

Study on Reasonable Width of Gob-Side Entry Driving in Three Soft Coal Seam

Fuyong Chu

Civil Engineering Department, Lishui University, Lishui Zhejiang
Email: cfy1976@hhu.edu.cn

Received: Oct. 26th, 2018; accepted: Nov. 19th, 2018; published: Nov. 26th, 2018

Abstract

Using the FLAC^{3D} numerical simulation method, the stress and displacement distribution of surrounding rock for the three soft coal seam were analyzed during driving and coal winning period when the different width coal pillars to protect roadway were placed under gob-side entry driving condition. Based on the analysis results, reasonable width of protecting roadway coal pillar was selected. The research results show that the coal width had little effect on the greater vertical stress in entity coal side and the greater vertical stress in coal pillar side increased with the width of coal increasing. The coal pillar was in a situation of unloading when the width of coal pillar was five meters. The displacement of the surrounding rock was the least when the width of coal pillar was five meters. Therefore, the reasonable width of protecting coal pillar should be five meters.

Keywords

Three Soft Coal Seam, Gob-Side Entry Driving, Width of Coal Pillar, Numerical Simulation

三软沿空掘巷合理护巷煤柱宽度研究

褚福永

丽水学院, 土木工程系, 浙江 丽水
Email: cfy1976@hhu.edu.cn

收稿日期: 2018年10月26日; 录用日期: 2018年11月19日; 发布日期: 2018年11月26日

摘要

利用FLAC^{3D}数值模拟方法, 针对某三软煤层, 分析掘进和回采期间, 沿空掘巷留设不同宽度护巷煤柱时, 围岩的应力和位移分布状况, 并根据分析结果, 选择了合理的护巷煤柱宽度, 研究结果表明: 掘进期间

和回采期间, 实体煤侧的最大垂直应力均受煤柱宽度的影响不大, 煤柱侧的最大垂直应力均随煤柱宽度的增大而增大; 煤柱为5 m时, 煤柱侧处于卸载状态; 掘进期间和回采期间, 巷道两帮移近量、巷道顶板下沉量及巷道底鼓量均在煤柱为5 m时最小; 故三软沿空掘巷合理煤柱宽度应为5 m。

关键词

三软煤层, 沿空掘巷, 煤柱宽度, 数值模拟

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

井下回采过程中, 常常会遇到三软煤层。所谓三软煤层[1]是指煤层顶板软、底板软、煤质软。顶板软是指类不稳定顶板, 直接顶的顶板岩层裂隙发育、破碎、抗压强度指数低, 基本上是一旦暴露很快冒落。底板软是指底板的抗压强度很低($\sigma \leq 4$ MPa), 容易破碎。而软煤是指煤层普氏硬度系数很小($f = 0.3 \sim 1$), 节理发育, 煤层不稳定、易破碎。

三软沿空掘巷施工及维护一直以来都是采矿工程领域的一个研究热点, 除了巷道底鼓控制等技术难题外, 合理的护巷煤柱宽度的确定也是目前迫切需要解决的问题。近几十年来, 国内很多学者针对合理护巷煤柱的确定利用模型试验、数值模拟及理论计算等多种手段进行了研究, 并取得一定的成果[1]-[7]。

如王豪[2]以小煤柱沿空掘巷为研究对象, 通过对巷道工程地质条件、岩石力学性能及巷道上覆围岩稳定性的分析, 结合理论计算及数值模拟, 提出了合理的煤柱宽度; 张科学等[3]通过对应力场分析发现, 煤宽为3~5 m、5~8 m和8~10 m时, 垂直应力分布分别近似呈钝角三角形、锐角三角形和呈梯形。通过对位移场分析发现, 煤柱向巷道内位移普遍大于向采空区侧位移, 且随着煤柱宽度增大向巷道内位移增大, 向采空区侧位移相对影响较小, 进而得出沿空掘巷窄煤柱宽度的确定方法。然而, 现有合理护巷煤柱宽度确定的研究中, 针对三软沿空掘巷的还很少。

为此, 本文利用FLAC^{3D}数值模拟的方法, 针对某深井三软煤层, 分析掘进和回采期间, 沿空掘巷留设不同宽度护巷煤柱时, 围岩的应力和位移分布状况, 并根据分析结果, 选择了合理的护巷煤柱宽度。

2. 计算模型与计算参数

某三软煤层埋深为500 m, 煤层倾角 14° , 煤层厚度为5 m, 开采方向沿工作面走向方向。本次计算模型总长设置为140 m, 工作面的走向长度模型为120 m, 模型高度为87 m, 巷道尺寸为: 长 \times 宽 = 4.8×3.4 m。

图1给出了上区段工作面开挖和巷道开挖后的三维有限差分网格。图1可以看出, 巷道左右10 m的范围内进行了加密, 每0.5 m一个单元格。煤层每0.5 m设置一个单元格, 煤层顶板为泥岩, 每0.8 m设置一个单元格, 底板为砂质泥岩层, 每0.6 m设置一个单元格。

本次计算采用应力和位移结合控制边界条件, 模型的上面施加均匀的垂直应力, 按巷道上覆岩体(500 m)的自重考虑, $\sigma_z = 12.5$ MPa, 为了简化计算, 侧压系数取1, 即水平方向的应力均为12.5 MPa。模型的

下表面垂直位移固定，左右两侧的水平位移固定。

计算采用的本构模型采用摩尔—库仑模型，模型参数由试验得到，列于表 1 中。计算过程如下：首先计算了岩(煤)层的初始应力状态，然后，对上一区段工作面开挖，每 8 m 开挖一次，对于顶板冒落充填的模拟，采用改变模型类型及改变岩石力学参数的方式，最后，进行巷道开挖和支护的模拟。

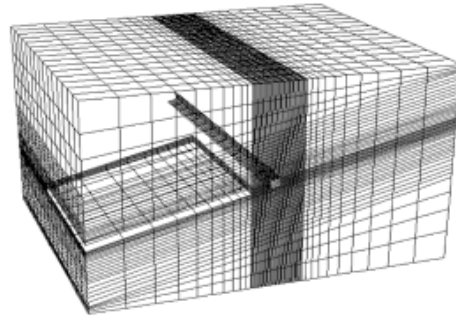


Figure 1. Three-dimensional finite difference grid
图 1. 三维有限差分网格

Table 1. Moore-Cullen model parameters
表 1. 摩尔—库仑模型模型参数

岩层名称	密度(kg/m ³)	弹性模量(10 ⁴ MPa)	泊松比	抗拉强度(MPa)	内摩擦角(°)	内聚力(MPa)
顶板						
细砂岩	2564	64.3	0.248	1.9	31	8
泥岩	1973	19.0	0.204	1.32	33	6
细砂岩	2932	78.0	0.266	1.28	32	8
泥岩	1973	19.0	0.204	1.12	33	6
细砂岩	2467	15.0	0.182	0.8	32	7
泥岩	2530	8.69	0.119	0.65	31	3
煤层						
2202-3 煤层	1380	1.50	0.280	0.15	28	2
泥岩	2520	17.0	0.191	0.58	35.5	7
底板						
粉砂岩	2580	50.0	0.159	1.84	33	8
砂质泥岩	2608	17.5	0.147	3.6	35	7

3. 计算结果分析

3.1. 煤柱宽度对两帮垂直应力的影响

整理计算数据，并将不同煤柱宽度下巷道两帮最大垂直应力列于表 2 中。根据表中数据，点绘出掘进期间和回采期间两帮垂直应力随煤柱宽度的变化曲线，如图 3 所示。

由表 2 和图 2 可以看出，掘进和回采期间，不同煤柱宽度下实体煤侧及煤柱侧的最大垂直应力变化规律相同，即实体煤侧的最大垂直应力受煤柱宽度的影响不大，掘进和回采期间实体煤侧的最大垂直应力分别为 17.6~18.4 MPa 和 22.1~24.2 MPa；煤柱侧的最大垂直应力均随煤柱宽度的增大而增大。

由表 2 和图 2 可以看出，掘进期间煤柱宽度为 3 m 时，煤柱的最大垂直应力最小，为 7.29 MPa。煤柱宽度为 4~10 m 时，较煤柱为 3 m 时的最大垂直应力的增幅为 19.34%~144.17%。煤柱为 5 m 时，煤柱侧的最大垂直应力为 11.2 MPa 低于初始应力(12.5 MPa)，说明煤柱仍处在卸压状态。当煤柱尺寸为 10 m

时，煤柱侧的最大垂直应力为 18.2 MPa，较实体煤侧的相应值的增幅为 4.5%。

由图 2 可以看出，较掘进期间，回采期间除煤柱侧除了煤柱宽度为 3 m 时煤柱侧的最大垂直应力略有减小(此时煤柱完全破坏)外，而其他煤柱宽度下的煤柱侧最大垂直应力均增大。

Table 2. The maximum vertical stress of two gang under different width of coal

表 2. 不同煤柱宽度下巷道两帮最大垂直应力

煤柱宽度/m	掘进期间		回采期间	
	煤柱侧	实体煤侧	煤柱侧	实体煤侧
3	7.3	17.6	6.9	22.7
4	8.7	17.6	12.7	22.1
5	11.2	17.9	14.5	22.1
6	12.8	17.9	15.3	22.9
7	14.7	18.4	17.6	22.9
8	15.8	18.1	18.3	22.4
9	16.0	18.1	18.3	22.9
10	18.4	17.6	21.1	24.2

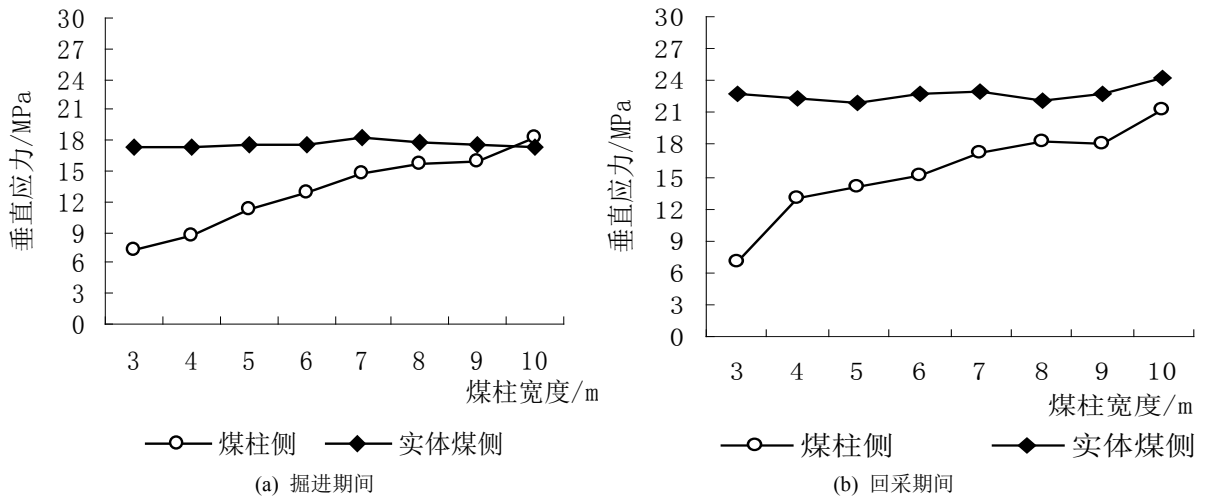


Figure 2. Relation between size of pillar and vertical stress of both sides

图 2. 巷道两帮垂直应力随煤柱宽度变化曲线

3.2. 煤柱宽度对两帮移近量的影响

表 3 给出了不同煤柱宽度下巷道两帮移近量。并根据表中数据，点绘出掘进期间和回采期间巷道两帮移近量随煤柱宽度的变化曲线，如图 4 所示。

由表 3 和图 3(a)可以看出，掘进期间，两帮移近量随煤柱宽度的增大先减小后增大，其中，当煤柱宽度为 5 m 时，两帮移近量最小。这可能是煤柱宽度为 5 时，煤柱内部应存在一定的弹性区域。图 4(a)同时显示，煤柱宽度为 5~10 m 时两帮移近量变化不大，即：5~7 m 区间略有增大，7~10 m 区间趋于稳定。

Table 3. The displacement of two gang under different width of coal
表 3. 不同煤柱宽度下巷道两帮位移

煤柱宽度/m	掘进期间	回采期间
3	296.5	601.8
4	255.3	587.2
5	226.5	499.1
6	234.7	609.2
7	263.5	697.2
8	247.1	653.2
9	234.7	601.8
10	234.7	579.8

由表 3 和图 3(b)可以看出, 回采期间, 两帮移近量最小仍出现在煤柱为 5 m 时, 此时煤柱基本处于塑性区域, 但还有一定的承载能力, 故煤柱仍能保持稳定。当煤柱宽度大于 5 m 时, 煤柱宽度为 5~7 m 区间两帮移近量增幅明显, 7~10 m 区间两帮移近量略有减小。

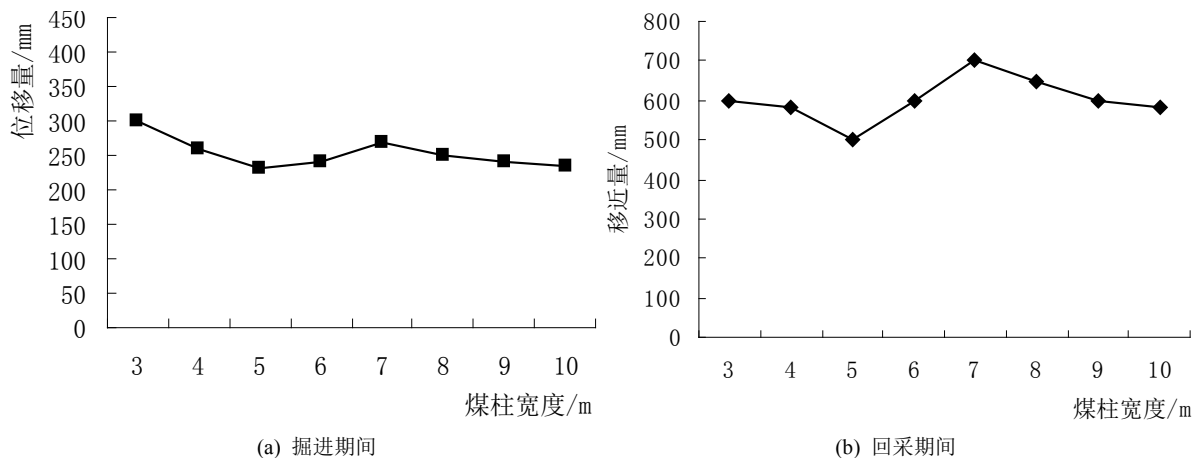


Figure 3. Relation between size of pillar and both sides' displacement
图 3. 巷道两帮移近量随煤柱宽度变化曲线

3.3. 煤柱宽度对顶板下沉量的影响

表 4 给出了不同煤柱宽度下巷道顶板的下沉量。并根据表中数据, 点绘出掘进期间和回采期间巷道顶板下沉量随煤柱宽度的变化曲线, 如图 5 所示。

由表 4 和图 4(a)可以看出, 掘进期间, 巷道顶板下沉量随煤柱宽度的增大先减小后增大, 其中, 当煤柱宽度为 5 m 时, 顶板下沉量最小, 为 91.3 mm。之后顶板下沉量随着煤柱宽度的增加而增大, 煤柱为 10 m 时巷道顶板下沉量煤柱为 5 m 时的增幅为 25.96%。需要指出的是, 由计算结果看出, 掘进期间煤柱侧顶板下沉量大于实体煤侧。

Table 4. The subtraction of roof under different width of coal
表 4. 不同煤柱宽度下巷道顶板下沉量

煤柱宽度/m	掘进期间	回采期间
3	121.5	499.0
4	99.3	415.6

Continued

5	90.4	211.7
6	99.3	310.0
7	100.7	362.9
8	103.7	415.9
9	111.1	446.1
10	115.6	476.3

由表 4 和图 4(b)可以看出, 回采期间巷道顶板的下沉量随煤柱宽度的变化规律与掘进期间类似, 即煤柱宽度的增大巷道顶板的下沉量先增大后减小, 煤柱为 5 m 时最小, 煤柱为 10 m 时巷道顶板下沉量较煤柱为 5 m 时的增幅为 13.64%。回采期间, 煤柱侧顶板下沉量也是明显大于实体煤侧。

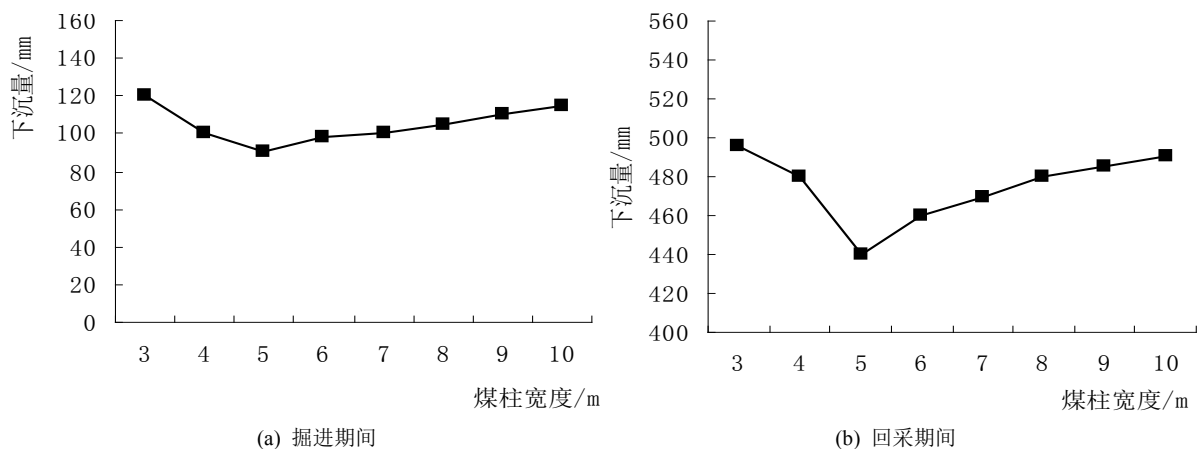


Figure 4. Relation between pillar width and displacement of roof

图 4. 巷道顶板下沉量随煤柱宽度变化曲线

3.4. 煤柱宽度对底鼓的影响

表 5 给出了不同煤柱宽度下巷道的底鼓量。并根据表中数据, 点绘出掘进期间和回采期间巷道底鼓量随煤柱宽度的变化曲线, 如图 5 所示。由表 5 和图 5(a)可以看出, 掘进期间巷道底鼓量随着煤柱的增加先减小后增大, 煤柱为 5 m 时, 底鼓量最小, 煤柱为 7 m 和 10 m 煤柱时, 较煤柱为 5 m 时底鼓量的增幅分别为 38%和 20%。数值计算结果同时显示, 煤柱帮的底鼓量大于实体煤帮。

Table 5. The subtraction of roof under different width of coal

表 5. 不同煤柱宽度下巷道底鼓量

煤柱宽度/m	掘进期间	回采期间
3	333.7	561.3
4	315.2	509.7
5	309.0	361.3
6	377.0	400.0
7	426.4	425.8
8	414.0	445.2
9	407.9	438.7
10	370.8	458.1

由表 5 和图 5(b)可以看出，回采期间随着煤柱的增加，底鼓量也呈现先变小后增大的规律。煤柱宽度为 5 m 时，底鼓量最小。煤柱宽度为 3 m、7 m 和 10 m 时，巷道的底鼓量较煤柱宽度为 5 m 时的增幅分别为 55.4%、17.9%和 26.75%。

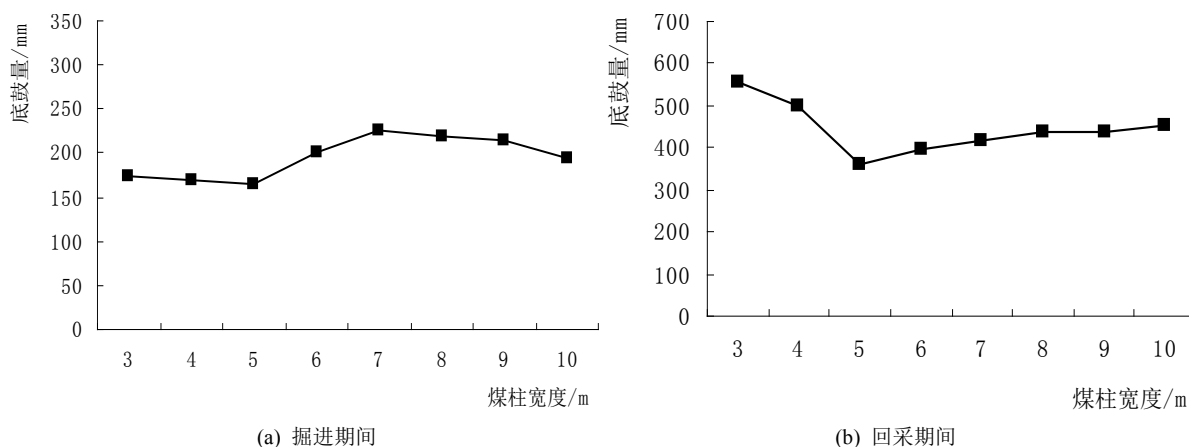


Figure 5. Relation between size of pillar and swelling displacement of bottom

图 5. 巷道底鼓量随煤柱宽度变化曲线

4. 结论

本文利用 Flac^{3D} 数值模拟的方法，针对某深井三软煤层，分析掘进和回采期间，沿空掘巷留设不同宽度护巷煤柱时，围岩的应力和位移分布状况，得到如下主要结论：

1) 掘进期间和回采期间，实体煤侧的最大垂直应力均受煤柱宽度的影响不大，掘进和回采期间实体煤侧的最大垂直应力分别为 17.6~18.4 MPa 和 22.1~24.2 MPa；煤柱侧的最大垂直应力均随煤柱宽度的增大而增大；煤柱为 5 m 时，煤柱侧的最大垂直应力为 11.2 MPa，低于初始应力(12.5 MPa)，处于卸载状态；

2) 掘进期间和回采期间，巷道两帮移近量、巷道顶板下沉量及巷道底鼓量均在煤柱为 5 m 时最小。

因此，由以上数值计算结果可知，三软沿空掘巷合理煤柱宽度应为 5 m。

基金项目

丽水市高层次人才项目(编号：2015RC16)。

参考文献

- [1] 何满潮. 软岩工程力学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 王豪. 小煤柱沿空掘巷合理宽度研究[J]. 江西煤炭科技, 2018(1): 28-31.
- [3] 张科学. 粗粒土的变形特性和缩尺效应[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(4): 89-95.
- [4] 张永杰. 华晟荣煤矿沿空掘巷围岩稳定时空效应与控制研究[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2011.
- [5] 马长乐, 马卫波, 郭锋, 等. 宽煤柱内沿空掘巷的研究与实践[J]. 煤矿安全, 2014, 45(1): 122-125.
- [6] 方仕忠, 牛孝田, 张明, 等. 五沟煤矿沿空掘巷窄煤柱宽度的合理设计[J]. 能源技术与管理, 2014, 39(1): 67-69.
- [7] 柏建彪, 侯朝炯, 黄汉富. 沿空掘巷窄煤柱稳定性数值模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(20): 3475-3479.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org