

# 特厚煤层综放工作面区段煤柱合理宽度研究

兰奕文

(同煤大唐塔山煤矿有限公司, 山西 大同 037000)

**摘要:** 针对塔山矿特厚煤层综放工作面与回采巷道对头施工过程中面临的区段煤柱合理宽度留设、回采动压影响范围确定等问题, 采用理论分析、数值模拟及现场应力实测等手段对特厚煤层综放采场覆岩断裂结构、区段煤柱应力分布及区段煤柱合理宽度进行研究。采空区一侧煤体应力, 应力剧烈影响范围 30 ~ 35 m。煤柱应力现场实测表明, 相邻工作面回采期间应力沿煤柱宽度大致呈单峰型、非对称分布, 应力高峰区距 8210 回风巷 21 ~ 30 m、距 8208 采空区 8 ~ 17 m, 采空区顶板运动稳定滞后距离 120 ~ 130 m。结果表明, 塔山矿特厚煤层综放面对头施工条件下留设 38 m 煤柱是安全的, 从煤柱应力分布角度分析煤柱宽度可减小至 30 ~ 32 m。

**关键词:** 特厚煤层; 对头施工; 区段煤柱; 煤柱宽度; 应力分布

**中图分类号:** TD322.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2014)12-0012-04

## Study on Rational Width of Sectional Coal Pillar Applied to Fully - Mechanized Top Coal Caving Mining Face in Ultra Thick Seam

LAN Yi - wen

(Datong Coal and Datong Tashan Mine Company Limited, Datong 037000, China)

**Abstract:** According to the sectional coal pillar rational width applied, mining dynamic influence scope determination and other problems occurred in a face to face construction process of fully - mechanized top coal caving mining face and a mining gateway in ultra thick seam of Tashan Mine, the theoretical analysis, numerical simulation, site stress measurement and other means were applied to study the breaking structure of an overburden strata, stress distribution of the sectional coal pillar and rational width of the sectional coal pillar. The stress in one side of the coal seam in the goaf had a serious influence scope of 30 ~ 35 m. The site measurement of the coal pillar stress showed during a mining period of an adjacent coal mining face, along the coal pillar width, the stress was in a unimodal asymmetric distribution, stress peak zone had a distance of 21 ~ 30 m to No. 8210 air returning gateway and had a distance of 8 ~ 17 m to No. 8208 goaf and the roof movement in the goaf was stabilized with a delay distance of over 120 ~ 130 m. The study results showed that under the condition of the face to face construction of the fully - mechanized top coal caving mining face in ultra thick seam of Tashan Mine, the coal pillar with a set width of 38 m was safety and the coal pillar width could be reduced to 30 ~ 32 m from a view of the coal pillar stress distribution.

**Key words:** ultra thick seam; face to face construction; sectional coal pillar; coal pillar width; stress distribution

## 0 引 言

综放工作面区段煤柱宽度留设是否合理是工作面安全高效回采的关键因素, 文献[1-3]对常规综放开采过程中沿空掘巷小煤柱应力分布规律、宽度及巷道的围岩控制技术进行了研究, 文献[4-7]探讨了工作面跨巷道开采、近距离煤层群开采及刀柱

式开采过程中矿压显现机理、煤柱的合理布置及支护技术; 文献[8-10]则对倾斜煤层区段煤柱的应力及留设宽度进行了分析。然而上述区段煤柱的研究大都集中在中厚煤层或厚煤层开采工作面, 对特厚煤层开采及工作面与回采巷道对头施工过程中的区段煤柱的留设鲜有涉及。特厚煤层综放开采由于煤层一次采高增大, 开采对直接顶和基本顶的扰动

收稿日期: 2014-06-17; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2014.12.004

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51004068)

作者简介: 兰奕文(1972—), 男, 山西大同人, 高级工程师, 硕士, 现任同煤大唐塔山煤矿有限公司总经理。

引用格式: 兰奕文. 特厚煤层综放工作面区段煤柱合理宽度研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(12): 12-15.

LAN Yi - wen. Study on Rational Width of Sectional Coal Pillar Applied to Fully - Mechanized Top Coal Caving Mining Face in Ultra Thick Seam [J]. Coal Science and Technology 2014, 42(12): 12-15.

范围明显增大,使得工作面矿压显现较为异常<sup>[11]</sup>,针对特厚煤层开采过程中遇到问题,许多学者进行了研究<sup>[12-15]</sup>。文献[16-18]分别应用数值模拟、现场观测及相似材料物理实验的方法研究了特厚煤层综放开采过程中顶板垮落特征;文献[19-20]采用数值模拟计算及理论分析方法,研究了不同机采高度对支架工作阻力、顶煤冒放规律、煤壁稳定性的影响。塔山煤矿主采煤层为 3 号、5 号煤层合并煤层(3-5 号煤层),平均煤厚约 20 m,采用一次采全高综放采煤法。由于矿井接续和超大工作面高产高效需要等原因,沿空侧巷道采用对头施工方式,回采巷道先后经受相邻工作面的一次采动和本工作面的二次采动影响。在此特殊地质及生产条件下,如何合理确定护巷煤柱宽度,防止巷道冲击地压及冒顶事故,是生产现场亟需研究解决的重大问题。基于此,笔者以塔山煤矿 8208 和 8210 特厚煤层综放工作面为研究对象,根据煤层及顶板结构特征建立特厚煤层综放采场覆岩断裂结构模型,应用离散元数值模拟及现场煤柱应力实测等方法,研究煤柱应力分布规律,确定合理的煤柱宽度。

## 1 工作面概况

8208 综放工作面西南部与 8210 工作面相邻,北部为 F13810 断层,上覆侏罗系 14 号煤层采空区,中东部为 14 号煤层古窑采空区。根据 8208 和 8210 工作面地面勘探钻孔及井下探顶钻孔资料分析,3-5 号煤层直接顶厚 10.05~19.83 m,平均 14.15 m,岩浆岩、炭质泥岩、泥岩、硅化煤交替赋存,岩浆岩为半晶质结构,炭质泥岩、泥岩大多为平坦状断口。基本顶厚 11.06~28.94 m,平均 18.84 m。细砂岩、中粒砂岩、粗砂岩、粉砂岩、砂质泥岩交替赋存,成分以石英为主,长石及暗色矿物次之,胶结致密,岩心较硬。

## 2 采场覆岩结构模型

8208 工作面平均煤厚 20 m,割煤高度 3.5 m,平均放煤厚度 16.5 m,顶煤放出率按 80% 计算,实际采出煤层厚度 16.7 m,则直接顶垮落厚度(断裂后不能形成自承载结构的范围)估算为 51.13 m,对照煤层柱状图,实际冒落顶板厚度取 50 m,其上部顶板将形成基本顶。因此基本顶的下部未充满空间高度为 1.13 m。根据经验参数,基本顶的位置一般在 6~8 倍采高的范围内,对照柱状图可确定基本顶

厚度及结构:下位基本顶厚 25 m、断块大小 20 m,上位基本顶厚 75 m、断块大小 40 m。基本顶断裂线深入煤壁约 10 m 断裂。根据上述参数,即可得到完整的覆岩结构图(图 1)。

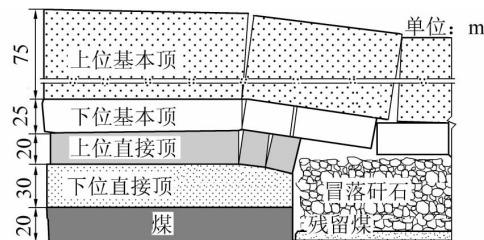


图 1 特厚煤层综放工作面覆岩结构示意图

## 3 工作面煤体支承压力分布规律分析

### 3.1 数值模型的建立

根据图 1 的覆岩结构模型,建立 UDEC 离散元的数值计算模型。模型尺寸 200 m×240 m,8208 工作面煤层埋深 470 m,模型上部加载载荷为 5.75 MPa,块体取 Mohr-Coulomb 塑性模型,节理取库仑滑动模型,煤岩体物理力学参数见表 1。

表 1 煤岩体物理力学参数

岩层	容重/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	体积模 量/GPa	剪切模 量/GPa	抗拉强 度/MPa	黏聚力/ MPa	内摩擦 角/(°)
粉砂岩	25	4.50	1.60	2.3	7.5	30
煤	22	5.60	4.17	1.2	1.2	38
砂岩	23	10.80	1.60	2.0	11.0	25
采空区矸石	18	0.23	0.04	2.3	7.5	30

为模拟采空区顶板冒落情况,将直接顶及采高范围内煤岩层设为冒落矸石,块体大小 1 m×1 m。上位及下位基本顶块体大小根据实测来压步距估算。模拟时考虑以下因素:①采空区冒落矸石的密实度(采用粉砂岩弹性模量  $E$  表示)对工作面煤体上方 3.5 m 高度范围的垂直应力分布规律的影响;②基本顶下部未充满空间的高度对工作面煤体上方 3.5 m 高度范围的垂直应力分布规律的影响。

### 3.2 数值模拟结果分析

1) 采空区冒落矸石的密实度对工作面煤体上方 3.5 m 高度范围的垂直应力分布规律的影响。密实度对煤体支承压力分布规律影响曲线如图 2 所示,由图 2 可知,采空区冒落矸石密实度(变形模量)变化时,煤体上支承压力分布规律,采空区块体刚度较小(取  $E/40$ )时,垂直应力峰值距煤壁 20~25 m,应力最大值为 22 MPa;采空区块体刚度较大时(取  $E/20$ ),垂直应力峰值距煤壁 16 m 左右,最大值为 27 MPa。

即采空区矸石密实度较小时,应力峰值距离煤壁较远、而压力峰值较小;采空区矸石密实度较大时,压力峰值距离煤壁较小、而压力峰值较大。

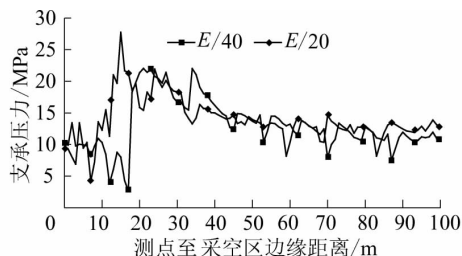


图2 密实度对煤体垂直应力分布规律影响曲线

2) 基本顶下部未充满空间的高度对工作面煤体上方3.5 m高度范围的垂直应力分布规律的影响。未充满空间对煤体垂直应力分布规律影响曲线如图3所示,由图3可知,未充满空间高度1 m时,垂直应力峰值距煤壁18~24 m,最大值21 MPa。未充满空间高度为2 m时,垂直应力峰值距煤壁18~26 m,最大值22 MPa。未充满空间3 m时,垂直应力峰值距煤壁27 m,最大值24 MPa。即未充满空间越大,垂直应力峰值越大,峰值距煤壁的距离越大。

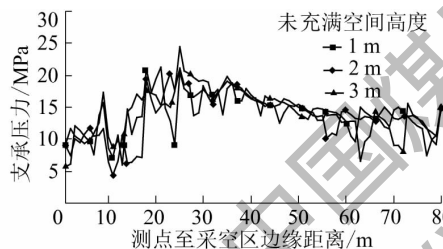


图3 未充满空间对煤体垂直应力分布规律影响曲线

此外,模拟结果还表明,由于一次采出煤层高度较大,致使冒落顶板高度达40~50 m。因此,冒落矸石压实量大、基本顶回转下沉量大,采空区一侧煤体上的应力峰值一般位于煤厚高度的中部局域,而应力峰值距煤壁的距离呈“下部大、上部小”的特点,在高3.5 m处(与巷道高度相当),应力峰值距煤壁距离16~25 m,剧烈影响范围30~35 m,一般影响范围达35~50 m。模拟结果反映的是8208工作面回采结束后8210工作面一侧煤体上的垂直应力分布规律。实际上,8210工作面回风巷采用“相向施工”布置,因而上顶板沉降及应力分布变化过程将发生在8210工作面回风巷掘进之时或掘进之后,此时巷道及其支护上述采动过程影响,因此在这种情况下,巷道只能布置在应力及位移剧烈影响范围以外区域。8210工作面回风巷煤柱宽度取35~40 m较为合理。

#### 4 8208 工作面煤柱应力实测分析

根据上述数值模拟结果,8208工作面回采期间留设38 m煤柱掘进8210工作面回风巷。通过现场实测,获得了8208工作面回采期间煤柱内的应力分布规律,以验证煤柱宽度的合理性。

1) 煤柱应力测点布置。在8210回风巷掘进工作面内的煤柱侧布置了9个钻孔,钻孔深度分别为3、6、9、12、15、18、21、25、30 m,各钻孔间距2 m左右。钻孔施工时采用大功率地质钻机,配直径55 mm钻头,钻孔直径56 mm左右,钻孔水平布置或以尽可能小的仰角钻进,安装大直径煤体应力计,采用在线监测系统,对8208工作面回采过程中煤柱应力进行连续监测。

2) 观测结果分析。取各应力测点的最大值,得到应力沿煤柱宽度分布规律,如图4所示;以各测点中应力最大的点为准得到应力随工作面推进距离变化曲线,如图5所示。

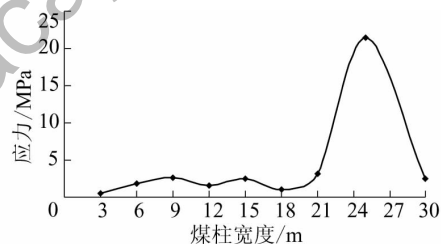


图4 应力沿煤柱宽度分布规律

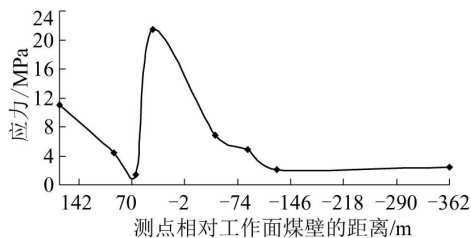


图5 应力随工作面推进距离变化曲线

由图4可知,相邻工作面回采期间应力沿煤柱宽度分布规律大致为单峰型、非对称分布,应力高峰区距8210回风巷21~30 m,距离8208采空区8~17 m;由图5可知,相邻工作面回采期间煤柱应力在相邻工作面前方70 m开始迅速上升,在前方40 m附近达到峰值,然后逐渐降低,在工作面后方120 m附近降到最低,之后又开始缓慢上升。在这样一种特殊的施工方法下留设38 m煤柱,能够较好地避开8208工作面的采动应力的影响,8208采空区顶板运动稳定滞后距离为120~130 m,滞后稳定时间至少1个月。从应力观测结果可知,留设38 m的煤柱进

行 8210 工作面回风巷的掘进是可行的,且可进一步将煤柱宽度减少至 30 ~ 32 m。

## 5 结 论

1) 数值模拟表明塔山矿 8208 工作面采空区一侧煤体应力峰值距煤壁距离 16 ~ 25 m, 剧烈影响范围 30 ~ 35 m, 一般影响范围达 35 ~ 50 m。

2) 塔山矿 8208 工作面回采期间, 煤柱应力峰值距离 8210 巷一侧 25 m 左右, 距 8208 工作面一侧 13 m 左右, 与数值模拟的 16 ~ 25 m 基本一致, 说明留设 38 m 煤柱, 能使 8210 巷有效地避开 8208 工作面的动压影响。

3) 相邻工作面回采期间, 应力沿煤柱宽度大致呈单峰型、非对称分布, 采空区顶板运动稳定滞后距离在 120 ~ 130 m, 稳定滞后时间至少 1 个月。

4) 从安全考虑, 对头施工时留设 38 m 煤柱是可行的; 从煤柱应力分布规律角度分析, 煤柱宽度可进一步减少至 30 ~ 32 m。

### 参考文献:

- [1] 郑西贵, 姚志刚, 张 农. 掘采全过程沿空掘巷小煤柱应力分布研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(4): 459 - 465.
- [2] 张科学, 姜耀东, 张正斌, 等. 大煤柱内沿空掘巷巷煤柱合理宽度的确定[J]. 采矿与安全工程学报, 2014, 31(2): 255 - 262.
- [3] 李 磊, 柏建彪, 王襄禹. 综放沿空掘巷合理位置及控制技术[J]. 煤炭学报, 2012, 37(9): 1564 - 1569.
- [4] 潘卫东, 刘家敦, 魏立科. 工作面跨巷道开采的安全岩柱厚度与加强支护技术[J]. 煤炭学报, 2013, 38(4): 580 - 586.
- [5] 索永录, 商铁林, 郑 勇, 等. 极近距离煤层群下层煤工作面巷道合理布置位置数值模拟[J]. 煤炭学报, 2013, 38(S1): 277 - 282.
- [6] 于 斌, 刘长友, 杨敬轩, 等. 大同矿区双系煤层开采煤柱影响

下的强矿压显现机理[J]. 煤炭学报, 2014, 39(1): 40 - 46.

- [7] 屠洪盛, 屠世浩, 袁 永, 等. 厚煤层刀柱采空区集中应力影响范围理论判据研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(8): 1345 - 1351.
- [8] 王志强, 陈超凡, 王 磊, 等. 倾斜煤层防水煤柱尺寸留设的技术优化研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(5): 735 - 738.
- [9] 李小军, 李怀珍, 袁瑞甫. 倾角变化对回采工作面区段煤柱应力分布的影响[J]. 煤炭学报, 2012, 37(8): 1270 - 1274.
- [10] 王宁波, 张 农, 崔 峰, 等. 急倾斜特厚煤层综放工作面采场运移与巷道围岩破裂特征[J]. 煤炭学报, 2013, 38(8): 1312 - 1318.
- [11] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [12] 韩玉林. 松软煤层综放开采护巷煤柱合理宽度研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(9): 5 - 8.
- [13] 鲍永生. 复杂特厚煤层综放工作面煤柱应力分布规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(3): 21 - 24.
- [14] 汤 力. 浅埋深中厚煤层综采工作面煤柱宽度优化研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(10): 17 - 21.
- [15] 伍永平, 高喜才, 解盘石, 等. 坚硬特厚煤层顶分层综采工作面支承压力分布特征研究[J]. 矿业安全与环保, 2010, 37(4): 8 - 10.
- [16] 王吉生, 柴肇云, 康天合, 等. 综放全厚开采 20m 特厚中硬煤层数值模拟研究[J]. 太原理工大学学报, 2007, 38(2): 175 - 179.
- [17] 段王拴, 高喜才, 窦 娟. 坚硬特厚煤层综放工作面覆岩破坏运动规律[J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(2): 211 - 214.
- [18] 康天合, 柴肇云, 李义宝, 等. 底层大采高综放全厚开采 20m 特厚中硬煤层的物理模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 24(5): 1065 - 1072.
- [19] 王国法, 庞义辉, 刘俊峰. 特厚煤层大采高综放开采机采高度的确定与影响[J]. 煤炭学报, 2012, 37(11): 1777 - 1782.
- [20] 刘锦荣. 特厚煤层综放采场直接顶关键层及支架适应性[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(6): 1 - 4.

(上接第 11 页)

### 参考文献:

- [1] 孙春东, 杨本生, 刘 超. 1.0m 极近距离煤层联合开采矿压规律[J]. 煤炭学报, 2011, 36(9): 1423 - 1428.
- [2] 王路军, 朱卫兵, 许家林, 等. 浅埋深极近距离煤层工作面矿压显现规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(3): 47 - 50.
- [3] 薛吉胜, 范志忠, 黄志增. 极近距离煤层采空区下工作面两巷合理位置确定[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(4): 37 - 41.
- [4] 朱润生. 极近距离煤层回采巷道合理位置确定与支护技术[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(4): 10 - 13.
- [5] 董 宇, 谢文兵, 荆升国, 等. 近距离煤层采空区下回采巷道高强度稳定型支护技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(2): 19 - 23.
- [6] 朱 涛, 张百胜, 冯国瑞, 等. 极近距离煤层下层煤采场顶板结构与控制[J]. 煤炭学报, 2010, 35(2): 190 - 193.

- [7] 廖学东, 黄 飞, 何廷峻. 近距离煤层群上行开采相似材料模拟试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(2): 16 - 23.
- [8] 沈荣喜, 王恩元, 刘贞堂, 等. 近距离下保护层开采防冲机理及技术研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(S0): 63 - 67.
- [9] 张小康, 何 峰. 近距离下煤层综采工作面侧向支承压力分布研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(6): 37 - 40.
- [10] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 99 - 103.
- [11] 侯多茂. 近距离煤层开采时矿压显现规律[J]. 煤矿开采, 2007, 12(6): 71 - 74.
- [12] 侯朝炯, 郭励生, 勾攀峰. 煤巷锚杆支护[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999: 149 - 153.
- [13] 宋振骥. 实用矿山压力控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992: 270 - 274.
- [14] 李通林. 矿山岩石力学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1991.