

文章编号: 1673-3363-(2013)01-0063-05

近距煤层群上行开采技术研究

张宏伟¹, 韩军¹, 海立鑫², 李明³, 乔鸿波⁴

(1. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 阜矿集团内蒙古白音华能源公司, 内蒙古 锡林郭勒 026200; 3. 中煤国际北京华宇西安分公司, 陕西 西安 710060; 4. 内蒙古国电能源投资有限公司产业开发分公司, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要 针对阜新矿区清河门矿近距离煤层群实施上行开采的技术条件(采动影响系数2.7), 综合应用理论分析、数值计算、相似材料模拟和现场探查等方法, 对3-2煤采后3-3煤的连续性和完整性进行了研究, 确定了下煤层开采后上煤层的结构变化特征, 在此基础上确定了3-3煤上行开采巷道布置方案。实践表明, 当上煤层位于下煤层开采的垮落带上方时, 上煤层及其顶底板整体性遭到一定的破坏, 但仍能保持连续性, 随着下煤层开采后时间的流逝, 煤层中形成的裂隙和断裂逐步“愈合”, 煤层的整体性得到改善, 满足了开采所需的条件。

关键词 近距煤层群; 上行开采; 采动影响系数; 现场探测

中图分类号 TD 325

文献标志码 A

Study on closed multiple-seam in the ascending mining technology

ZHANG Hong-wei¹, HAN Jun¹, HAI Li-xin², LI Ming³, QIAO Hong-bo⁴

(1. College of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China; 2. Inner Mongolia Baiyinhua Energy Co., Ltd, Fuxin Mining Group, Xilingol, Inner Mongolia 026200, China; 3. Branch of Xi'an, Beijing Huayu Engineering Ltd of Sinocoal International Engineering Group, Xi'an, Shaanxi 710060, China; 4. Branch of Industry Development, Inner Mongolia Guodian Energy Investment Co. Ltd, Huhhot, Inner Mongolia 010020, China)

Abstract The research concerns the closed multiple seam ascending mining technology (mining induced influenced coefficient 2.7) of Qinghemen coal mine, Fuxin mining area. Theoretical analysis, numerical calculation, similar material simulating experiment and on-site exploration are applied comprehensively in the integrity and continuity of 3-3 coal seam after the 3-2 coal seam mined. Based on the stress state and structure variation of 3-3 coal seam, the roadway layout is designed. The 3-3 coal seam mining practice indicates that when the above coal seam lied on the caving zone of low coal seam, the integrity of the above coal seam could still maintain continuity and integrity, because the formation of cracks and fracture could gradually “healed”, which improved the integrity of coal to meet the conditions necessary for mining.

Key words closed multiple seam; ascending mining; mining induced influenced coefficient; on-site exploration

收稿日期: 2011-11-11

基金项目: 辽宁省教育厅科技研究项目(2009S047)

作者简介: 张宏伟(1957-), 男, 黑龙江省汤原县人, 博士, 教授, 从事矿山压力与岩层稳定性控制方面的研究。

E-mail: kyzhw@263.net

Tel: 0418-3350473

很多矿区或矿井因地质勘探不详、开采技术条件等原因,在其采空区上方都遗留了一定数量的可采煤层。随着煤炭资源越来越紧张,如何安全、高效地回收上部遗留的煤炭资源,成为相当多的煤炭企业所面临的问题。上行开采为解决上述搁置煤炭资源的回收提供了技术途径,同时还有利于改善采场的稳定性及减轻或避免开采过程中的动力显现^[1-2]。上行开采的可行性及其技术体系受到多种因素的影响,不合理的上行开采将会给生产带来极大的困难,如易发生工作面顶板垮落、底板局部坍塌等事故,同时还会引发上层煤的瓦斯与有害气体的增加,自然发火过程加速等通风、火灾事故等。

阜新矿区清河门煤矿 231 采区主要开采沙海含煤地层中的三煤组,三煤组从上至下依次为 3-5 煤、3-3 煤、3-2 煤,倾角 4°~7°。由于地质勘探不详,3-3 煤未被列入可采,2001~2005 年开采了 3-2 煤(采高为 3 m),2005~2007 年开采了 3-5 煤(采高为 1.5 m),2007 年经生产地质勘探表明 3-3 煤最小厚度 1.4 m,平均厚 2.1 m,具有很好的开采价值,因此,必须考虑 3-3 煤回收问题。但由于下部 3-2 煤采高为 3 m,而 3-3 煤与 3-2 煤间距仅为 8~16.7 m,尽管国内外对近距离煤层群上行开采开展了大量的研究工作和工程实践^[3-9],但如此小的层间距与下层采高比的上行开采未见报道。为了充分回收煤炭资源,综合应用理论分析、数值计算、相似材料模拟和现场探查相结合的方法对此项上行开采进行研究,研究成果将为近距离煤层群上行安全开采提供依据,为类似条件下的上行开采提供借鉴。

1 上行开采可行性判别

上行开采可行性判别方法包括比值法、“三带”判别法和围岩平衡法等^[10]。比值法认为当下部开采单一煤层时,采动影响倍数 K (上下煤的层间距 H 与下煤层的采高 M 之比)的下限值为 5.5^[2],231 采区 3-2 煤采动影响 K 为 2.7~5.6,平均值为 4.1,因此,3-3 煤不能进行上行开采。“三带”判别法认为当上下煤层的层间距小于或等于下煤层的垮落带高度时,上煤层整体性将遭到严重破坏,无法进行上行开采;当上下煤层间距小于或等于裂隙带高度时,上煤层整体性只发生中等程度的破坏,采取一定安全措施后可正常进行上行开采^[1]。根据“三带”计算方法^[11],3-2 煤 N_3 面开采后的垮落带高为 (9.1±2.2) m,裂隙带高度为(35.7±5.6) m,因此,对于 3-3 煤在层间距较小的区域,其上行开采的可行

性还有待进一步分析。平衡围岩法指出上行开采需要满足必要的层间距 H , H 可按式估算^[12]:

$$H=M/(K_I-1)+h$$

式中: H 为下煤层采高, m; K_I 为岩石碎胀系数,按照文献^[14]取值; h 为平衡岩层本身厚度,按岩(煤)层柱状图确定。

根据 3-3 煤上覆岩层的岩性特征,顶板上方厚 9.6 m 的中粗砂岩可以作为平衡岩层,计算得到 $H=24.6$ m。故 3-3 煤不满足上行开采的要求。

由于上行开采影响因素众多且相互之间关系复杂,上述判别法普遍较保守^[13-14],因此对 3-3 煤上行开采的可行性还需进一步研究。

2 近距煤层群上行开采数值分析

2.1 计算方法和模型

采用 FLAC5.0 岩土数值计算软件对 3-2 煤和 3-5 煤开采后,3-3 煤及其围岩的应力状态和变形特征进行分析。计算模型范围为 250 m×100 m,共建立 25 000 个单元网格,25 351 个节点,模型包括 3-3 煤、3-2 煤 N_3 面、3-5 煤层 N_3 面,见图 1。煤岩体物理力学参数如表 1 所示。

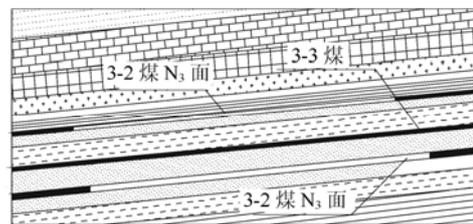


图 1 3-3 煤上行开采数值计算模型

Fig.1 Numerical calculation model of 3-3 coal seam

表 1 模型各煤岩层的物理力学参数

Table 1 Physical and mechanics parameter of model

岩性	抗拉强度/ MPa	内聚力/ MPa	内摩擦 角/(°)	弹性模量/ 10 ³ MPa	泊松比
粉砂岩	3.59	4.5	46	12.1	0.17
细砂岩	6.32	11.5	57	37.5	0.17
粗砂岩	2.3	4.8	50	30.0	0.21
煤 层	0.45	0.91	48	1.5	0.25
泥 岩	1.1	2.3	47	2.3	0.20

2.2 数值计算结果分析

当 3-2, 3-5 煤 N_3 面回采后,采空区应力分布见图 2,在 3-2 煤 N_3 面采空区边界处出现应力集中,应力在 30~40 MPa 之间,采空区中部应力约 20 MPa 左右。受 3-2 工作面采空区的影响,3-5 煤 N_3 面采空区应力集中不明显,应力较小,采空区边界处应

力小于 10 MPa，采空区上方应力为 10~20 MPa。由于下部 3-2 煤的开采，3-3 煤部分区域处于应力降低区(卸压区)，部分处于应力升高区。在进行工作面设计的时候需要考虑两巷应力状态，尽量使两巷处于应力降低区内(图 2)。

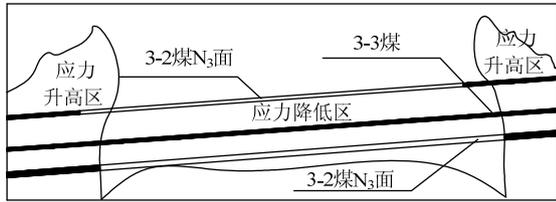


图 2 3-2 煤开采后 3-3 煤应力状态
Fig.2 The stress zone of 3-3 coal seam after 3-2 coal seam mined

3-2 煤开采后 3-3 煤下沉量和倾角变化，如图 3 所示。3-3 煤受下部开采影响，采空区对应部位下沉量为 2.0~2.5 m。在 3-2 煤 N₃面上巷内侧 10 m 范围内，3-3 煤倾角变化较大，达到了 10°，下巷上方煤层倾角则较小。因此，在进行 3-3 煤工作面回采巷道布置设计时，需要考虑煤层倾角变化的影响，其一是倾角变化较大带来的破顶或破底开采，其二是煤层的完整性破坏较为严重所带来的巷道稳定性问题。因此，根据数值计算结果，建议 3-3 煤 N₃面上巷较 3-2 煤 N₃面上巷内错 9 m，下巷内错 19 m。

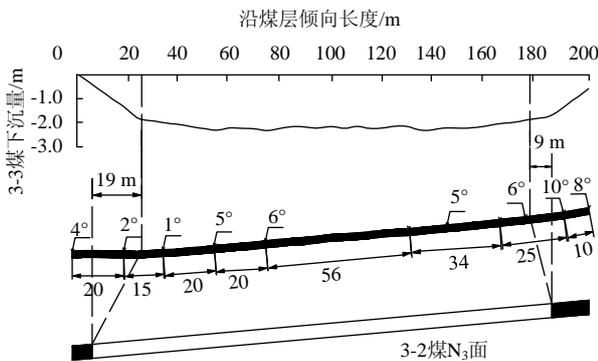


图 3 3-3 煤下沉量和倾角变化情况
Fig.3 Subsidence and dip alteration of 3-3 coal seam

3 上行开采相似材料模拟

根据 231 采区上行开采的实际情况，以 3-3 煤对象建立沿煤层倾向剖面的相似材料模拟模型。分析 3-2 煤 N₃面开采后上部 3-3 煤层的变形情况和煤层连续性、完整性特征，提出 3-3 煤工作面布置方案^[14]。

相似材料模拟结果表明，3-2 煤 N₃面的开采并没有使 3-3 煤的连续性发生显著变化，煤层连续性

较好。3-2 煤 N₃面两侧采空区边界煤层倾角变化较大。3-2 煤开采后上覆岩层的垮落带高 6~8 m，基本上为采高的 2.0~2.7 倍。裂隙带高度为 21~27 m，为采高的 7~9 倍，见图 4。由于 3-3 煤在 3-2 煤之上 8~16.7 m，因此，3-3 煤基本上处于 3-2 煤开采后形成的垮落带上方或规则垮落带中，从而使得 3-3 煤的完整性和连续性不至于受到严重破坏，使 3-3 煤上行开采具有可行性。相似材料模拟与数值计算结果具有较好的一致性，因此，以数值计算结果和相似材料模拟结果确定 3-3 煤 N₃面布置方案。

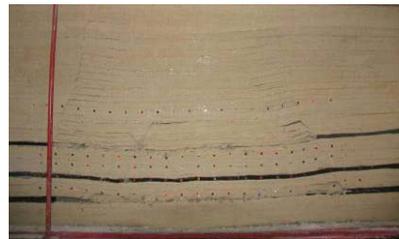


图 4 3-2 煤 N3 面开采后上覆岩层形态
Fig.4 Overburden rock stratum after N₃ panel, 3-2 coal seam mined

4 上行开采设计与实践

4.1 3-3 煤上行开采现场探查

根据前述数值分析和相似材料模拟结果确定 N₃面巷道布置初步设计如图 5 所示。

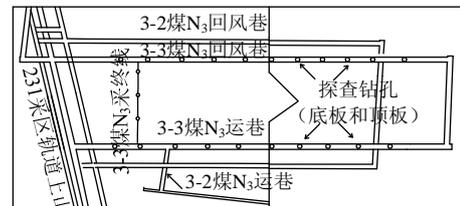


图 5 3-3 煤 N₃面巷道布置和探查布置
Fig.5 Site plan of N₃ panel and exploration

在工作面现场施工的过程中，采取了 4 种方法来探明 3-3 煤及其顶底板岩层变化情况：1)从 3-2 煤向 3-3 煤掘进探查道进行煤层破坏程度的探测，根据探查结果调整两巷布置；2)沿设计的 3-3 煤 N₃面两巷进行掘进探查；3)分别从 3-3 煤 N₃面的运输巷、回风巷向 3-2 煤层施工钻孔进行探查，一方面探明采空区的充实情况，另一方面确定下层瓦斯赋存情况，如果瓦斯异常，则对下层的瓦斯进行抽放以有效减少下伏采空区瓦斯涌向 3-3 煤；4)向 3-3 煤 N₃面两巷顶板施工钻孔探测顶板结构变化，为巷道支护提供依据。探查巷道和探查钻孔布置如图 5 所示。

现场探查结果分析如下：

1) 顶板探查表明 3-3 煤顶板存在离层现象，表现为岩相变化交界面之间的离层间距 0.01~0.02 m，并沿其下伏工作面回采前进方向，产生沿其煤层倾向方向的断裂现象；

2) 巷道掘进探查表明，3-3 煤顶板每隔 1.5~2.5 m 出现沿其岩层倾向的断裂，巷道两帮煤岩层则无明显的断裂，完整性较好；3-3 煤的层理、煤岩层结构均未发生大的错动现象，与下伏 3-2 煤煤柱区对应的 3-3 煤部分也只是倾角发生了一定的变化，而煤层的连续性基本未遭到破坏；

3) 底板探查钻孔返水情况正常，表明下部采空区经过 6 a 的时间已达到了充实状态；3-3 煤处于 3-2 煤开采采空区垮落带上方，煤层的完整程度和连续性基本未遭到破坏。

3-3 煤 N₃ 面运巷区域探查结果如图 6 所示。

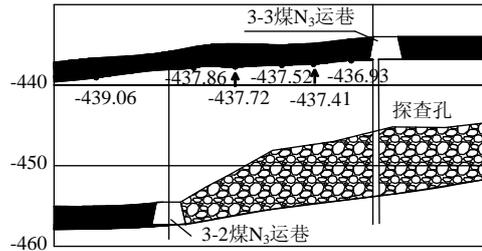


图 6 巷道探查和钻孔探查结果

Fig.6 Exploration result of roadways and borehole

4.2 3-3 煤回采实践

综上所述研究成果，对 231 采区 3-3 煤 N₃ 面进行了综采。上行开采实践表明，3-3 煤开采过程中顶板能较好地控制，工作面超前支承压力也大大降低，回采巷道掘进、巷道支护和巷道维修成本都有所降低。尽管开采过程中工作面局部煤体及顶板破坏较为严重，通过采取人工铺设假顶等措施顺利解决，见图 7。

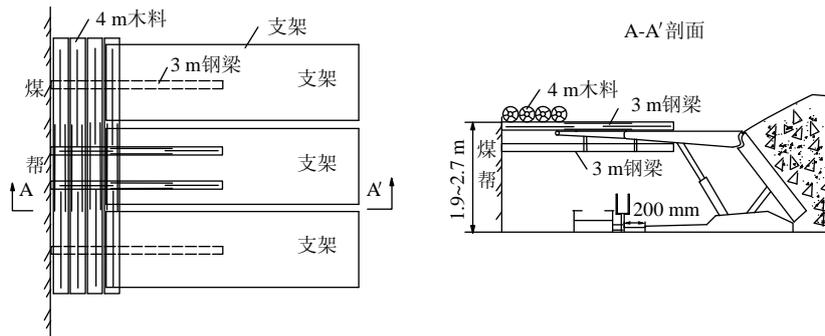


图 7 3-3 煤开采工作面冒顶处理方法

Fig.7 Deal with roof falling of workface

利用上行开采方法，阜新矿区清河门矿 231 采区 3-3 煤共计采出煤炭 91.55 万 t，实现了资源的安全高效回收，延长了矿井服务时间 16 个月，为生产接续打下了坚实基础。

5 结 论

1) 3-3 煤顶底板均以粉砂岩、细砂岩及煤页岩等组成，开采期间易垮落，使得 3-3 煤不会出现台阶式的垮落破坏，同时上述岩体在采后一定时间内易充实。

2) 阜新矿区开采地表移动规律表明，当采深为 500~800 m 时，地表移动的初始期为 2 个月，活跃期为 8 个月，衰退稳沉期为 9 个月，3-3 煤与 3-2 煤开采时间间隔已 6 a，因此下部采空区已充实。

3) 3-3 煤上行开采的实践表明，当上煤层位于下煤层开采的垮落带上方时，上煤层及其顶底板整

体性虽遭到一定的破坏，但仍能够保持连续性，随着下煤层采后时间的延长，煤层中形成的裂隙和断裂逐步“愈合”，煤层的整体性得到改善，能满足开采所需条件。

4) 在上行工作面设计中需要仔细考虑巷道布置，即上部工作面既要避免处于下部煤柱的应力影响区，又要尽量避开煤层下沉盆地的边界。巷道布置可采用内错式或外错式。

5) 上行开采是建立在上部煤层的连续性和完整性前提下的，因此对于上行开采的可行性也不宜简单判别，而应通过对上部煤层破坏程度的调查评估，建立可行性的分级，并确定相应的开采过程中可能出现的问题及其对策。

参考文献：

[1] 汪理全，李中颀. 煤层群上行开采技术[M]. 北京：煤

- 炭工业出版社, 1995: 3-20.
- [2] 蒋金泉, 孙春江, 尹增德, 等. 深井高应力难采煤层上行卸压开采的研究与实践[J]. 煤炭学报, 2004, 29(1): 1-6.
JIANG Jin-quan, SUN Chun-jiang, YIN Zeng-de, et al. Study and practice of bottom slicing relieving mining in condition of problematic coal seams with high ground stress at great depths[J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(1): 1-6.
- [3] 韩万林, 汪理全, 周劲锋. 平顶山四矿上行开采的观测与研究[J]. 煤炭学报, 1998, 23(3): 267-270.
HAN Wan-lin, WANG Li-quan, ZHOU Jin-feng. Observation and investigation of ascending mining of seams in Pindingshan No.4 mine[J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(3): 267-270.
- [4] 石永奎, 莫技, 深井近距离煤层上行开采巷道应力数值分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(4): 473-476.
SHI Yong-kui, MO Ji. Numerical analysis of road stress in ascending mining close distance coal seams in deep coal mines[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(4): 473-476.
- [5] 曲广龙, 林东才, 王本强. 受下部多次不平衡采动影响煤层上行开采技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(2): 217-221.
QU Guang-long, LIN Dong-cai, WANG Ben-qiang. Technology on ascending mining affected by mining action of no equipoise time after time[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2008, 25(2): 217-221.
- [6] 冯国瑞, 闫永敢, 杨双锁, 等. 长壁开采上覆岩层损伤范围及上行开采的层间距分析[J]. 煤炭学报, 2009, 34(8): 1032-1036.
FENG Guo-rui, YAN Yong-gan, YANG Shuang-suo, et al. Analysis on the damage zone of overlying strata and safety layer distance on the upward mining above the longwall goaf[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(8): 1032-1036.
- [7] HAN Jun, ZHANG Hong-wei, ZHANG Pu-tian, et al. Overmining in Kailuan, China mining area[C]// Proceeding of 28th International Conference on Ground Control in Mining. Morgontown: West Virginia University, 2009: 305-311.
- [8] 宋振骥, 李绍泉, 李伟. 盘江矿区近距离多煤层下保护层开采可行性分析及技术实践[J]. 湖南科技大学学报, 2011, 26(1): 5-8.
SONG Zhen-qi, LI Shao-quan, LI Wei. Feasibility analysis and engineering practice of low exploitation of protective seam of coal seam group with near distance in Panjiang mining areas[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology, 2011, 26(1): 5-8.
- [9] 冯国瑞, 任亚峰, 王鲜霞, 等. 白家庄煤矿垮落法残采区上行开采相似模拟实验研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(4): 544-550.
FENG Guo-rui, REN Ya-feng, WANG Xian-xia, et al. Experimental study on the upward mining of the left-over coal above gob area mined with caving method in Baijiazhuang coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(4): 544-550.
- [10] 韩军, 张宏伟, 张普田, 等. 开滦矿区近距离煤层群上行开采可行性判别研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(10): 14-17.
HAN Jun, ZHANG Hong-wei, ZHANG Pu-tian, et al. The feasibility criterion of closed multiple-seam overmining in Kailuan mining area[J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(10): 14-17.
- [11] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [12] 汪理全. 煤层群上行开采技术及应用[J]. 煤炭学报, 2001, 26(增刊): 76-79.
WANG Li-quan. The technology and application of ascending mining in coal seams[J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(Supp): 76-79.
- [13] 马立强, 汪理全, 张东升, 等. 近距离煤层群上行开采可行性研究与工程应用[J]. 湖南科技大学学报, 2007, 22(4): 1-5.
MA Li-qiang, WANG Li-quan, ZHANG Dong-sheng, et al. Application and study on feasibility of near distance coal seam group ascending mining[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology, 2007, 22(4): 1-5.
- [14] 王广利, 海立鑫, 李明, 等. 清河门矿近距离煤层群上行开采技术[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2009, 28(增刊): 19-21.
WANG Guang-li, HAI Li-xin, LI Ming, et al. Research of near range overmining of Qinghemen coal mine[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2009, 28(Supp): 19-21.