

肖丹,赵恩彪.大断面巷道软弱厚煤层顶板稳定性控制与对策研究[J].矿业安全与环保,2017,44(6):31-35.
文章编号:1008-4495(2017)06-0031-05

大断面巷道软弱厚煤层顶板稳定性控制与对策研究

肖 丹¹,赵恩彪^{2,3}

(1.重庆工程职业技术学院,重庆 402260; 2.国家安全生产监督管理总局,北京 100713;
3.国家煤矿安全监察局,北京 100713)

摘要:以王家岭煤矿 20322 胶带巷受小断层构造影响发生冒顶事故为工程背景,现场调研了冒顶区垮落前顶板变形破坏特征,以及顶板垮落后垮落带高度特征,在此基础上应用 RFPA 数值模拟软件分析了不同岩性顶板的离层情况。分析结果表明:随着顶板强度和刚度增大,顶板稳定性显著增强。提出利用高预应力多锚索桁架系统控制顶板结构稳定性技术,并从力学角度分析了其控制效果与合理的支护参数。现场实施“多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护方案后,选取顶板较为破碎的 6 个地点进行矿压观测,结果表明顶板控制效果良好。

关键词:厚煤层;顶板稳定性;冒顶;断层构造;RFPA 数值模拟;锚索桁架;矿压观测

中图分类号:TD322⁺.4 **文献标志码:**B **网络出版时间:**2017-12-07 16:47

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20171207.1647.012.html>

Research on Roof Stability Control and Countermeasures of Weak Thick Coal Seam in Large Section Roadway

XIAO Dan¹, ZHAO Enbiao^{2,3}

(1. Chongqing Vocational Institute of Engineering, Chongqing 402260, China; 2. State Administration of Work Safety, Beijing 100713, China; 3. State Administration of Coal Mine Safety, Beijing 100713, China)

Abstract: Taking the roof fall accident caused by small fault structure in 20322 belt roadway in Wangjialing Coal Mine as the engineering background, field investigation was carried out on the the roof deformation and failure characteristics before the roof fall and the characteristics of the fall zone height after the roof fall, and based on this, analysis was made on the bed separation of the roof with different lithology by using RFPA numerical software. The analysis results showed that with the increase of the roof strength and stiffness, the roof stability was significantly improved. The technology of using the high pre-stressed multi-cable truss system to control the roof stability was proposed and analysis was carried out on its control effect and rational support parameters from the angle of mechanics. After the implementation of the symmetric support scheme by “multi-beam anchor cable reinforced composite”, 6 places where the roof was rather broken were selected for strata control observation, the observation results showed that the roof control effect was good.

Keywords: thick seam; roof stability; roof fall; fault structure; RFPA numerical simulation; cable truss; strata control observation

近年来,大型集约化综放工作面开采是厚煤层高产高效安全开采的重要发展方向,需求的巷道断面尺寸也越来越大^[1-3]。对于此类大断面煤巷,尤其是顶板煤体较为破碎的煤巷,由于受到局部地质构造、纵向裂隙等因素影响,传统的支护方式往往

难以有效控制顶板围岩稳定而发生冒顶事故^[4-7]。

1 工程地质条件与现场实测

1.1 工程概况

王家岭煤矿 203 盘区作为 201 盘区的接续盘区,由 201 盘区中央开拓大巷直接向北延伸形成。203 盘区中东翼布置有 11 个主采综放工作面、西翼布置有 10 个辅采综放工作面,可采储量 1.319 3 亿 t,为矿井后续实现高产高效集约化生产创造了必要的

收稿日期:2017-04-18;2017-05-18 修订

作者简介:肖 丹(1981—),女,辽宁抚顺人,硕士,工程师,副教授,重庆工程职业技术学院安全专业教师。E-mail: xiaoyuedan1981@163.com。

条件。王家岭煤矿为现代化高产高效矿井,采用综采放顶煤的开采方式,为了便于运送大型设备,工作面两侧回采巷道宽度均在 5.2 m 以上,部分巷道宽度甚至达到 5.6 m,最大巷道断面可达 19.88 m²,属

于大断面巷道。在 203 盘区首采 20322 工作面胶带巷掘进过程中,在掘进端头后方 F322-2 小断层构造附近巷道顶板出现大范围冒顶,冒顶区与巷道位置的关系如图 1 所示。

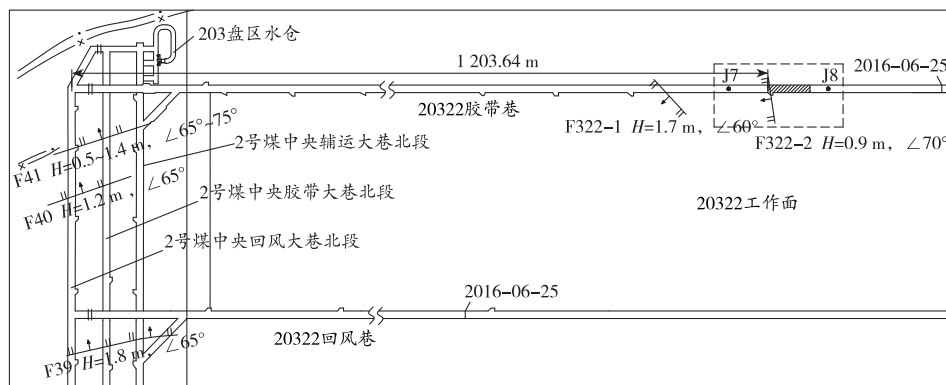


图 1 203 盘区首采工作面平面布置示意图

20322 工作面巷道仍具有综放、大断面等特点,加之主采的 2 号煤层煤体强度较低,小断层构造分布较多,甚至在未受采动影响下,在 20322 工作面胶带巷掘进期间就出现了不同程度的顶板变形破坏,如图 2(a)所示。F322-2 小断层构造对顶板产生严重的影响,造成了胶带巷局部范围冒顶,致使顶锚索断裂失效、顶板大面积垮落,如图 2(b)所示。



(a) 顶板破碎



(b) 顶板垮落

图 2 20322 工作面区段平巷破坏情况

1.2 20322 胶带巷冒顶特征

20322 胶带巷发生冒顶事故后,由于冒顶区介于 J7 和 J8 导向点之间,因此,采用手持式激光测距仪^[8]以 J7 导向点为基点对巷道冒顶后顶底板之间的高度进行现场测量,共布置 14 个测点(编号为 L, 1, 2, ..., 13),其相对位置如图 3 所示。

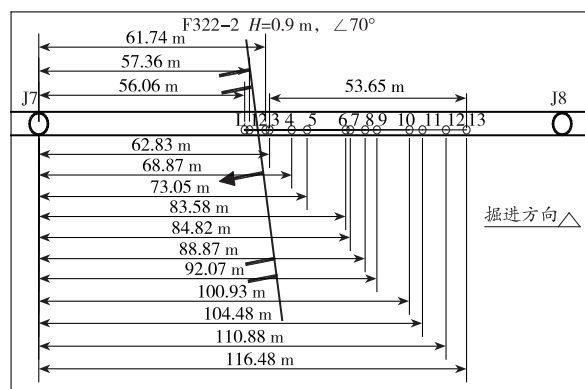


图 3 顶底板之间高度测点布置示意图

对 20322 胶带巷冒顶区范围进行矿压数据观测,并以 J7 导向点为基点进行水平标高换算,观测结果如图 4 所示,可以看出,底板基本处于 +474 m 水平标高处,顶板水平标高在冒顶区范围内变化较大,最大水平标高为 +484.28 m,且靠近断层构造带附近,冒顶范围长达 53.65 m,说明受小断层构造影响,巷道顶板结构稳定性较差,致使大范围巷道顶板严重垮落。

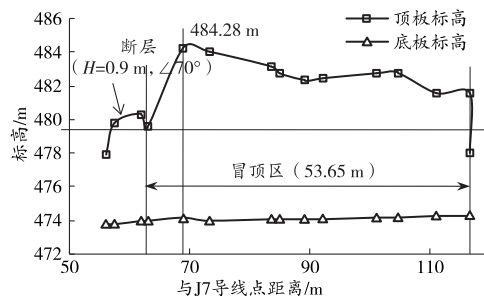


图 4 20322 胶带巷冒顶区矿压观测结果

从 20322 胶带巷掘进过程中揭露出 F322-2 小

断层构造后,巷道顶板在该区域内稳定性较差,矿方从当年5月21日开始对该顶板不稳定区进行矿压观测,致使6月9日挑顶发生冒顶事故前最后一次矿压观测日期为6月6日,这期间的矿压观测数据变化如图5所示。从图5中可以看出,在发生冒顶事故区内,顶板日均变形量较大,在进行挑顶前,巷道顶板下沉致使大断面胶带巷高度最小处约为3 m,相较于巷道原有高度(4 m),下沉量高达25%,给后续生产运输带来严重的安全隐患。

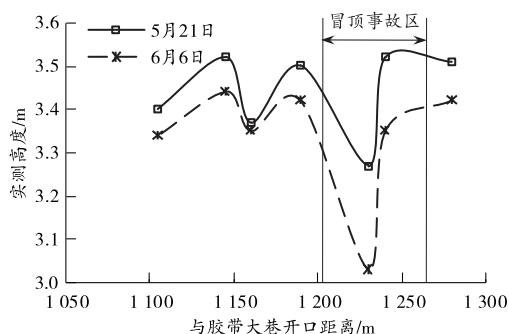


图5 冒顶前矿压观测结果

为了进一步分析顶板垮落带对其附近顶板的影响,在顶板垮落前后一定范围内布置测点进行持续的矿压观测,观测结果如图6所示。从图6中可知,在冒顶发生前,冒顶区域内顶板急剧变形下沉,下沉量高达0.3 m,冒顶区前后巷道顶板有0.1 m左右的较小变形量。冒顶发生后,远离冒顶区位置的1 145 m和1 280 m处监测点变形缓慢且逐渐趋于稳定,靠近冒顶区位置的1 160 m和1 280 m处监测点受冒顶区顶板垮落影响,存在变形量突然增大的“拐点”,可见

冒顶区附近顶板受顶板垮落的影响,稳定性同样较差。

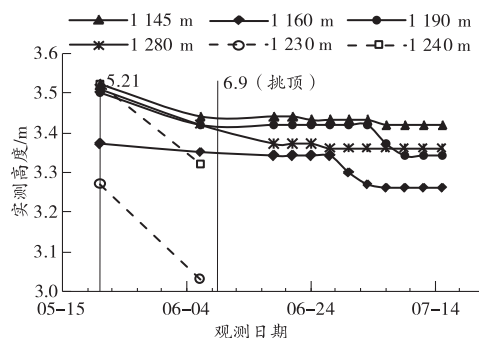


图6 冒顶前后不同测点矿压观测结果

2 RFPA 数值模拟

由于顶板煤岩体中存在节理、裂隙等微观结构,造成煤岩体结构不连续,为了能够比较真实地模拟顶板煤岩体的非均匀性及破裂过程,采用 RFPA 软件对不同岩性顶板进行数值模拟研究^[9-11]。20322 胶带巷可被视为平面应变模型,建立模型尺寸为宽 50 m、高 30 m,其中巷道净断面为 5.6 m×4.25 m(宽×高),工作面平均埋深为 300 m。对模型水平位移约束,垂直方向上施加 6.75 MPa 的覆岩自重应力,平均自重取 25 kN/m³。

随着与 F322-2 小断层距离的增加,顶板受断层构造影响作用逐渐减弱,顶板岩层强度和刚度逐渐增大。随着与 F322-2 小断层距离的增加,依次定义了 6 种不同岩性顶板条件,其顶板垮落形态模拟结果如图 7 所示。

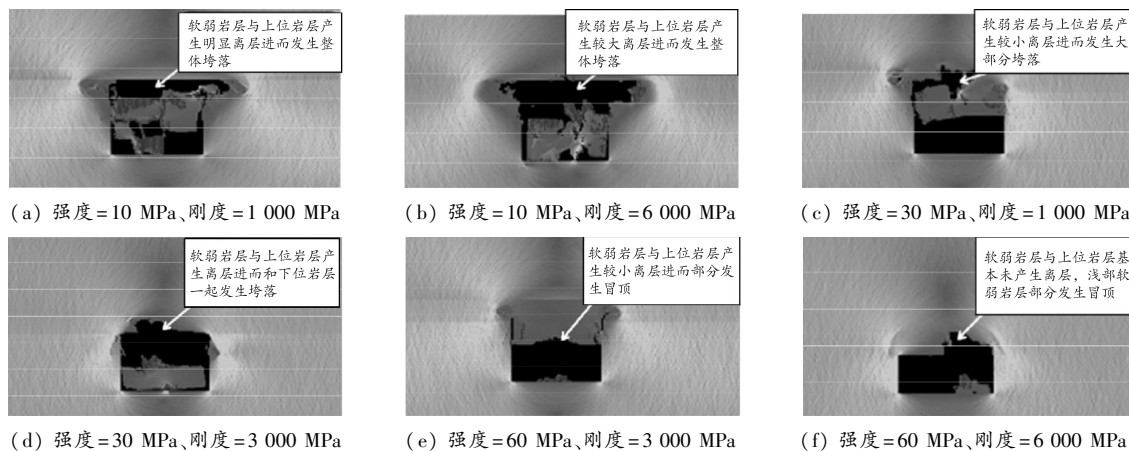


图7 不同岩性顶板的数值模拟结果

由图7可知,随着顶板岩层强度和刚度的增大,顶板岩层由图7(a)条件下整体离层严重垮落向图7(f)条件下浅部软弱岩层部分轻微垮落转变,顶板离层量随着强度和刚度的增大而逐步减小,顶板

稳定性增强。可见,顶板岩性的好坏直接影响着顶板岩层垮落的严重程度,这也是造成靠近断层构造附近顶板冒顶严重、远离断层构造冒顶逐渐减小的原因。

3 高预应力多锚索桁架系统

3.1 巷道顶板受力分析

对20322胶带巷顶板采用“多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护结构,锚索呈对称布置,其巷道顶板受力情况如图8所示。

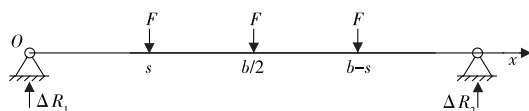


图8 “多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护力学模型

根据力学模型,在竖直方向上可列平衡方程如下:

$$\Delta R_1 + \Delta R_2 - 3F = 0 \quad (1)$$

对O点取矩,可列弯矩平衡方程如下:

$$\Delta R_2 b - \frac{3Fb}{2} = 0 \quad (2)$$

联立式(1)和(2)可求得:

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = \frac{3F}{2} \quad (3)$$

式中: ΔR_1 、 ΔR_2 为采用“多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护后,两帮支承力减小量,kN; F 为锚索预应力,kN; b 为巷道宽度,m。

对巷道顶板采用“多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护后,巷道顶板距离O点不同位置 x 处弯矩^[12] 的变化情况可由下式计算:

1) 当 $0 \leq x \leq s$ 时:

$$\Delta M(x)_1 = -\frac{3F}{2}x \quad (4)$$

2) 当 $s \leq x \leq \frac{b}{2}$ 时:

$$\Delta M(x)_2 = -F\left(\frac{x}{2} + s\right) \quad (5)$$

3) 当 $\frac{b}{2} \leq x \leq b-s$ 时:

$$\Delta M(x)_3 = F\left(\frac{x}{2} - s - \frac{b}{2}\right) \quad (6)$$

4) 当 $b-s \leq x \leq b$ 时:

$$\Delta M(x)_4 = -\frac{3F(x+b)}{2} \quad (7)$$

式中: ΔM 为弯矩变化量,kN·m; s 为锚索与煤帮侧距离,m。

根据王家岭煤矿20322胶带巷相关地质条件,取 $F=250$ kN, $b=5.6$ m, $s=1.2$ m,结合式(4)~(7),可求解出“多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护结构对顶板弯矩减小量分布,如图9所示。可以看出,采用“多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护结构后,顶板弯

矩减小量最大位置位于巷道中心线上,并且呈现出对称递减分布,能够有效控制跨度较大巷道顶板岩层弯矩过大而发生离层冒顶事故,充分发挥锚索的支护功能,对顶板岩层离层起到控制作用。

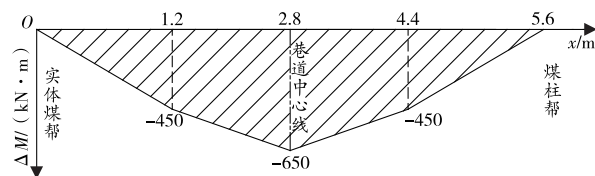


图9 “多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护顶板弯矩分布图

3.2 锚索桁架受力分析

锚索桁架主动支护系统的简化力学模型及其受力分析如图10所示^[13-15]。

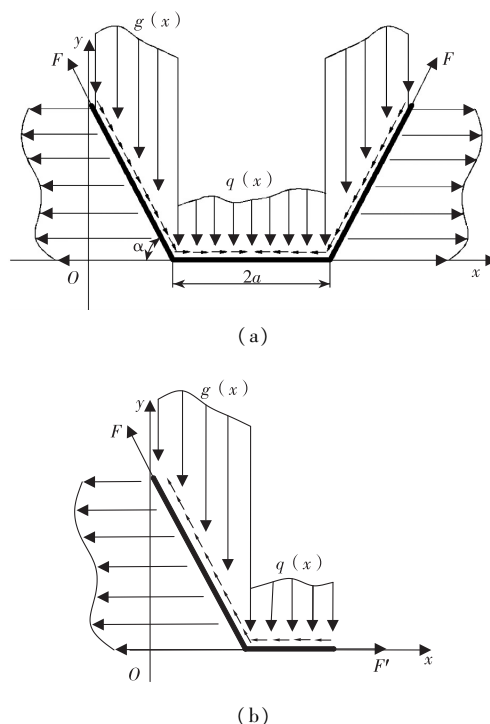


图10 锚索桁架受力图

假设锚索上承受的应力 $g(x)$ 为线性分布,可定义锚索在顶端位置处 $g(0) = k_1 \gamma h$, 锚索在底端位置处 $g(b \cos \alpha) = k_2 \gamma h$ 。当锚索桁架结构受力平衡时,其竖直、水平方向的合力均为0。通过其在 x 和 y 方向的平衡方程式(8)和(9)可求出锚固段轴向拉力 F 和桁架结构预紧力 F' :

$$F = -\{b \cos \alpha (k_1 + k_2) [f_1 (1 + \lambda \tan \alpha) \sin \alpha + 1] + 2a\} \gamma h / 2 \sin \alpha \quad (8)$$

$$F' = -[b \cos \alpha (k_1 + k_2) (\cot \alpha + \lambda) + 2a (\cot \alpha + f_2)] \gamma h / 2 \quad (9)$$

当确定了锚索桁架孔内长度 b 、水平部分长度 $2a$ 、倾斜角度 α 、侧压系数 λ 、锚索桁架倾斜部分与岩

体的摩擦系数 f_1 和锚索桁架水平部分与岩体的摩擦系数 f_2 时,通过式(8)并结合锚索横截面积 S_c ,便可以计算出锚索所受到的拉应力 σ_c 。要使锚索桁架系统发挥主动有效控制,则锚索的抗拉强度及锚固剂的黏结强度要大于拉应力 σ_c ,这为支护材料的选取及其参数设计提供了理论依据;为了使锚索桁架支护效果显著,在实际工程中便可由式(9)得出初始时需施加的预紧力,为进一步的数值模拟分析及施工提供理论指导。

4 高预应力多锚索桁架系统

针对20322胶带巷顶板破碎易受构造影响发生冒顶事故问题,巷道后续掘进期间对顶板改进后的支护方案如图11所示。

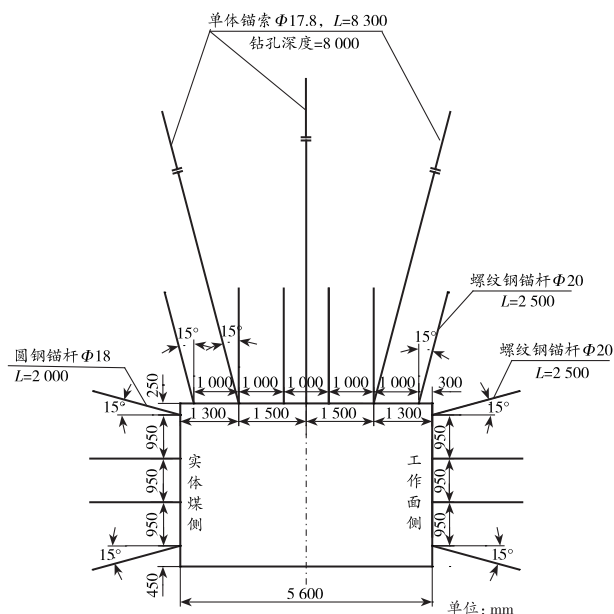


图11 “多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护示意图

顶板桁架锚索加固方案如下:选用 $\Phi 17.8 \text{ mm} \times 8300 \text{ mm}$ (1×7) 单体锚索,每个锚索使用1卷CK2335和2卷Z2360树脂药卷,锚索桁架间排距为 $1500 \text{ mm} \times 1800 \text{ mm}$,钻孔深度 8000 mm ,煤帮侧锚索距巷帮 1300 mm 。靠近两帮的锚索钻孔与顶板垂线的夹角为 15° ,中间的锚索垂直顶板布置。

实施“多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护后,选取顶板较为破碎的6个地点布置测点(编号为KD1、KD2、KD3、KD4、KD5和KD6)进行矿压观测,顶底板移近量现场监测结果如图12所示。现场实测发现,该支护形式下巷道围岩顶底板移近量并不大,最大移近量约 170 mm ,顶板控制效果较好,巷道变形总体趋势为两帮移近量大于顶底板移近量。

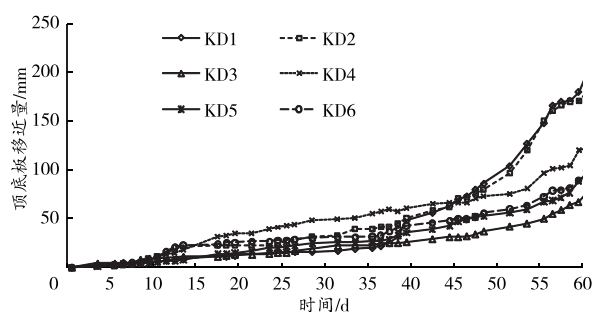


图12 顶底板移近量现场监测曲线

5 结语

1) 王家岭煤矿20322胶带巷掘进过F322-2小断层时发生了严重的冒顶事故,靠近小断层构造冒顶高度较大,随着远离小断层,冒顶高度趋于减小。

2) 小断层构造致使顶煤物理力学性质进一步恶化,RFPA数值模拟了6种不同岩性顶板垮落形态,顶板离层量随着强度和刚度的增大而逐步减小,顶板稳定性增强。

3) 提出了采用高预应力多锚索桁架系统来加强顶板稳定性,从力学角度分析了“多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护对顶板弯矩减小的控制效果,以及桁架锚索发挥主动有效控制所需锚固段轴向拉力 F 和桁架结构预紧力 F' 大小。

4) 现场后续掘进期间对顶板实施“多锚索—钢筋组合圈梁”对称支护,并选取顶板较为破碎的6个地点布置测点进行矿压观测,顶底板最大移近量约 170 mm ,顶板控制效果良好。

参考文献:

- [1] 李季,樊龙,赵希栋,等.工作面切眼顶板冒顶危险区预测体系研究[J].采矿与安全工程学报,2014,31(3):390-398.
- [2] 何富连,杨增强,魏臻.采动影响下碎裂煤巷注浆加固优化研究与应用[J].煤矿开采,2017,22(1):50-54.
- [3] 张广超,何富连.大断面强采动综放煤巷顶板非对称破坏机制与控制对策[J].岩石力学与工程学报,2016,35(4):806-817.
- [4] 李宪伟,王连国,侯化强,等.深井大断面软岩巷道数值模拟研究及注浆支护实践[J].矿业安全与环保,2012,39(1):46-48.
- [5] 梅星.综放大断面沿空煤巷围岩稳定性及不对称支护[D].北京:中国矿业大学(北京),2016.
- [6] 宗义江,韩立军,陈城,等.大断面极不稳定软岩巷道支护与施工成套技术研究[J].矿业安全与环保,2010,37(3):34-37.

(下转第58页)

留异常空白带,并执行好异常信息处置程序;

4)对于豫西三软煤层,由于煤体极其松软、干燥(不易浸水),采掘工作面片帮严重,现场支护强度及支护方式是预防压出、倾出事故的关键,特别是采深超过400 m,应予以重视。

5 结论

1)豫西三软不稳定突出煤层经过瓦斯区域预抽后,其预抽效果检验指标,即煤层残存瓦斯压力或残存瓦斯含量的临界值为0.40 MPa或 $5.0\text{ m}^3/\text{t}$,在此临界值之下,煤层将不再具有煤与瓦斯突出危险性,经过实际检验是可靠的;

2)利用钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 的预测敏感性(或其他敏感指标),构建其与瓦斯压力的对应关系,再依据瓦斯动力显现区域的实测瓦斯数据,来分析研究确定突出煤层预抽效果检验指标的临界值,这一研究方法和途径是可行的;

3)研究结果更适用于禹州矿区方山新井的二₁煤层,对登封及新密等其他矿区的同类煤层均有参考和实用价值。

参考文献:

- [1] 王之贵. 荣巩煤田三软突出煤层消突临界值研究[J]. 中州煤炭, 2015(12): 19-22.
- [2] 周金龙, 董洪凯, 李国强. 顺层定向长钻孔预抽煤层瓦斯区域防突措施效果检验方法研究[J]. 矿业安全与环保, 2013, 40(6): 69-72.
- [3] 王伟华. 豫西二₁煤层瓦斯含量测定方法及区域预测的瓦斯含量指标临界值研究[D]. 焦作: 河南理工大学,

2011.

- [4] 赵旭生, 董银生, 岳超平. 煤与瓦斯突出预测敏感指标及其临界值的确定方法[J]. 矿业安全与环保, 2007, 34(3): 28-30.
- [5] 卿启超, 李秋林, 吕贵春, 等. 水力化措施条件下工作面突出预测指标 K_1 临界值修正研究[J]. 矿业安全与环保, 2015, 42(4): 56-58.
- [6] 李文哲. 残存瓦斯含量的区域效检指标临界值确定方法研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2015.
- [7] 张玉明. 乌兰煤矿7#煤层突出危险性敏感指标及临界值确定[J]. 矿业安全与环保, 2015, 42(3): 74-77.
- [8] 王松. 寺河矿区域预抽煤层瓦斯防突效果评价方法及临界值的研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2011.
- [9] 侯少杰, 程远平, 吴祥, 等. 预抽煤层瓦斯区域性防突措施效果检验方法[J]. 煤炭技术, 2010, 29(4): 87-90.
- [10] 杨宏民, 王兆丰, 王松, 等. 预抽煤层瓦斯区域防突效果检验指标临界值研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(5): 116-120.
- [11] 孟中泽, 潘少杰, 郝富昌, 等. 李沟矿煤与瓦斯突出区域预测指标及临界值的确定[J]. 煤矿安全, 2010, 41(4): 22-24.
- [12] 魏建平, 赵发军, 刘明举, 等. 义安矿煤与瓦斯突出区域预测指标及临界值研究[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(2): 39-41.
- [13] 郭寿松. 大宁矿突出主控因素及区域措施效检指标临界值确定[J]. 煤矿安全, 2014, 45(7): 5-8.
- [14] 张子敏, 张玉贵. 大平煤矿特大型煤与瓦斯突出瓦斯地质分析[J]. 煤炭学报, 2005, 30(2): 137-140.
- [15] 突出煤层煤巷掘进工作面突出敏感指标及其临界值研究[R]. 焦作: 河南理工大学, 2006.

(责任编辑: 逢锦伦)

(上接第35页)

- [7] 窦林名, 杨增强, 丁小敏, 等. 高压射流割煤技术在防治冲击地压中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 10-13.
- [8] 汪青, 李卫龙. 井下防爆激光测距仪系统设计及其应用[J]. 煤矿机械, 2010, 31(10): 17-19.
- [9] 白志飞. 大采高综放采场矿压显现规律及围岩控制技术研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.
- [10] 高宏, 杨永生, 康先勇, 等. 五阳煤矿瓦斯抽采参数优化研究[J]. 矿业安全与环保, 2013, 40(3): 29-32.
- [11] 王立萌. 大采高综放顶煤冒放分析及端面冒顶的防治技术[J]. 煤炭工程, 2011(7): 45-47.

- [12] 刘鸿文. 材料力学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [13] 何富连, 殷东平, 严红, 等. 采动垮冒型顶煤巷强力锚索桁架支护系统试验[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(2): 1-5.
- [14] 乔卫国, 吕言新, 林登阁, 等. 深井高应力不稳定软岩马头门加固技术研究[J]. 矿业安全与环保, 2011, 38(6): 47-50.
- [15] 许绍明, 徐颖. 大断面软岩巷道非对称破坏原因分析及控制对策[J]. 矿业安全与环保, 2013, 40(3): 55-57.

(责任编辑: 李 琴)