

复杂煤层群开采条件下沿空掘巷 合理煤柱宽度的确定

祖自银

(贵州盘江精煤股份有限公司 山脚树矿, 贵州 六盘水 553536)

摘要:以山脚树矿 22155 工作面为工程背景,根据该工作面的工程地质情况及煤层群上下工作面开采关系,采用数值分析的方法计算得出 22153 采空区边缘煤体内部应力集中系数,并依据弹塑性力学理论,提出合理煤柱宽度的计算公式. 研究表明:通过极限平衡理论计算得到的巷道侧塑性区宽度较直接采用锚杆支护长度更合理;对于复杂煤层群开采条件下,应力集中系数可采用数值分析的方法获取;运用该方法所计算的复杂煤层群开采条件下煤柱宽度经过现场实践检验是科学、合理的.

关键词:复杂煤层;沿空掘巷;煤柱宽度;塑性区

中图分类号:TD326

文献标识码:A

文章编号:1672-9102(2013)04-0007-04

沿空掘巷在国内已得到广泛的应用,其实质是沿上工作面采空区留设煤柱掘进巷道^[1-2]. 沿空掘巷的围岩力学环境一般具有 3 个显著的特点^[3-5]: 巷道处于应力降低区;掘巷期内围岩应力集中程度小;回采期间应力集中程度很大. 沿空掘巷时,合理的煤柱宽度是沿空掘巷技术成败的关键. 目前,国内通用的理论是对煤柱主要分 3 个区域:上区段工作面开采后在采空区侧煤体中产生的塑性区宽度、巷道开挖后煤柱侧形成的塑性区宽度和煤柱内部的稳定核区^[6],但是在计算巷道开挖后煤柱侧形成的塑性区宽度时通常采用锚杆支护的有效长度来代替,其合理性有待进一步研究. 同时对于复杂煤层群开采条件下的沿空掘巷,在计算煤柱宽度时应力集中系数由于其岩层条件复杂较难通过现场实测或经验公式获得.

本文以山脚树矿 22155 工作面为工程背景,根据该工作面的工程地质情况及煤层群上下工作面开采关系,提出了该工作面回风巷道煤柱宽度计算的

有效方法,最终保证了煤柱及巷道的稳定.

1 工程地质概况

15#煤层为复杂结构、块状构造,半暗型煤,较软,平均厚度 3 m,直接顶为 2.0~5.0 m 粉砂岩与菱铁质粉砂岩互层,老顶为 3.0~6.0 m 的菱铁质细砂岩,直接底为 0.15~0.5 m 粉砂质泥岩,老底为 2.5 m 的细砂岩.

22155 工作面回风巷是在 22187 工作面采空区正上方,22123 工作面采空区的正下面. 其巷道群布置关系及各煤层开采情况如图 1 所示.

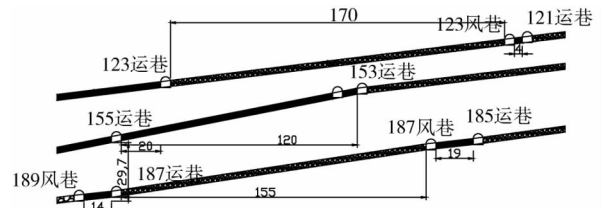


图 1 22155 回风巷位置图

Fig. 1 22155 return airway site plan

收稿日期:2013-06-14

基金项目:国家自然科学基金项目(51174086);煤矿安全开采技术湖南省重点实验室开放基金项目(201102)

通信作者:祖自银(1975-),男,四川宜宾人,硕士,高级工程师,主要从事巷道围岩控制与采矿管理研究. E-mail:540802243@qq.com

2 合理煤柱宽度的留设

合理煤柱的留设宽度是煤柱两侧极限平衡区宽度和中心弹性区煤体的临界尺寸之和,两侧极限平衡区的大小与该侧的采动情况密切相关,其计算模型为:

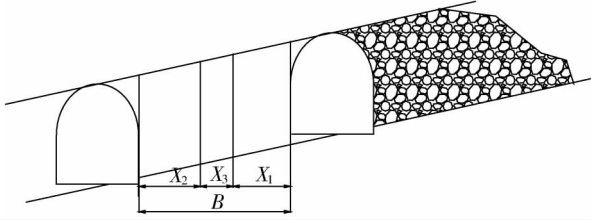


图2 合理煤柱宽度计算模型

Fig. 2 Reasonable width of coal pillar calculation

在考虑提高锚杆锚固力和支护作用的前提下,使煤柱尽可能小,综合影响巷道围岩稳定性的主要因素,确定合理最小煤柱宽度 B 的计算公式为

$$B = X_1 + X_2 + X_3. \quad (1)$$

式中, X_1 为上区段工作面开采后在采空区侧煤体中产生的塑性区宽度; X_2 为巷道开挖后煤柱侧形成的塑性区宽度; X_3 为煤柱内部的稳定核区。

1) X_1 的计算

根据弹塑性力学基本理论可知,其值按以下公式计算:

$$X_1 = \frac{M\beta}{2\tan\varphi_0} \ln \left(\frac{k\rho_0gH + \frac{C_0}{\tan\varphi_0}}{\frac{C_0}{\tan\varphi_0} + \frac{P_x}{\beta}} \right) \quad (2)$$

式中, M 为区段平巷高度, m; β 为侧压系数, $\beta = \mu/(1 - \mu)$, μ 为泊松比; φ_0 为煤体内摩擦角; k 为应力集中系数; ρ_0 为岩层平均密度, t/m^3 ; H 为巷道埋深, m; C_0 为煤体黏聚力, MPa; P_x 为上区段平巷支架对下帮的支护阻力(在采空区侧取 0), kN/m。

2) X_2 的计算

X_2 为巷道开挖后,围岩在应力重分布情况下在煤柱侧形成的塑性区宽度。运用极限平衡理论,在各向等压条件下,圆形巷道围岩塑性区半径 R_p 的计算公式为

$$R_p = R_0 \left[\frac{(p + c_0 \cdot \cot\varphi_0)(1 - \sin\varphi_0)}{p_i + c_0 \cdot \cot\varphi_0} \right]^{\frac{1 - \sin\varphi_0}{2\sin\varphi_0}} \quad (3)$$

式中, R_0 圆形巷道半径(方形巷道可取宽的 1/2); p 上覆岩层压力; $p = k\gamma H$; k 为应力集中系数; γ 上覆岩层的平均容重; p_i 支护作用力,取 0.5 MPa; c_0 , φ_0 煤体黏聚力和内摩擦角。

3) X_3 的计算

X_3 为煤柱内部的稳定核区,根据煤柱稳定的基

本条件可取 $X_1 + X_2$ 的 20% ~ 30%^[7-9]。同时,根据压杆稳定原则,煤柱核区应不小于煤层厚度的一半。

由上述分析可以知道,在计算煤柱内采空区侧以及巷道侧塑性区宽度时,巷道的应力集中系数是重要的参数。

3 应力集中系数的确定

应力集中系数 k 为采空区边缘区域应力峰值与原岩应力之间的比值。对于复杂煤层群开采条件,因煤层间开采关系复杂,采用现场实测的方法不仅消耗更多的资源而且需要较长的时间,同时也比较难获得这些复杂条件的应力集中系数的经验公式,因此采用数值分析的方法是一种比较合理有效的方法。

根据 22155 工作面岩层地质条件以及上下煤层间的开采情况,采用 FLAC5.0 数值模拟软件,通过模拟该工作面以及上下煤层的开采过程来获得应力集中系数,数值模拟模型示意图见图 3,数值模拟模型岩层性质分布图参见图 4。

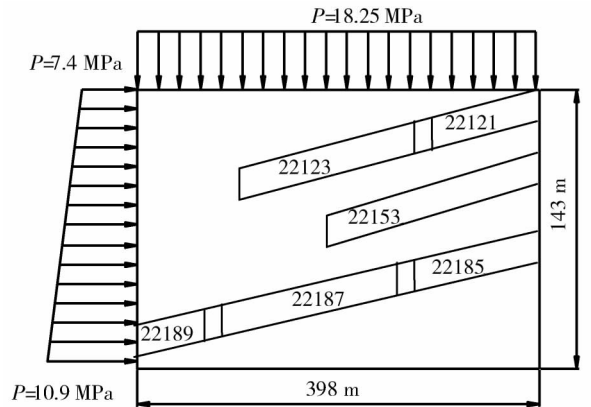


图3 数值模拟模型示意图

Fig. 3 Numerical simulation model schematic diagram

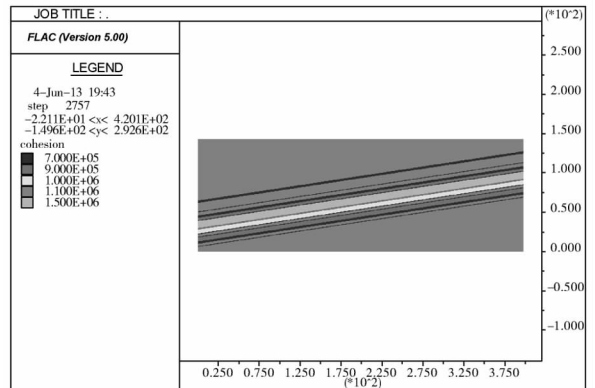


图4 数值模拟模型岩层性质分布图

Fig. 4 Numerical simulation model rock property distribution map

图5为数值模拟结果,图中显示的是岩层内部的垂直方向的应力.

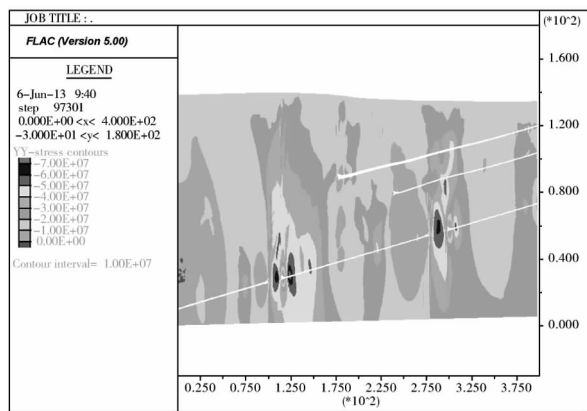


图5 垂直应力云图

Fig.5 Nephogram of vertical stress

通过对数值模拟结果的后处理,提取了22153采空区边缘煤体30 m范围内煤层中部各个节点的垂直压力并绘制了该区域的垂直应力分布图(见图6).

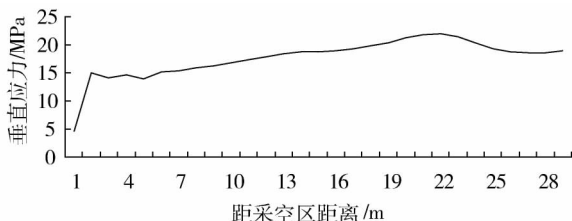


图6 22153采空区边缘煤体垂直压力分布图

Fig.6 22153 goaf edge coal vertical pressure distribution map

由图5和图6可知,22153采空区边缘实体煤体的垂直压力峰值为21.93 MPa,压力峰值的位置距离采空区约22 m.

同时可以看到,在上下煤层开采的影响下,22153采空区边缘煤体的应力集中不明显,应力集中系数较小,因此可以计算出22153采空区边缘区域的应力集中系数为:

$$k = \sigma_{\max} \div P_{\text{原}} = \frac{\sigma_{\max}}{\gamma H} = 21.93 \div 19.2 \approx 1.14. \quad (4)$$

4 煤柱宽度计算及工程实践

4.1 煤柱宽度计算

对于 15° 煤层,取 $M = 3.0 \text{ m}$, $\mu = 0.35$, $\varphi_0 = 35^\circ$, $k = 1.14$, $\rho_0 = 2.5 \text{ t/m}^3$, $H = 769 \text{ m}$, $C_0 = 1.8 \text{ MPa}$, $P_x = 0$.

由此求出极限平衡区宽度为 $X_1 = 2.59 \text{ m}$.

经计算得 $R_p = 3.94$,故 $X_2 = R_p - R_0 = 3.94 - 2.5 = 1.44 \text{ m}$.

X_3 取 $X_1 + X_2$ 的30%为 $X_3 = (X_1 + X_2) \times 30\% = 1.21 \text{ m}$.

根据压杆稳定原则,取 $X_3 = 1.5 \text{ m}$.

则有: $B = X_1 + X_2 + X_3 = 5.5 \text{ m}$,则可取 B 为5.5 m.

实际中22155回风巷沿空掘巷煤柱宽度取6 m.

4.2 工程实践

根据理论计算的煤柱宽度应用于22155回风巷道,并对22155回风巷煤柱内部结构详细调查,使用CXK6-Z矿用本安型钻孔成像仪详细观察围岩内部结构.在测点位置,使用钻头直径 $\Phi 32 \text{ mm}$ 的锚杆钻机打孔,孔深4 m(4~6 m范围因结构破碎无法探测),煤柱内部结构见图7.

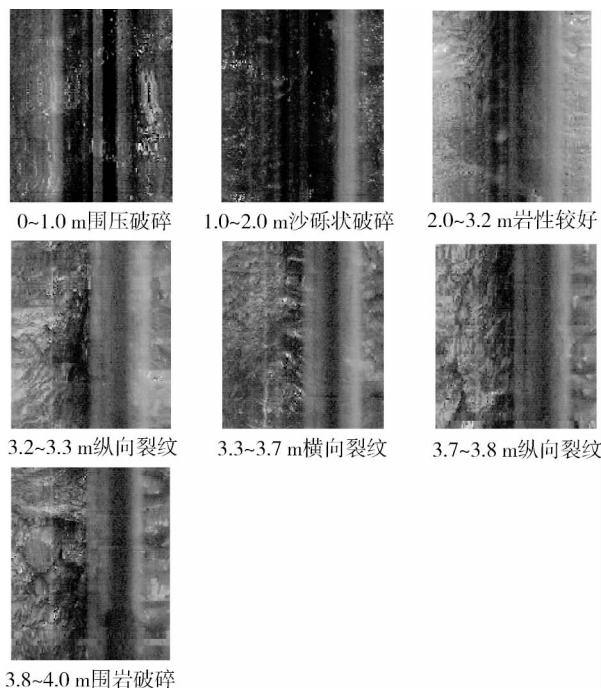


图7 煤柱内部结构图

Fig.7 Internal structure images coal pillar

由图7可知,距孔口0~1.0 m范围内,岩性较软,围岩破碎;距孔口1.0~2.0 m范围内岩层存在横向裂纹,局部沙砾状破碎;距孔口2.0~3.2 m范围内岩层较完整,岩性较好;距孔口3.2~4.0 m范围内岩层出现裂纹及破碎现象.可以看出,煤柱内部巷道侧塑性区域范围在2.0 m以内,其中2.0~3.2 m,围岩较完整,属于煤柱的稳定核区.

现场实测的结果与理论计算结果基本吻合,有效的保证了巷道的稳定.

5 结论

1)合理的煤柱宽度是沿空掘巷技术成功的关键.一定宽度的稳定核区,可以有效保证煤柱的稳

定,同时又能保证巷道围岩完整.

2)通过极限平衡理论计算得到的巷道侧塑性区宽度较直接采用锚杆支护长度更合理,同时也可以为巷道支护中锚杆长度的选择提供一定的参考.

3)对于复杂开采条件下,应力集中系数较难通过实测及经验公式获得的情况下,采用数值分析的方法可以快速有效的获取.

4)通过弹塑性理论及极限平衡理论计算得到的煤柱宽度经过实践检验合理、有效,可以很好的保证煤柱的稳定.

参考文献:

- [1] 马念杰,侯朝炯. 采准巷道矿压理论及应用[M]. 北京:煤炭工业出版社,1995.
Ma N J, Hou C J. Ground pressure theory and application of preparation roadways[M]. Beijing: Coal Industry Press, 1995.
- [2] 陈炎光,陆士良. 中国煤矿巷道围岩控制[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1994.
Chen Y G, Lu S L. Roadway surrounding rock controlling of China mine [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1994.
- [3] 赵国贞,马占国,孙凯,等. 小煤柱沿空掘巷围岩变形控制机理研究[J]. 采矿与安全工程学报,2010,27(4):517-521.
Zhao G Z, Ma Z G, Sun K, et al. Research on deformation controlling mechanism of the narrow pillar of roadway driving along next goaf [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010, 27 (4): 517-521.
- [4] 李磊,柏建彪,徐营,等. 复合顶板沿空掘巷围岩控制研究[J].

采矿与安全工程学报, 2011,28(3):376-383.

Li L, Bai J B, Xu Y, et al. Research on rock control of roadway with complex roof driven along goaf [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28 (3): 376-383.

- [5] 张科学. 深部煤层群沿空掘巷护巷煤柱合理宽度的确定[J]. 煤炭学报, 2011(36):28-35.
Zhang K X. Determining the reasonable width of chain pillar of deep coal seams roadway driving along next goaf [J]. Journal of China Coal Society, 2011(36):28-35.
- [6] 王永,朱川曲,陈森明,等. 窄煤柱沿空掘巷煤柱稳定核区理论研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版),2010,25(4):5-8.
Wang Y, Zhu C Q, Chen M M, et al. Theory research of the stable central zone of narrow coal pillar along goaf [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2010, 25(4):5-8.
- [7] 陈科,柏建彪,朱琪. 沿空掘巷小煤柱破坏规律及合理宽度的确定[J]. 煤矿安全,2009(8):100-102.
Chen K, Bo J B, Zhu Q. Failure law and reasonable width determination of narrow coal pillow along goaf[J]. Coal Safety, 2009 (8):100-102.
- [8] 柏建彪,王卫军,侯朝炯,等. 综放沿空掘巷围岩控制机理及支护技术研究[J]. 煤炭学报,2000,25(5):478-481.
Bo J B, Wang W J, Hou C J, et al. Control mechanism and support technique about gateway driven along goaf in fully mechanized top coal caving face [J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25 (5): 478-481.
- [9] 侯朝炯,李学华. 综放沿空掘巷围岩大、小结构的稳定性原理[J]. 煤炭学报,2001,26(1):478-481. 1-7.
Hou C J, Li X H. Stability principle of big and small structures of rock surrounding roadway driven along goaf in fully mechanized top coal caving face [J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(1):1-7.

Determination and application of rational coal pillar width for roadway driving along goaf in complex seam group

ZU Zi-yin

(Guizhou Panjiang Refined Coal Co., Ltd, Shanjiaoshu Coal, Liupanshui 553536, China)

Abstract: Shanjiaoshu Mine 22155 working face was taken as the engineering background, according to the engineering geology condition of the working face and the relation of upper and lower working face mining in coal seam group, using numerical analysis method to calculate the internal stress concentration factor of 22153 goaf edge coal body, and based on the elastic-plastic mechanics theory, a computational formula for the reasonable width of coal column was put forward. The results show that the roadway side plastic zone width calculate by limit equilibrium theory is more reasonable than the one directly calculated by using the bolt length. And that in complex coal seam mining conditions, the stress concentration coefficient is obtained by the method of numerical analysis. And the field practice proves that coal pillar width calculated by the formula for complex coal seam mining conditions is scientific and reasonable.

Key words: complex seam; roadway driving along goaf; coal pillar width; plastic zone