

条带开采工作面煤柱合理宽度的确定

代进洲¹, 翟英达¹, 孟涛²

(1. 太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024; 2. 太原理工大学 采煤工艺研究所, 山西 太原 030024)

摘要:为了充分地回采“三下”煤炭资源,提高煤炭的采出率,同时又能最大限度地减少地下开采对地表沉陷的影响,对“三下”条带开采方法进行分析。采用 FLAC^{3D} 数值模拟与理论计算相结合的方法,系统研究了在采宽为 20 m,留设煤柱宽度分别取 10、20、30、40 m 时,围岩垂直应力分布和地表沉陷规律。研究结论表明,留设煤柱宽度为采宽的 1.5 倍左右时,地表最大下沉量为 0.042 m,“三下”开采煤炭采出率达到了 40%。

关键词:“三下”采煤;采宽;条带开采;煤柱合理宽度;地表沉陷

中图分类号:TD823.6 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2014)02-0027-03

Determination on Rational Width of Coal Pillar in Strip Mining Face

DAI Jin-zhou¹, ZHAI Ying-da¹, MENG Tao²

(1. School of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Research Institute of Mining Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In order to fully mine the coal resources under buildings, railways and water bodies, to improve the coal mining rate and to minimize the underground mining affected to the surface subsidence, a strip mining method under the surface buildings, railways and water bodies was analyzed. The FLAC^{3D} numerical simulation and theoretical calculation combined method were applied to systematically study the vertical stress distribution of the surrounding rock and the surface subsidence law when the mining width was 20 m and the coal pillar width was 10, 20, 30 and 40 m individually. The study conclusions showed that when the coal pillar width was about 1.5 times of the mining width, the max surface subsidence value would be 0.042 m and the coal mining rate mining under the surface buildings, railways and water bodies was 40%.

Key words: coal mining under buildings, railways and water bodies; mining width; strip mining; rational width of coal pillar; surface subsidence

0 引 言

地下岩体在开挖以前,原岩处于应力平衡状态,开掘巷道或进行采煤工作时,破坏了开挖体围岩原始的应力平衡状态,引起围岩应力的二次重新分布,直至形成新的平衡状态,这是一个相当复杂的物理力学变化过程。在这一过程中,采场围岩必将随工作面的推进而发生覆岩的破断、离层、失稳等现象^[1-2]。采场围岩活动不仅会对采煤工作面产生重大影响,而且还控制着地表沉陷、岩体内水和瓦斯的运移规律,如控制不当,会引发顶板大面积来压及冲

击地压等重大灾害^[3-7]。因此,如何在保证安全生产和有效控制地表沉陷的前提下,充分地开采出“三下”压煤,已经成为了煤炭开采的重大技术难题。笔者以某煤矿实际地质资料为背景,应用数值模拟的方法研究了条带开采围岩垂直应力和地表的沉陷分布规律,并结合理论计算方法确定煤柱的临界宽度,为该问题的解决提供了新思路。

1 矿井概况

某煤矿 130 采区东翼Ⅳ区主采煤层为下二叠统山西组 3 号煤层,煤层结构较简单,厚度 4.1~5.2

收稿日期:2013-09-20;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.est.2014.02.008

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划重点资助项目(2009BAB48B03)

作者简介:代进洲(1985—),男,湖北仙桃人,硕士研究生。Tel:15503479568, E-mail: daijinzhou@163.com

引用格式:代进洲,翟英达,孟涛.条带开采工作面煤柱合理宽度的确定[J].煤炭科学技术,2014,42(2):27-29,33.

DAI Jin-zhou, ZHAI Ying-da, MENG Tao. Determination on Rational Width of Coal Pillar in Strip Mining Face[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(2): 27-29, 33.

m,平均4.5 m,煤层倾角0°~8°,密度1.4 g/cm³,煤层普氏系数1~2,属于中硬煤。煤层埋深约405.5 m,属中等埋深煤层。煤层顶底板岩层与煤层物理力学性质见表1。

表1 煤岩物理力学参数

岩层	平均厚度/m	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	密度/(g·cm ⁻³)	φ/(°)	c/MPa	σ _t /MPa
表土	98.6	0.03	0.01	1.96	24	0.13	0.31
砂质黏土	20.5	4.12	2.40	2.00	15	0.13	0.13
砂泥岩互层	10.3	4.33	2.60	2.56	34	2.10	2.46
粉砂岩	60.2	3.36	2.98	2.58	28	1.15	8.81
硅质泥岩	54.4	4.92	2.54	2.43	14	2.30	2.05
粉砂岩	50.8	3.82	2.25	2.32	30	2.30	8.81
细砂岩	30.1	6.74	3.59	2.54	30	0.87	11.49
砂质泥岩	30.1	4.33	2.60	2.44	25	2.25	2.12
粉砂岩	50.5	4.19	3.41	2.52	25	1.83	8.82
煤	4.5	1.19	0.37	1.40	20	0.80	1.34
砂质泥岩	19.3	4.33	2.54	2.43	35	2.40	1.80
细砂岩	20.9	7.17	4.94	2.72	31	0.98	12.33

注:φ为内摩擦角;c黏聚力;σ_t为抗拉强度。

2 条带开采数值模拟分析

2.1 数值计算方法

利用FLAC^{3D}数值模拟软件,采用弹塑性材料,运用摩尔-库伦屈服准则判断岩体的破坏^[8-9],即:

$$f_s = \sigma_1 - \sigma_3(1 + \sin \varphi)/(1 - \sin \varphi) + 2c\sqrt{(1 + \sin \varphi)/(1 - \sin \varphi)}$$
$$f_t = \sigma_3 - \sigma_t$$

式中:σ₁、σ₃为最大和最小主应力;c、φ为材料的黏聚力和内摩擦角;σ_t为材料抗拉强度;当f_s=0时,材料发生剪切破坏,当f_t=0时,材料发生拉伸破坏。

2.2 数值模型的建立与模拟方案

根据某煤矿的地质条件和工作面的实际开采情况,建立计算模型。模拟采区倾向长度为240 m,考虑到边界效应的影响,采区左右两侧各留设宽为360 m的围岩,故模型总宽为960 m,工作面长度取400 m。根据表1中的数据,模型的总高度为450.2 m,整体的数值计算模型倾向长度为960 m,走向长度为400 m,垂直高度为450.2 m。模型的左右和前后边界施加水平位移约束,底部为固定支承边界,顶部为自由边界。

该模型主要是模拟采用条带开采时,采场围岩

的应力分布和地表沉陷规律。根据倾向模型的设计目的,4种开采方案如图1所示,各开采方案参数见表2。

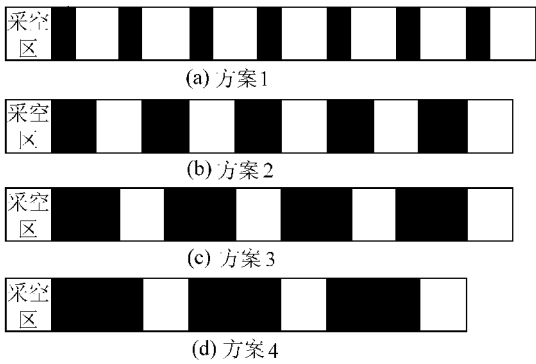


图1 不同条带开采方案

表2 不同条带开采方案参数

方案	条带间距/m	煤柱宽/m	条带数量/个
1	20	10	7
2	20	20	5
3	20	30	4
4	20	40	3

2.3 数值模拟结果及比较分析

1) 围岩垂直应力分布规律。通过表2中的4种方案进行模拟计算,给出了不同方案下的垂直应力等值线分布,如图2所示。

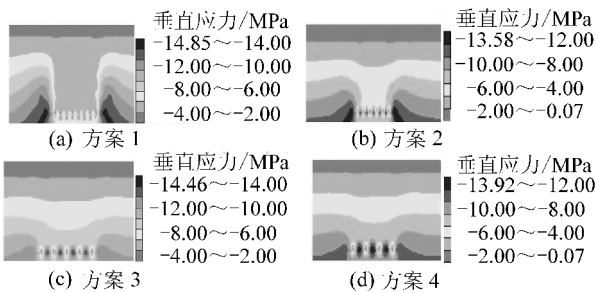


图2 垂直应力分布

数值模拟结果表明:煤柱的宽度对覆岩的垂直应力分布规律有影响。地下开挖引起的原岩应力的破坏,使得围岩的应力分布在煤层倾向方向上出现了应力升高区、应力降低区、原岩应力区。随着煤柱宽度的增加,煤柱支撑压力的峰值和支撑压力的影响范围逐渐减少,产生这种现象的原因是采空区上覆岩石的一部分应力随着煤柱宽度的增加逐渐向煤柱上转移。煤柱的宽度对煤柱平均垂直应力分布规律有影响。根据图2中4个垂直应力分布在垂高44.8 m位置作水平切线处理可以得出,当煤柱宽度为10 m时的煤柱平均垂直应力为6.5 MPa,当煤柱

的宽度为 20 m 时煤柱平均垂直应力为 11 MPa,当煤柱宽度为 30 m 时煤柱平均垂直应力为 13.5 MPa,当煤柱的宽度为 40 m 时煤柱平均垂直应力为 13.9 MPa。煤柱平均垂直应力随煤柱的宽度变化曲线如图 3 所示。从图 3 可以看出,煤柱的宽度与煤柱垂直应力呈正比关系。随着煤柱宽度的增加,煤柱垂直应力增大,但增加的幅度逐渐变缓。当煤柱的宽度为 30 m 时,煤柱垂直应力基本不变。这表明,煤柱的宽度取 30 m 时,煤柱与顶板发生了力学耦合作用,限制了顶板下沉。

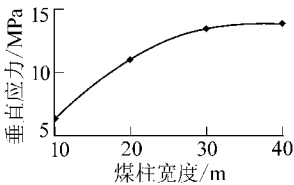


图3 不同煤柱宽度对应的煤柱垂直应力

2)地表移动变形规律。通过对表 2 中的 4 种方案进行模拟,给出了不同方案下的地表下沉等值线分布规律,如图 4 所示。

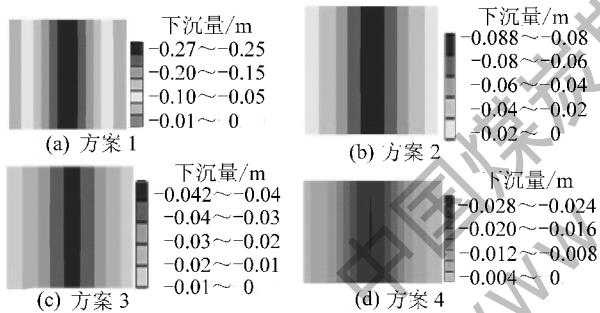


图4 地表下沉量等值线

数值模拟结果表明:煤柱宽度与地表最大下沉量呈反比关系。当煤柱宽度为 10 m 时,地表最大下沉量为 0.27 m,当煤柱宽度为 20 m 时,地表最大下沉量为 0.088 m,当煤柱宽度为 30 m 时,地表最大下沉量为 0.042 m,当煤柱宽度为 40 m 时,地表最大下沉量为 0.028 m。煤柱宽度与地表下沉量间的关系曲线如图 5 所示,煤柱宽度达到 30 m 后,地表下沉量变化幅度明显变缓。

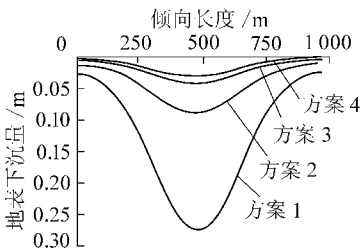


图5 不同煤柱宽度对应的地表下沉量

3 煤柱临界宽度的理论计算

条带开采法是一种部分采煤法,在保证因采煤引起的地表移动和变形不影响地表建筑物的安全使用的前提下,尽量提高煤炭的采出率。然而煤柱的宽度直接决定了煤炭的采出率,为此通过理论计算的方法确定了煤柱临界宽度。

按照 Bieniawski 煤柱强度 σ_p 计算式^[10]:

$$\sigma_p = 0.235\sigma_c(0.64 + 0.36w/h) \quad (1)$$

式中: σ_c 为煤层标准试件单轴抗压强度,MPa; w 为煤柱宽度,m; h 为煤层采高,m。

煤柱的静载荷集度 q_j 为

$$q_j = 9.8 \sum_{i=1}^n \rho_i H_i (1 + b/w) \quad (2)$$

式中: n 为上覆岩层总层数; ρ_i 为上覆第 i 层岩层的视密度, g/cm^3 ; H_i 为上覆第 i 层岩层的厚度,m; b 为条带间距,m。

当煤柱的静载荷集度等于煤柱强度,即 $\sigma_p = q_j$,由式(1)、式(2)可得:

$$0.235\sigma_c(0.64 + 0.36w/h) = 9.8 \sum_{i=1}^n \rho_i H_i (1 + b/w) \quad (3)$$

由式(3)计算得出煤柱的宽度 w 为

$$w = (-B + \sqrt{B^2 - 4AC})/(2A) \quad (4)$$

其中, $A = 0.085\sigma_c/h$; $B = 0.15\sigma_c - 9.8 \sum_{i=1}^n \rho_i H_i$; $C = -9.8b \sum_{i=1}^n \rho_i H_i$ 。

由式(4)表明, w 与 h 、 b 、 ρ_i 、 H_i 、 σ_c 有关。根据该煤矿 130 采区东翼 IV 区实际开采技术条件, $\sigma_c = 10.3$ MPa, $h = 4.5$ m, $b = 20$ m,代入式(4)可以求得煤柱临界宽度 w 为 28.26 m。

4 结 论

煤柱的宽度对围岩的应力分布规律有重要影响。随着留设煤柱宽度的增大,煤柱对顶板的支撑能力逐渐增强,提高了围岩自身的稳定性。煤柱的宽度对地表的沉降规律有重要影响。随着留设煤柱宽度的增大,地表的最大下沉量呈乘幂关系减少,且下沉量的幅度逐渐变得平缓。煤柱宽度取 30 m 左右即为采宽的 1.5 倍时,地表的最大下沉量 0.042 m,煤炭采出率达 40%,既满足“三下”采煤控制地表沉陷要求,又最大限度地提高了煤炭采出率。

(下转第 33 页)