

综采面过断层的布设方式探讨

张元, 鲁海峰, 姚多喜

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

Email: 2197346502@qq.com

收稿日期: 2020年9月19日; 录用日期: 2020年10月7日; 发布日期: 2020年10月14日

摘要

随着综合机械化采煤工作面过断层现场技术及经验的积累与完善, 经过不断探索和发展, 针对不同类型的断层构造, 对应的过断层的方式也趋于多样化, 常见的方式有调整割煤高度法、破顶起底法、强割硬过法、跳采法和综合方法。综采工作面过断层时的布设方式对工作面推进速度及煤资源开采效率存在很大影响, 具体体现在过断层时割煤机切割顶底板的岩石总量以及煤资源剩余量两个方面。本文根据破顶起底法与调整割煤高度法的综合方法, 主要探讨落差小于煤层厚度的迎面正断层, 工作面布设方式对推进效率的影响, 研究过断层切割顶底板岩石量及煤资源剩余量与工作面布设之间的关系。得出: 综采工作面布设时, 断层上下盘内的工作面布设长度相近, 综采面倾角的设计范围应在 3° 至 9° 内, 可有效提升工作面推进速度及提升煤资源开采效率。

关键词

破顶起底法, 断层构造, 起坡角, 切割岩石量

Discussion on the Layout of the Fault in Fully Mechanized Mining Face

Yuan Zhang, Haifeng Lu, Duoxi Yao

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Email: 2197346502@qq.com

Received: Sep. 19th, 2020; accepted: Oct. 7th, 2020; published: Oct. 14th, 2020

Abstract

As the comprehensive mechanized coal mining working face through fault field technology and experience accumulation and the consummation, after continuous exploration and development,

in view of the different types of fault structure, the corresponding fault mode, tend to be diversified, common way of coal cutting height adjustment, breaking the bottom of the jacking method, strong cut the hard way, jump mining method and comprehensive method. The arrangement mode of fully-mechanized coal mining face when it passes through the fault has great influence on the advance speed of the working face and the mining efficiency of coal resources, which is embodied in the total amount of rock in the roof and floor cut by the coal cutter and the remaining amount of coal resources when passing through the fault. According to the comprehensive method of jacking up and cutting bottom and adjusting coal height, this paper mainly discusses the impact of frontal normal fault with a drop less than the thickness of coal seam and the way of working face layout on the propulsion efficiency, and studies the relationship between rock quantity and coal resource surplus of cutting through the fault and working face layout. It is concluded that when the fully-mechanized coal face is laid out, the length of the working face is similar in the upper and lower plates of the fault, and the design range of the inclination angle of the fully-mechanized coal face should be within 3° to 9° , which can effectively improve the advance speed of the working face and the mining efficiency of coal resources.

Keywords

Breaking the Top and Lifting the Bottom, Fault Structure, Initial Slope Angle, The Amount of Rock Cut

Copyright © 2020 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

随着综合机械化采煤工作面过断层现场技术及经验的积累与完善, 经过不断探索和发展, 形成了综合机械化采煤工作面过断层的几种常用方法: 调整割煤高度法、强割硬过法、破顶起底法、跳采法和综合方法[1]。在采煤工作面推进过程中, 当工作面前方存在断层构造时, 断层上下盘煤层存在落差 H , 当断层落差 H 大于煤层厚度 M 时, 常用的方式是跳采法, 即通过在断层的另一侧重新掘开一切眼或重新布置巷道, 使工作面跳过断层继续开采。当断层落差 H 小于或等于煤层厚度 M 时, 通常利用采煤机直接切割顶板或底板, 强行通过断层, 即破顶起底法, 其技术关键是强行切割顶底板岩石。目前对综采面过断层技术的研究内容主要多为技术研究与应用[2]-[15]。部分学者对工作面过断层、褶皱等地质构造的技术措施进行综述探讨[2], 多数学者根据工程实例, 对工作面过断层构造的技术进行研究分析并应用于实际工程当中[3]-[10], 部分学者将数值模拟、相似模拟、物探等技术应用到井下综采面过断层的采面布设当中[11] [12] [13] [14] [15], 探查断层并针对不同的断层构造对综采面过断层的影响, 并给出合理的工作面布设方案。很少有学者从综采面过断层时的开采效率以及开采的煤资源量进行研究, 本文根据采用破顶起底法与调整割煤高度法的综合方法对断层落差小于煤层厚度的工作面布设方式展开探讨, 研究过断层切割顶底板岩石量及煤资源剩余量与工作面布设之间的关系。

2. 切割顶底板岩石量与煤资源剩余量分析

工作面倾角调整时工作面穿过断层的调整方式为工作面推进至变坡点 1 处时改变工作面倾角, 起坡角为 θ , 调整割煤机采高至 h , 沿着此坡角持续推进, 当工作面切割至顶板达到变坡点 2 处时, 再改变切割方向, 岩煤层继续推进, 由此达到穿越断层的目的, 以下将两变坡点之间的工作面称为过渡采段。对于不同变坡起始位置, 其切割岩石体积与煤资源剩余量也不相同, 如图 1。

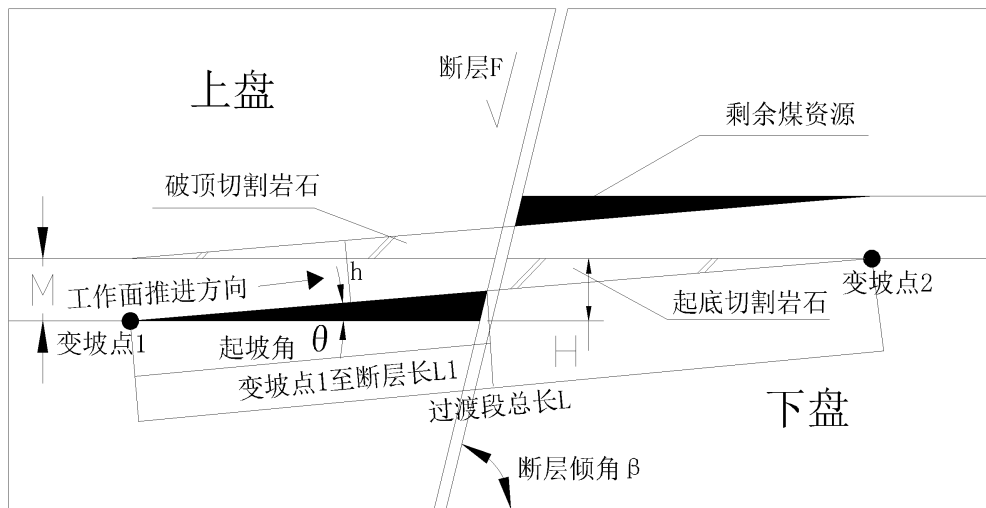


Figure 1. Schematic diagram of fully mechanized mining face crossing fault
图 1. 综采工作面过断层示意图

如图 1 所示，以一正断层为例，断层位置设计在过渡采段内，断层倾向与工作面推进方向相反，倾角 β ，工作面沿煤层全高 M 推进开采，到变坡点 1 时变换采高至 $h = M \cos \theta$ ，以坡角 θ 顺坡切割顶板至变坡点 2 再沿煤层开采，总长 L ，变坡点 1 至断层长 L_1 。同时，为保证工作面调整能穿过断层，综采工作面设计时应满足： $L - L_1 \geq \frac{M \sin \beta}{\sin(\beta - \theta)}$ 。

对应的切割断层上盘内顶板的岩石总长为：

$$L_{y1} = L_1 + \frac{M \sin \beta}{\sin(\beta - \theta)} \quad (1)$$

割煤机切割顶板岩石时的最大切割深度：

$$h_{y1\max} = \left(L_1 + \frac{M \sin \beta}{\sin(\beta - \theta)} \right) (\cos \theta - \sin \theta \cot \beta) \sin \theta \quad (2)$$

同样的，割煤机起底切割断层下盘内底板的岩石总长：

$$L_{y2} = L - L_1 \quad (3)$$

切割底板岩石的最大深度为：

$$h_{y2\max} = (L - L_1) (\cos \theta - \sin \theta \cot \beta) \sin \theta \quad (4)$$

根据上述式(1)、(2)、(3)、(4)，得出过渡采段内切割顶底板岩石总体积如下：

$$\begin{aligned} V_y &= \frac{B}{2} (L_{y1} h_{y1\max} + L_{y2} h_{y2\max}) \\ &= \frac{B}{2} \left(\left(L_1 + \frac{M \sin \beta}{\sin(\beta - \theta)} \right)^2 + (L - L_1)^2 \right) (\cos \theta - \sin \theta \cot \beta) \sin \theta \end{aligned} \quad (5)$$

式中， V_y 为切割岩石总体积； L 为过渡段变坡点 1 至变坡点 2 的距离； L_1 为变坡点 1 至断层的距离； H

为断层落差, $H \leq M$; B 为采宽; 过渡段内倾斜工作面的实际采高 $h = M \cos \theta$; β 为断层倾角, θ 为起坡角, 且 $\sin \theta = H/L$, $\theta \leq \beta$ 。

同理, 综采工作面过断层时, 顶底板会遗留部分剩余煤资源, 剩余煤资源量总体积如下:

$$V_m = \frac{B}{2} \left[L_1^2 + \left(L - L_1 - \frac{M \sin \beta}{\sin(\beta - \theta)} \right)^2 \right] (\cos \theta - \sin \theta \cot \beta) \sin \theta \quad (6)$$

式中, V_m 为剩余煤资源总体积; L 为过渡段变坡点 1 至变坡点 2 的距离; L_1 为变坡点 1 至断层的距离; H 为断层落差, $H \leq M$; B 为采宽; β 为断层倾角, θ 为起坡角, 且 $\sin \theta = H/L$, $\theta \leq \beta$ 。

3. 工作面调整起始位置与倾角分析

1) 工作面起始位置分析

根据上述分析, 对不同工作面调整的起始位置和坡角进行分析, 取工作面调整起始坡角 $\theta = 4^\circ$, 断层倾角 $\beta = 60^\circ$, 煤层厚度 $M = 5 \text{ m}$, 过渡段割煤高度 $h = M \cos \theta$, 断层落差 $H = 4 \text{ m}$, $L = H/\sin \theta = 57.3 \text{ m}$, 采区宽度取 $B = 100 \text{ m}$, 变坡点 1 位置距断层距离 L_1 分别取 5~50 m 进行分析。代入式(5)、式(6)中得出切割顶底板岩石量与煤资源剩余量, 如表 1。

Table 1. Rock cutting volume of roof and floor and remaining coal resources

表 1. 顶底板岩石切割量与煤资源剩余

L_1/m	5	10	20	25	30	35	40	45	50
破顶切割岩石量/ m^3	348.9	773.8	1365.5	2124.2	3049.8	4142.4	5401.9	6828.4	8421.8
起底切割岩石量/ m^3	9147.5	7483.4	5986.2	4655.9	3492.5	2496.1	1666.7	1004.2	508.6
切割岩石总体积/ m^3	9496.5	8257.1	7351.7	6780.1	6542.4	6638.6	7068.6	7832.6	8930.4
底板煤资源剩余/ m^3	83.5	333.9	751.2	1335.5	2086.8	3005.0	4090.1	5342.2	6761.2
顶板煤资源剩余/ m^3	7413.0	5923.2	4600.4	3444.5	2455.6	1633.6	978.5	490.4	169.2
煤资源剩余总量/ m^3	7496.5	6257.1	5351.7	4780.1	4542.4	4638.6	5068.6	5832.6	6930.4

由表 1 可知, 在起坡角相同的情况下, 即过渡段总长 L 为定值时, 工作面调整起始位置距断层距离 L_1 越大, 穿越断层切割顶板岩石量越大, 切割底板岩石量越小。同时, 煤资源剩余量顶板逐渐降低, 底板处剩余则逐渐增大。从切割顶底板岩石总量, 和煤资源剩余总量来看, 断层在设计综采工作面中间时, 即 $L_1 = 1/2L$ 时, 切割顶板岩石与底板岩石量最小, 最小量分别为 $6542.4 \text{ m}^3/100 \text{ m}$ 与 $4542.4 \text{ m}^3/100 \text{ m}$, 为直观分析工作面调整起始位置与切割顶底板岩石量和煤资源剩余量之间的关系, 导出顶底板岩石切割量与资源剩余曲线图, 如下图 2。

如图 2, 当工作面调整总长 $L = 57.3 \text{ m}$, $L_1 = 5 - 50 \text{ m}$ 时, 切割顶底板岩石总量与煤资源量剩余量曲线呈上凹形, 随着变坡点 1 距断层距离 L_1 的增大, 断层上盘内, 综采工作面切割顶板岩石量逐渐增大, 底板剩余煤资源量越大。断层下盘内, 综采工作面切割底板岩石量逐渐减少, 顶板煤资源量剩余越少。整体上看, 综采工作面穿越断层时, 切割岩石量越大, 对综采工作面推进速度影响越大, 同时会加剧截齿的磨损以及剩余煤资源量的增大。故而从开采煤资源量最大化、开采效率以及减少截齿磨损的角度上考虑, 综采工作面穿越断层时设应尽量保持在断层上下盘的开采长度一致, 即 $L_1 = 1/2L$ 。

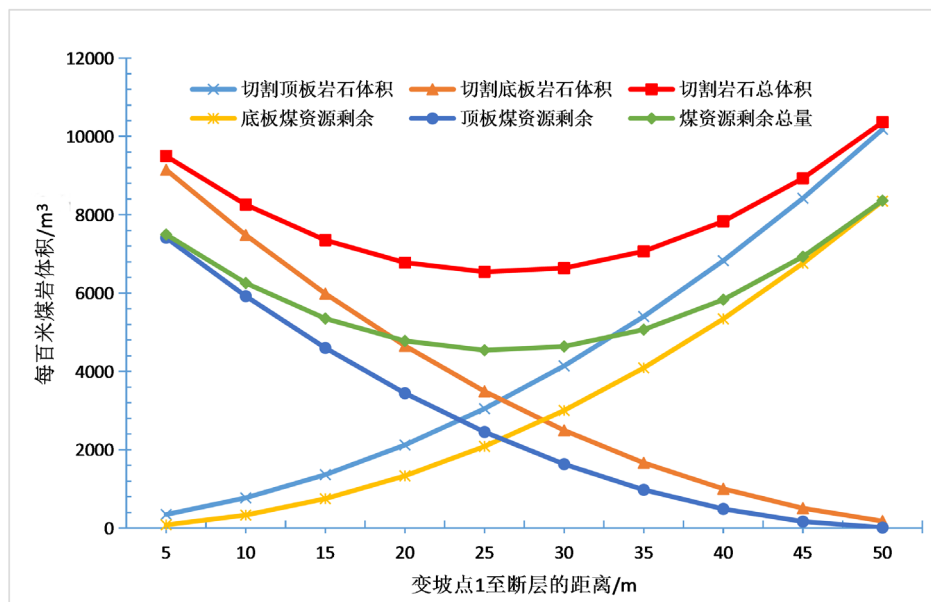


Figure 2. Rock cutting volume and resource remaining volume of roof and floor
图 2. 顶底板岩石切割量与资源剩余量

2) 工作面倾角分析

综采工作面穿越断层时，起坡角与断层落差决定了过渡采段总长，基于上述对工作面起始位置的分析，探讨过渡段工作面倾角对切割岩石量及煤资源量的影响。取断层倾角 $\beta = 60^\circ$ ，煤层厚度 $M = 5\text{ m}$ ，断层落差 $H = 4\text{ m}$ ，采区宽度取 $B = 100\text{ m}$ ，工作面倾角(起坡角) $\theta = 3^\circ - 15^\circ$ ，过渡段总长 $L = H/\sin\theta$ ，变坡点 1 至断层距离 $L_1 = 1/2L$ 。同上得出切割顶底板岩石量以及煤资源剩余量，如下表 2 及图 3。

由表 2 和图 3 可知随着工作面起坡角(倾角)增大，切割顶底板岩石量及煤资源量逐渐降低，但当起坡角小于 3° 时，工作面穿越断层需要切割的顶底板岩石量以及煤资源剩余过大，说明工作面起坡角小于 3° 时，坡角变化引起的切割岩石量变化过大，故而起坡角设计角度不应小于 3° 。同时，当起坡角达到 9° 以上时，工作面穿越断层切割顶底板岩石总量随坡度增加逐渐趋于稳定，这说明当起坡角大于 9° 时增加起坡角对工作面推进以及煤资源量的开采影响逐渐降低。同时，考虑到起坡角的增大会使工作面推进难度增大，且在综采工作面设计时要求在工作面倾角大于 15° 时，割煤机液压支架必须采取放倒、防滑措施，这无疑会给井下工作面施工带来额外的工作任务，同时会对工作面推进效率产生影响以及额外的人力、物力消耗，故而综采工作面设计时，起坡角应控制在 3° 至 9° 。

Table 2. The amount of cut rock and the remaining coal resources at different working face inclination
表 2. 不同工作面倾角的切割岩石量与煤资源剩余

工作面倾角 $\theta/^\circ$	1	2	3	6	9	12	15
破顶切割岩石量/ m^3	12,364.6	6656.3	4768.3	2927.3	2365.2	2128.3	2027.2
起底切割岩石量/ m^3	11,342.5	5611.8	3700.8	1787.4	1147.3	825.5	630.9
切割岩石总体积/ m^3	23,707.1	12,268.1	8469.1	4714.7	3512.5	2953.8	2658.1
底板煤资源剩余/ m^3	11,342.5	5611.8	3700.8	1787.4	1147.3	825.5	630.9
顶板煤资源剩余/ m^3	10,364.6	4656.3	2768.3	927.3	365.2	128.3	27.2
煤资源剩余总量/ m^3	21,707.1	10,268.1	6469.1	2714.7	1512.5	953.8	658.1

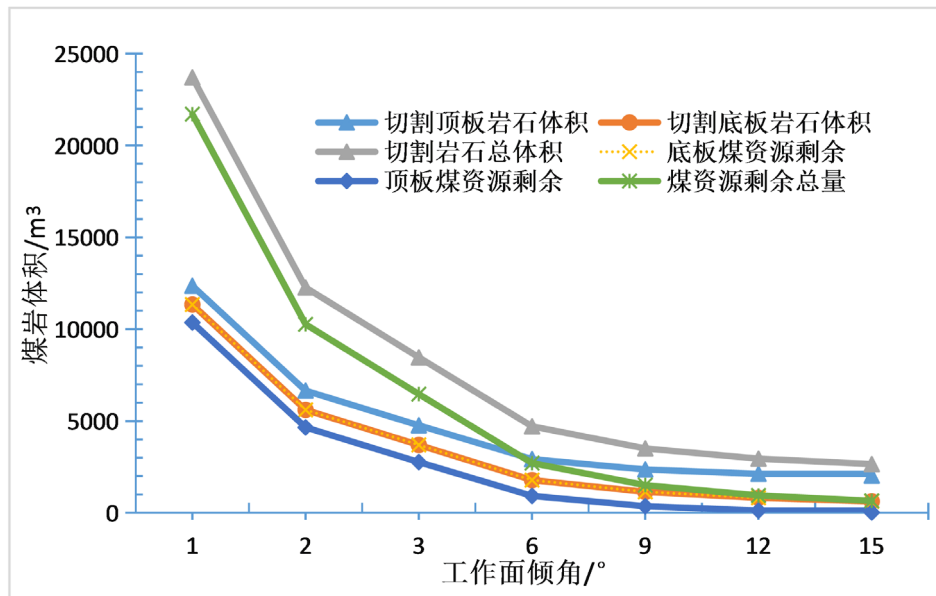


Figure 3. Rock cutting volume of roof and floor and remaining coal resources
图3. 顶底板岩石切割量与煤资源剩余量

4. 结论与建议

本文通过综采工作面过断层的方法，对综采工作面过断层时的切割顶底板岩石量和煤资源剩余量进行探讨，并给出了两者总量以及切割顶底板岩石总长和最大切割深度的计算公式，并由此讨论不同工作面调整起始位置及起坡角对切割顶底板岩石及煤资源剩余的影响，得出以下结论。

1) 通过对工作面调整的起始位置分析，得出随断层上盘采长 L_1 的增大，工作面穿越断层需切割上盘顶板岩石量逐渐增大，底板剩余煤资源量越大；穿越断层需切割下盘底板岩石量逐渐减少，顶板煤资源量剩余越少。当断层上下盘的开采长度一致，即 $L_1 = 1/2L$ 时，穿越断层需要切割的顶底板岩石总量越少，且剩余煤资源总量也越少，可有效提高开采效率和煤资源开采量以及减少截齿磨损。

2) 通过对工作面倾角分析，得出：当工作面倾角(起坡角)小于 3° 时的角度变化引起的切割岩石量以及煤资源剩余量变化过大，影响工作面开采效率；当倾角大于 9° 时，增大坡度的开采效率提升不明显，且工作面设计倾角过大会产生额外的人力物力投入；当起坡角在 3° 至 9° 内时，随着工作面倾角的增大，穿越断层切割的顶底板岩石总量以及煤资源剩余量越少，且不会造成额外人力物力的投入。

综合以上对综采工作面起始位置与起坡角(倾角)的分析，对工作面布置提出两点建议：

1) 工作面过断层时，应尽量保证断层位置在布置工作面中间位置，可有效减少切割顶底板岩石以及最大程度开采煤资源；

2) 工作面倾角的设计范围应在 3° 至 9° 内，并在符合施工规定的条件下适当增大工作面倾角，可有效减少切割岩石量及截齿磨损，并最大程度提高开采的煤资源量。

参考文献

- [1] 郭守泉, 彭永伟. 综采工作面过断层技术综述[J]. 煤矿开采, 2008, 13(4): 30-31.
- [2] 丛新宇. 采煤工作面过地质构造的技术措施[J]. 黑龙江科学, 2018, 9(16): 74-75.
- [3] 胡雪墩. 采煤工作面过断层技术分析[J]. 陕西煤炭, 2018, 37(4): 169-170.
- [4] 赵耀. 大采高综采工作面过断层技术研究[J]. 能源与节能, 2017(10): 159-160+184.

-
- [5] 邵洪兴. 回采工作面过断层技术及实践研究[J]. 山东工业技术, 2017(12): 132.
- [6] 王艳文. 煤矿井下采煤工作面过断层技术的探讨[J]. 煤, 2017, 26(5): 87-88.
- [7] 高佳永. 煤矿井下采煤工作面过断层技术措施研究[J]. 中国新技术新产品, 2017(3): 47-48.
- [8] 霍耀晶. 采煤工作面过断层技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(7): 199-200.
- [9] 宋来武. 回采工作面过断层技术与实践[J]. 中州煤炭, 2015(8): 89-90+108.
- [10] 周明杰, 唐杰伟, 吴绍贵, 周明非. 综采工作面安全过断层技术在实践中的应用[J]. 西部探矿工程, 2013, 25(3): 144-146.
- [11] 李默然, 周连春. 综采面过断层工艺与 FLAC 模拟分析[J]. 中国矿山工程, 2016, 45(3): 41-45.
- [12] 徐白杨, 郭昌放, 杨真, 周宏伟. 基于电磁波 CT 三维技术探测工作面异常构造[J]. 中国煤炭, 2016, 42(10): 23-27.
- [13] 陈卫, 余芳芳, 魏中举, 刘富奎. 基于相似模拟试验的采煤工作面过断层研究[J]. 煤, 2016, 25(9): 5-6+29.
- [14] 高晓岗. 回采工作面隐伏构造综合探测技术应用[J]. 能源技术与管理, 2017, 42(4): 166-167.
- [15] 关金锋. 采煤工作面小构造探测及动态分析方法研究[D]: [博士学位论文]. 焦作: 河南理工大学, 2016.