

深部中央采区下山保护煤柱合理宽度研究

刘小虎, 沈志平

上海大屯能源股份有限公司, 江苏 徐州

收稿日期: 2022年9月24日; 录用日期: 2022年10月14日; 发布日期: 2022年10月26日

摘要

姚桥煤矿中央采区埋深大, 服务时间长, 采区下山巷道保护煤柱的留设至关重要, 既要最大限度地进行资源回收, 又要保障采区服务期间下山巷道的稳定性, 基于此, 论文采用理论计算、数值模拟等方法对保护煤柱合理宽度进行分析。结果表明, 不考虑时效特征时, 大巷保护煤柱的宽度不应小于75 m; 由于采区服务时间长, 煤体具有明显的蠕变特征, 因此对煤柱的长期稳定性进行了分析, 在考虑煤体蠕变效应的情况下, 保护煤柱宽度应不小于85 m。

关键词

保护煤柱, 蠕变, 数值模拟, 采动应力

Study on Reasonable Width of Protection Coal Pillar in Deep Central Mining Area

Xiaohu Liu, Zhiping Shen

Shanghai Datun Energy Co., Ltd., Xuzhou Jiangsu

Received: Sep. 24th, 2022; accepted: Oct. 14th, 2022; published: Oct. 26th, 2022

Abstract

The central mining area of Yaoqiao Coal Mine has a large buried depth and a long service time. It is very important to reserve the protective coal pillar of the downhill roadway in the mining area. It is necessary to maximize the resource recovery and ensure the stability of the downhill roadway during the service period of the mining area. Based on this, the paper analyzes the reasonable width of the protective coal pillar by theoretical calculation and numerical simulation. The results show that the width of protective coal pillar should not be less than 75 m without considering the time effect characteristics; As the service time of the mining area is long and the coal body has obvious creep characteristics, the long-term stability of the coal pillar is analyzed. Under considera-

tion of the creep effect of the coal body, the width of the protective coal pillar should not be less than 85 m.

Keywords

Protecting Coal Pillar, Creep, Numerical Simulation, Mining Stress

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

姚桥煤矿中央采区布置有三条下山, 分别为采区回风下山、皮带下山、轨道下山, 随着采深的增加, 原岩应力升高与采动应力的叠加, 采区面临复杂地质、高应力、冲击矿压、煤体强度低等不利条件。中央采区回风下山、轨道下山两条下山巷道剧烈大变形, 运输及通风困难, 严重影响矿井安全生产, 由于采区服务年限较长, 为保证生产期间采区下山巷道的稳定性, 需要留设合理的保护煤柱。目前, 许多学者对不同条件下工作面煤柱的留设进行了研究。杨洁[1]针对下霍煤矿回风顺槽小煤柱的稳定性及合理留设进行了分析; 刘会景[2]等分析了复合顶板综采工作面上下煤层同采时小煤柱的稳定性; 马赛[3]研究了孤岛工作面特厚煤层在开采过程中区段煤柱的留设问题; 左安家[4]针对昌恒煤矿断层煤柱的留设问题, 分析了断层防水煤柱的留设方法; 孟祥军[5]等分析了厚煤层倾斜工作面沿空煤柱的稳定性; 韩传磊[6]等研究了断层影响下工作面区段煤柱的合理宽度; 殷帅峰[7]等探讨了中厚煤层开采过程中小煤柱的稳定性及围岩控制技术; 凌志强[8]等分析了冲击危险性特厚煤层工作面区段煤柱对工作面防冲的影响; 任帅[9]等分析了充填工作面沿空巷道小煤柱的稳定规律; 陈法兵[10]等分析了不规则煤柱回收工作面矿压显现规律。

上述文献大都针对工作面区段煤柱, 对工作面上下山保护煤柱的研究较少, 同时现有的研究中由于巷道煤柱服务年限较短, 未考虑煤柱的蠕变效应。本文针对姚桥煤矿采区下山保护煤柱留设中存在的问题进行研究, 并分析大巷煤柱的长期稳定性。

2. 采区下山概况

中央采区主采煤层为 7[#]煤, 地面标高+33.51~34.86 m, 根据矿井生产接续安排, 中央采区工作面的开采深度逐步加载, 未采工作面赋存于-750 至-925 水平(地面标高约+34.86 m), 属于典型的深部开采, 原始地应力水平高, 7 号煤层平均厚度为 5.2 m, 煤层平均倾角 12°。

3. 保护煤柱宽度的规范计算

针对中央采区工作面的具体情况, 煤层厚度为 4.66~5.53 m, 考虑安全, 计算时采用最大煤厚 5.53 m, 地面标高取+34.86 m, 最大垂深按照 959.86 m 计算, 7 煤的平均单轴抗压强度为 22.7 MPa, 煤层的强度系数取 1.3。计算得中央采区上(下)山保护煤柱为:

$$s_1 = \sqrt{\frac{H(2.5+0.6M)}{f}} = 65.54 \text{ (m)}$$

按照“三下规程”中的有关煤柱留设方面的计算公式计算得到中央采区的下山保护煤柱宽度为 65.54 m。

4. 不考虑时间效应的煤柱宽度

4.1. 模型的建立

7018 工作面为例建立数值模型, 进行模拟计算, 确定采区煤柱宽度的合理宽度。综合 7018 工作面地质柱状图及采区地质条件, 建立数值计算几何模型, 大小为长 \times 宽 \times 高 = 450 m \times 350 m \times 150 m。

模型侧面 x 方向、y 方向的水平速度为零, 即固定水平位移, 模型底部水平、垂直方向上施加位移约束, 顶部设为自由面, 上覆岩层取平均容重 2500 kg/m³, 根据工作面埋藏深度, 施加 20 MPa 垂直载荷在模型顶面。计算时应用摩尔 - 库伦本构模型, 各岩层物理力学参数如表 1 所示。首先对进行初始应力计算模型至平衡状态, 然后分步对对工作面进行开挖计算, 煤柱留设宽度分别为 100 m、95 m、85 m、75 m、70 m、65 m, 记录不同煤柱宽度时工作面与下山巷道间煤柱的应力变化和变形情况。

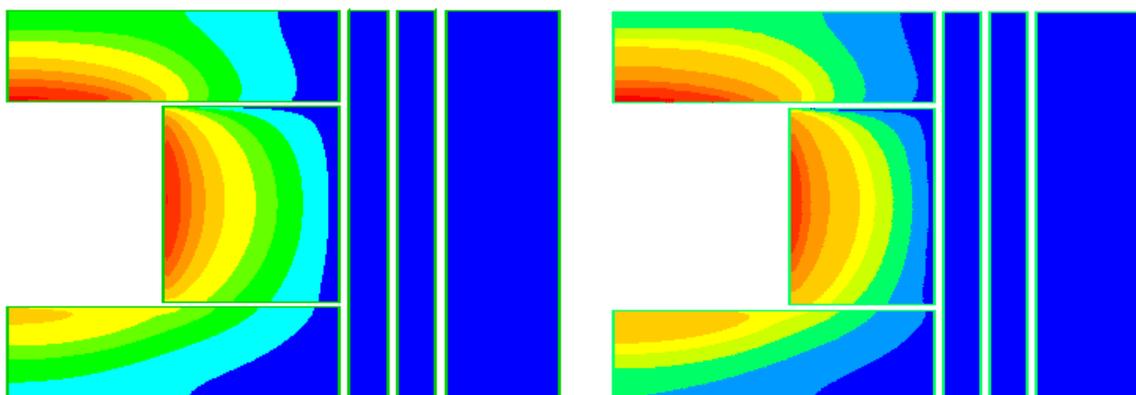
Table 1. Physical and mechanical parameters

表 1. 物理力学参数

岩石名称	密度 /kg·m ⁻³	体积模量 /MPa	粘结力 /MPa	内摩擦角 /°
细砂岩	2186	6260	1.19	47.8
泥岩	2231	4040	1.48	30.8
中砂岩	2726	5754	12.02	34.5
泥质砂岩	2498	4087.1	1.42	31.1
7 煤	1503	3051	1.19	30
砂质泥岩	2498	4087.1	1.42	31.1
细砂岩	2186	6260	1.19	47.8

4.2. 模拟结果分析

煤层逐步开采并进行计算后, 沿工作面走向方向, 轨道下山逐渐受采动诱发的集中应力波及。如果以 1.13 为采动应力集中系数影响边界(未开挖时煤层原岩应力约 24 MPa), 则当工作面回采进度达到 100 m 和 95 m 时, 1.13 的应力集中系数边界线与轨道下山距离较远, 超前支承压力不会影响大巷。当工作面继续回采至 85 m 和 75 m 时, 轨道下山逐渐接近应力影响范围; 当工作面再进行回采至距离大巷 70 m 和 65 m 时, 轨道下山已经受到采动应力的影响。



(1) 100 m 煤柱位移云图

(2) 95 m 煤柱位移云图

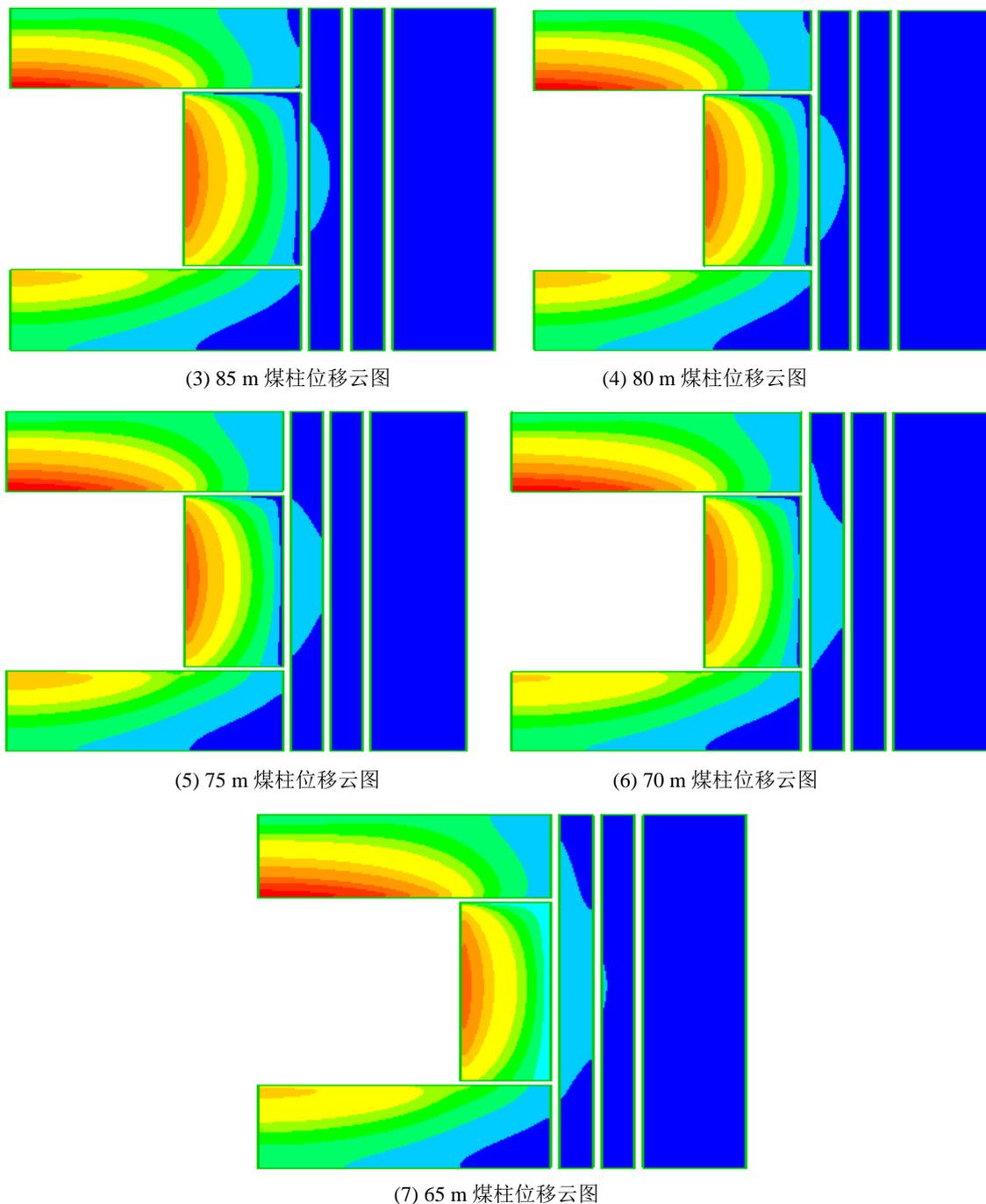


Figure 1. Cloud chart of coal pillar deformation after face excavation
图 1. 工作面开挖后煤柱变形云图

从采动煤柱变形云图(图 1)中可得,工作面回采过程中,采动作用下上覆岩层形成应力拱,当大巷保护宽度为 100 m 和 95 m 时,距离煤柱较近一侧的下山巷道两帮煤体垂直位移基本无变化;工作面继续回采,至推进到煤柱宽度为 85 m 时,巷道非生产帮产生很小的位移,小于 10 mm,但巷道生产帮基本为产生变形,说明上覆岩层形成的外应力拱发生变化,其拱脚已逐渐转移至轨道下山,此时,在应力拱的内部,煤层采动应力作用在保护煤柱上,所以在工作面推进过程中,及煤柱宽度从 85 m 缩小到 75 m 时,

轨道下山未产生新的变形增量;随着工作面回采,煤柱宽度进一步缩小,支承压力影响明显,下山巷道变形量开始增大,在留设 70 m 煤柱宽度时,采区轨道下上在生产帮一侧出现明显变形,巷道位移增大。

不考虑煤柱应力变化时效特征时,随着工作面回采,煤柱宽度缩小,轨道下山受采动应力的影响范围及程度都开始增大,垂直方向上煤体变形开始加大;在留设的煤柱宽度大于 75 m 时,轨道下山未受到工作面采动应力的影响,煤柱变形也基本没有;当煤柱宽度从 75 m 缩小到 70 m 时,煤体变形及煤柱应力都开始增加,并且增幅较大,靠近煤柱的采区下上巷道变形明显,综合可知,采动应力的明显影响范围不小于 75 m,即此时煤柱留设宽度不应小于 75 m。

5. 煤柱长期稳定性分析

煤柱应力和煤柱强度及煤柱的稳定性有重要影响,当煤柱应力超过其强度极限时,煤柱将会发生破坏。工作面回采结束后,采区下山护巷煤柱在长期集中应力、地下水侵蚀、风化和其它扰动因素作用下,煤柱将随时间推移而发生流变,其长期强度也将会降低,对于深部煤柱,由于所受地应力更大,其流变性质更加明显。为此,在保护煤柱设计时需考虑蠕变特性对煤柱稳定性的影响。

由数值模拟可知,工作面的采动应力影响范围不小于 75 m,煤柱留设宽度不应小于 75 m,但受到采区高应力影响,加上采区服务年限较长,煤柱将会有蠕变变形产生,因此在留设煤柱宽度时应考虑煤体的长期稳定性。为了研究长期载荷作用下煤体的受力及变形特征,对 90、85 m、80 m、75 m 等不同宽度的煤柱进行蠕变模拟计算,即在上述采用摩尔-库伦模型计算完成的数值模型基础上进行蠕变计算,将煤柱改为改进的 Burgers 蠕变模型,其他岩层参数仍保持不变,继续进行蠕变计算。

蠕变计算时间分别设为 6 个月、1 年、3 年、5 年,即分析工作面回采后不同时间效应下保护煤柱的应力计变形特征,如下图所示。

工作面开挖 1 年和 3 年后,留设 90 m 或者 85 m 煤柱时,煤体应力基本无明显变化,在工作面开采 1 年后,煤柱趋于稳定;而 80 m 煤柱不同,在开挖 3 年后,大巷保护煤柱才趋于稳定;当留设煤柱宽度为 75 m 时,采动应力一直向煤柱及下山巷道方向扩展,开挖 3 年后,回风下山已受到工作面采动应力的影响。

根据蠕变过程中的煤体变形情况,开挖 2 年后,工作面留设 80 m 煤柱时,煤体垂直位移变化量为 37.5 mm,煤体处于稳定蠕变阶段,直至 3 年后,煤柱变形量为 38 mm,而后煤体变形量基本不变,说明三年后煤柱已基本稳定。留设 75 m 宽度的煤柱时,在不考虑蠕变变形时能够保持稳定,但在蠕变作用下,煤体变形持续增大,虽然未达到加速蠕变阶段,但煤体变形速率一直大于零,煤柱变形量不算增加,无法进入稳定状态。

6. 结论

- 1) 根据中央采区的开采条件计算得保护煤柱宽度为 65.54 m,数值模拟得到保护煤柱宽度为 75 m,因此,中央采区上煤柱在不考虑蠕变作用时其宽度应不小于 75 m。
- 2) 由于中央采区采深大,服务时间长,煤体在高地应力作用下呈现明显的蠕变特性,为确保巷煤柱的安全可靠,在留设煤柱宽度时需考虑蠕变效应,因此,保护煤柱宽度应不小于 85 m。

参考文献

- [1] 杨洁. 下霍煤矿 2305 回风顺槽小煤柱沿空掘巷围岩控制技术[J]. 山东煤炭科技, 2022, 40(7): 50-53.
- [2] 刘会景, 林陆, 李敬凯, 等. 综放复合顶板错层位外错式沿空掘巷异型窄煤柱宽度优化研究[J]. 煤炭工程, 2022, 54(6): 12-17.
- [3] 马赛. 特厚煤层孤岛工作面回采巷道区段煤柱宽度研究[J]. 煤, 2022, 31(6): 55-57.

-
- [4] 左安家. 昌恒煤矿 F₉ 断层防隔水煤柱留设研究[D]: [硕士学位论文]. 廊坊: 华北科技学院, 2022.
 - [5] 孟祥军, 赵鹏翔, 王绪友, 等. 倾斜厚煤层沿空掘巷窄煤柱留设尺寸及围岩控制技术研究[J]. 西安科技大学学报, 2022, 42(3): 413-422.
 - [6] 韩传磊, 左常清, 赵燕席, 等. 受断层影响的深部工作面区段煤柱留设宽度研究[J]. 煤炭与化工, 2022, 45(5): 46-49.
 - [7] 殷帅峰, 左安家, 马丽洁, 等. 中厚煤层窄煤柱沿空掘巷围岩稳定性研究[J]. 煤炭工程, 2022, 54(5): 90-96.
 - [8] 凌志强, 赵森, 顿长健. 特厚煤层区段煤柱宽度变化区冲击危险性分析及防治实践[J]. 矿业安全与环保, 2021, 48(6): 118-122.
 - [9] 任帅, 王方田, 李少涛, 等. 深井超高水充填工作面小煤柱稳定性规律及控制技术[J]. 煤矿安全, 2021, 52(6): 243-249+254.
 - [10] 陈法兵, 毛德兵, 蓝航, 等. 不规则煤柱影响下旋采工作面冲击地压防治技术[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(2): 8-11.