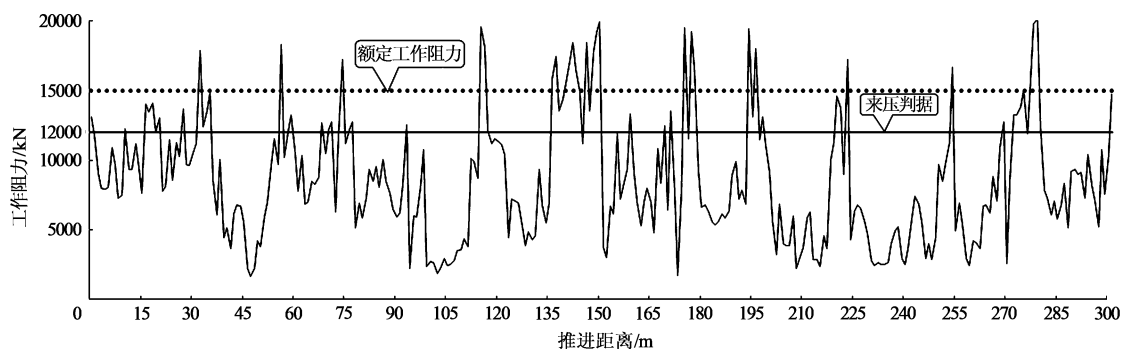


图 6 支架循环末阻力曲线

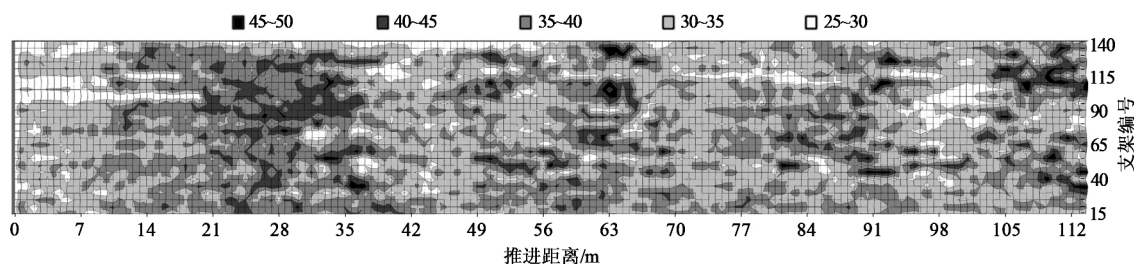


图 7 支架工作阻力分布曲面

2.2.2 液压支架工作阻力发挥程度评述

支架工作阻力发挥程度评述即分析额定工作阻力与支架实测循环末阻力的关系, 主要包括以下 2 个方面, 即支架工作阻力利用率和支架循环末阻力超限次数和比例, 根据不同架型分为前柱、后柱和整架。通过对支架工作阻力发挥程度的评述最终完成支架支护质量的评价并结合采场顶板运动特征和参数制定顶板控制的专项技术措施, 同时可为后续工作面液压支架选型提供参考。

3 结 论

矿压数据信息的科学利用可以为顶板控制和安全生产提供可靠保障, 通过矿压数据的实时监测和科学处理, 实现对综采工作面顶板岩层从整体到破断、垮落, 从稳定到失稳、来压整个时空过程的监控, 准确分析顶板岩层的压力显现特征和规律, 有针对性地进行综采工作面顶板灾变预测、采取顶板控制措施和制定支架选型方案。

[参考文献]

- [1] 王国法. 液压支架技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [2] 任怀伟, 李提建, 徐亚军, 等. 液压支架及综采工作面配套三维动态设计平台 [J]. 煤矿开采, 2011, 16 (3): 101-106, 118.
- [3] 阎建华. 综采工作面支架初撑力与围岩相互作用关系分析 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42 (4): 12-15.
- [4] 张金虎, 王国法, 侯刚, 等. 布尔台煤矿厚煤层大采高液压支架适应性分析 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42 (9): 95-98, 103.
- [5] 张金虎. 破碎顶板回撤通道围岩运动规律和支护适应性研究 [J]. 煤炭科学技术, 2015, 43 (12): 28-31.
- [6] 毛德兵, 尹希文, 张会军, 等. 我国煤矿顶板灾害防治与监测监控技术 [J]. 煤炭科学技术, 2013, 41 (9): 105-108, 121.
- [7] 付东波, 徐刚, 毛德兵, 等. 采煤工作面顶板灾害监测系统的应用 [J]. 煤矿开采, 2012, 17 (6): 82-85.

(下转 87 页)

空区。钻场间距为 50m, 每个钻场内布置 5 个钻孔, 钻孔施工时应考虑穿越工作面一号回风巷顶部时的垂直间距不小于 5m, 终孔位置与回风巷的水平距离不小于 20m。

4.3 埋管抽采工艺

采空区埋管抽采是在采空区抽采管路上每隔 25m 安设 1 个三通, 并安设阀门。在开切眼侧的第 1 个三通 (1 号三通) 处将直径为 108mm 铠装软管 (支管) 与主瓦斯抽采管连接, 铠装软管长 30m。

随着工作面向前推进, 铠装软管逐渐进入采空区内部开始抽采瓦斯, 抽采范围为工作面后方 5~30m 的范围。在 1 号三通抽采瓦斯的过程中, 需准备下一个三通 (2 号三通) 的铠装软管的铺设安装工作, 待 1 号支管进入采空区 25m 时, 2 号支管的准备工作必须完成, 并随着工作面的推进, 2 号支管进入采空区, 当 1 号支管全部进入采空区时, 2 号支管进入采空区 5m, 此时关闭 1 号支管阀门, 打开 2 号支管阀门, 利用 2 号支管进行采空区瓦斯抽采, 依次类推实现采空区的交替连续抽采。

5 瓦斯抽采参数及抽采效果

101 盘区工作面采空区抽采布置有高位巷抽采和埋管抽采, 高位巷设计抽采负压 8kPa, 抽采浓度 8%~10%, 设计混合流量 100m³/min; 埋管抽采设计抽采负压 5kPa, 抽采浓度 1%~3%, 设计混合流量 50m³/min。

102 盘区工作面采空区抽采布置有高位钻孔抽采和埋管抽采, 高位钻孔设计抽采负压 8kPa, 抽采浓度 10%~12%, 设计混合流量 50m³/min; 埋管抽采设计抽采负压 5kPa, 抽采浓度 1%~3%, 设计混合流量 100m³/min。

根据采用的瓦斯抽采方案, 抽采前后采空区的瓦斯涌出量及瓦斯浓度变化见表 2。

表 2 采空区瓦斯抽采前后对比

名称	瓦斯涌出量 / (m ³ · min ⁻¹)			风排瓦斯浓度 / %		
	抽采前	抽采后	对比差值	抽采前	抽采后	对比差值
101 盘区工作面采空区	15.71	3.78	11.93	0.83	0.15	0.68
102 盘区工作面采空区	13.94	3.41	10.53	0.76	0.21	0.55

6 结 论

根据设计的瓦斯抽采参数条件, 通过现场监测发现, 盘区回采工作面采空区瓦斯涌出量和风排瓦斯浓度均有明显下降, 因此该矿井所采用的采空区

瓦斯抽采设计方案合理, 能够取得较好的技术经济效益。

[参考文献]

- [1] 梁 冰, 袁欣鹏, 孙维吉. 本煤层顺层瓦斯抽采渗流耦合模型及应用 [J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(2): 208-213.
- [2] 方前程, 黄渊跃, 刘学服. 坦家冲矿瓦斯抽放钻孔封孔工艺技术研究 [J]. 中国煤炭, 2012, 38(2): 106-108.
- [3] 孙荣军, 李泉新, 方 俊, 等. 采空区瓦斯抽采高位钻孔施工技术及发展趋势 [J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 94-99.
- [4] 吕继民. 首山一矿突出煤层采空区瓦斯综合抽采技术研究 [J]. 中州煤炭, 2015(4): 17-20.
- [5] 许满贵, 林海飞, 潘宏宇. 综采采空区瓦斯运移规律及抽采研究 [J]. 湖南科技大学学报 (自然科学版), 2010, 25(2): 6-9.
- [6] 沈广辉, 樊艳虹, 樊 斌, 等. 采空区瓦斯分布规律及瓦斯抽采方法的研究 [J]. 工矿自动化, 2009, 35(4): 95-96.
- [7] 李宏艳, 王维华, 齐庆新, 等. 基于分形理论的采动裂隙时空演化规律研究 [J]. 煤炭学报, 2014, 39(6): 1023-1030.
- [8] 王彦凯, 赵兴超, 游 波. 屯留矿煤层瓦斯赋存规律及防治技术研究 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(12): 50-54.
- [9] 刘明举, 司亚超, 张宏斌. 金鑫矿二₁煤层瓦斯赋存规律及其控制因素分析 [J]. 河南理工大学学报 (自然科学版), 2015, 34(3): 316-320.
- [10] 范满长, 杨胜强, 王国臣, 等. 综采面瓦斯来源与浓度分布单元法测定及分析 [J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(3): 23-27.
- [11] 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. [责任编辑: 施红霞]

(上接 99 页)

- [8] 付东波. 基于 UCAN 总线的矿山压力监测远程传输解决方案 [J]. 煤矿开采, 2010, 15(4): 121-124.
- [9] 邹德蕴, 刘志刚, 姚树阳. 采场矿压监测与数据信息融合技术应用研究 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 39(8): 14-18.
- [10] 徐 刚, 宁 宇, 闫少宏. 工作面上覆岩层蠕变活动对支架工作阻力的影响 [J]. 煤炭学报, 2016, 41(6): 1354-1359.
- [11] 郑朋强. 唐口煤矿千米深井综放开采矿压显现与控制研究 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2011.
- [12] 谭云亮, 吴士良, 尹增德. 矿山压力与岩层控制 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.
- [13] 张 勇. 顶板动态监测集成技术研究 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2009.
- [14] 徐 刚. 支架初撑力对矿压显现的影响 [A]. 第五届煤炭工业生产一线青年技术创新论文集 [C]. 2011.
- [15] 李进怀, 王志春. 综放工作面支架适应性分析 [J]. 煤炭技术, 2012, 31(3): 101-103.
- [16] 万 镇, 吴士良. 综采工作面回撤通道矿压观测研究 [J]. 煤矿开采, 2009, 14(1): 85-86.
- [17] 刘 江, 任艳芳. 浅埋深长壁工作面矿压显现规律实测分析 [J]. 煤矿安全, 2010, 41(2): 93-96.

[责任编辑: 邹正立]