

魏世荣,赵延林,戚春前,等.多煤层开采导水裂隙带发育与覆岩破坏高度规律[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2022,37(2):18-26. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.02.004

WEI S R, ZHAO Y L, QI C Q, et al. On Development Law of Water Conducting Fracture Zone and Overburden Failure Height in Multi-Coal Seam Mining[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2022, 37(2): 18-26. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.02.004

多煤层开采导水裂隙带发育与覆岩破坏高度规律

魏世荣^{1,2*}, 赵延林³, 戚春前⁴, 唐世斌⁵

- (1. 国能神东煤炭集团有限责任公司, 陕西 神木 719300;
2. 国家能源集团 煤炭开采水资源保护与利用国家重点实验室, 北京 102209;
3. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;
4. 国家能源集团 乌海能源有限责任公司, 内蒙古 乌海 016000; 5. 大连理工大学 土木工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 为了进一步揭示多煤层开采过程中, 采动裂隙带发育规律的影响因素与采空区水的变化特性, 以公乌素煤矿为研究对象, 分别研究了该矿区煤层的覆岩类型及其对覆岩破裂的影响, 从理论和数值模拟的角度研究了多煤层开采对覆岩破坏高度的影响. 研究表明: (1) 煤层覆岩越坚硬, 覆岩破裂带发育的高度较大, 导水裂隙带发育就越高, 反之, 则容易下沉, 但不易产生开裂, 最终表现为覆岩破坏高度降低; (2) 煤层采动过程中, 开采厚度、开采方法、工作面跨度、开采深度与导水裂隙带的高度变化呈正相关关系; (3) 公乌素煤矿倾斜煤层回采的导水裂隙带的分布沿工作面的倾斜方向整体呈不对称“马鞍形”破坏特征, 多煤层下行开采过程中, 下部煤层开采可以有效地减小上覆岩层采动引起的应力集中现象, 且采空区的卸压范围及高度也随之增加. 相关研究成果可为同类型矿井安全开采提供参考依据.

关键词: 多煤层开采; 导水裂隙带; 覆岩破裂; 数值模拟

中图分类号: TD325 文献标志码: A 文章编号: 1672-9102(2022)02-0018-09

On Development Law of Water Conducting Fracture Zone and Overburden Failure Height in Multi-Coal Seam Mining

WEI Shirong^{1,2}, ZHAO Yanlin³, QI Chunqian⁴, TANG Shibin⁵

- (1. Guoneng Shendong Coal Group Co., Ltd., Shenmu 719300, China;
2. State Key Laboratory of Water Resources Protection and Utilization of Coal Mining, National Energy Group, Beijing 102209;
3. Hunan Provincial Key Laboratory of Coal Mine Safety Technique, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;
4. Wuhai Energy Company, National Energy Group, Wuhai 016000, China;
5. Dalian University of Technology, School of Civil Engineering, Dalian 116024, China)

Abstract: In order to reveal the influencing factors of the development law of mining fracture zone and the variation characteristics of goaf water in the multi-coal seam mining, taking Gongwusu Coal Mine as the research object, the classification of coal seam overburden types and its influence on overburden fracture in Gongwusu Coal Mine are studied respectively. The influence of multi-seam mining on the failure height of

收稿日期: 2022-01-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52004285)

* 通信作者, E-mail: 10789666@chnenergy.com.cn

overburden is studied from the perspective of theory and numerical simulation. The results show that (1) the harder the coal seam overburden is, the higher the development height of overburden fracture zone is, and the higher the development of water diversion fracture is. On the contrary, it is easy to sink but not easy to crack, and finally the height of overburden failure is reduced; (2) Mining thickness, mining method, working face span and mining depth are positively correlated with the height of water diversion fracture zone in the coal seam mining; (3) The distribution of water conducting fracture zone in inclined coal seam mining of Gongwusu Coal Mine is asymmetric "saddle shaped" failure characteristics along the inclined direction of the working face. In the multi-coal seam downward mining, the mining of lower coal seam can effectively reduce the stress concentration caused by mining of overlying strata, and the pressure relief range and height of goaf also increase. The relevant research results provide a referential basis for the safe mining of the same type of mines.

Keywords: multi-coal mining; water conducted fracture zone; overburden failure; numerical simulation

随着煤矿开采水平的不断延伸,目前大部分矿井采用多煤层开采方法.多煤层开采会出现众多开采难题^[1-2],其中,采动导水裂隙带的发育变化特性以及采空区的涌水变化是煤矿安全开采中的难题之一.因此,研究多煤层采动导水裂隙带的发育特性和影响因素,以及分析对采空区水分布与变化规律的影响等,对指导煤矿安全和环保开采具有重要的理论和应用价值.

针对上述问题,很多学者已开展相关研究工作.许延春等^[3]讨论了不同硬度类型的煤层开采中裂隙水高度的计算经验公式,并分析其适用性;余学义等^[4]根据现场数据和数值模拟结果,提出了中硬顶板条件下相应的导水裂隙带发育高度变化计算公式;赵高博等^[5]研究岩层的破坏机制,利用提出的预测理论公式评价了矿井工作面的导水裂隙带发育高度;胡小娟等^[6]研究了导水裂隙带发育高度特性,得到了导水裂隙带高度与开采高度、工作面采长等因素之间的统计关系;王晓振等^[7]研究了导水裂隙带高度与开采高度、覆岩结构之间的关系,并指导相应矿井确定合理的采厚和岩层水防治实践;许家林等^[8]以关键层理论为基础,研究了不同采厚下导水裂隙带高度的预计方法,为实际矿井开采提供了实践依据;李鹏宇等^[9]研究了38例实测数据下导水裂隙带发育的影响因素关系,建立了数据分析计算公式;杨达明等^[10]利用3种技术手段研究采空区上部导水裂隙带的发育特性,认为其变化特性经历发育、缓增、突增及稳定4个阶段;徐树媛等^[11]提出了导水裂隙带发育高度研究的发展趋势,还对其范围、影响因素和预测方法进行了总结归纳.此外,还有研究表明:结合导水裂隙带的发育特性,采用合理的探防技术,进而对矿区的充水条件,老窑及采空区积水分布规律,以及采空区涌水量等因素的变化进行分析,有利于保证矿井的安全生产和水害治理方案的实施^[12-15].

目前,对于影响导水裂隙带高度发育的因素和讨论采空区水分布的研究主要集中在单煤层开采矿井,而对重复采动条件下的研究较少.为此,本文以公乌素煤矿为研究对象,对煤层钻探样品的水理性质进行了测试和分析,总结了重复采动条件下导水裂隙带发育特性的影响因素,还分析了该矿井的充水条件和采空区水的变化特征,为研究此类煤矿的安全开采提供了参考.

1 矿区及水文概况

1.1 矿区概况

公乌素煤矿位于内蒙古自治区乌海市南部,该矿区为丘陵地带,东南偏高,西北地形较为平坦,海拔标高最低为+1 200 m,最高为+1 289 m.现开采煤层为7煤、9煤、12煤及16煤(如图1).7煤厚度为0~2.74 m,平均1.88 m,厚度不均一,局部缺失,由露头区向深部逐渐变薄,露头区由北至南逐渐增厚,局部有夹矸,煤层开采后留下了大量的剥采坑和采空区.9煤厚度为0.25~11.53 m,平均3 m,南厚北薄,为一稳定煤层.12煤厚度为0~1.79 m,平均1.00 m,厚度变化不大,结构单一,层位稳定.16煤厚度为4.85~12.38 m,平均8.33 m,厚度稳定,是矿井主采煤层.目前,公乌素煤矿正在回采16煤,已回采1601工作面、1602工作面和1604工作面.

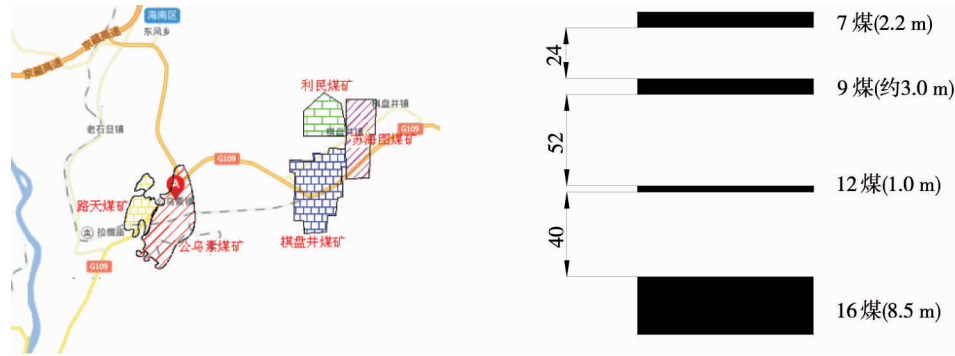


图1 公乌素煤矿交通位置及煤层分布相对位置

1.2 水文条件

矿区属于大陆性半沙漠干旱气候,属内陆半沙漠干旱地区,阳光辐射较为强烈,春季风多雨少,夏季高温短暂,秋季雨多,冬季寒冷时间较长,一年四季气候干燥,昼夜温差较大,气温在 $-28.6\sim 38.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 波动,最低温主要集中在1月.降雨多集中在7月—9月这3个月,约占全年降雨量的60%~80%,平均降水量155.6 mm,最大降水量357.6 mm,年蒸发量3 316.7~3 919.3 mm,常以暴雨突发形成间歇之洪流为特征.该矿区风沙大,且多发在春夏之交和冬季,最大风力可达10级,一般风力4~6级,且常降沙尘暴,冻土深度为0.7~1.5 m.

1.3 煤层覆岩类型分类

煤层开采之后,围岩的原始应力受到扰动,煤层顶板失稳,发生断裂、垮落等非连续变形,形成采动裂隙,当采动裂隙向上发展时,就会形成垮落带和裂隙带(“两带”).“两带”发育高度可以认为是覆岩破坏高度,覆岩破坏高度是进行水下采煤和煤矿水害防治的关键数据,也是浅埋深煤层漏风防治的基础数据,准确地掌握覆岩破坏高度是实现矿井安全开采的必要前提.基于此,本研究首先开展了岩石强度的实验.“两带”探测孔钻探结束后,对岩芯分层段进行密封取样,加工不同层位的试件30个,并进行岩石单轴压缩及变形试验,结果如图2和图3所示.

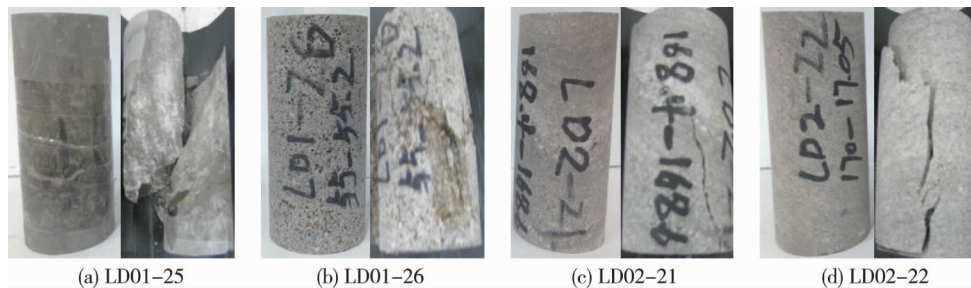


图2 LD01孔25, 26试件和LD02孔21, 22试件变形试验前后对比

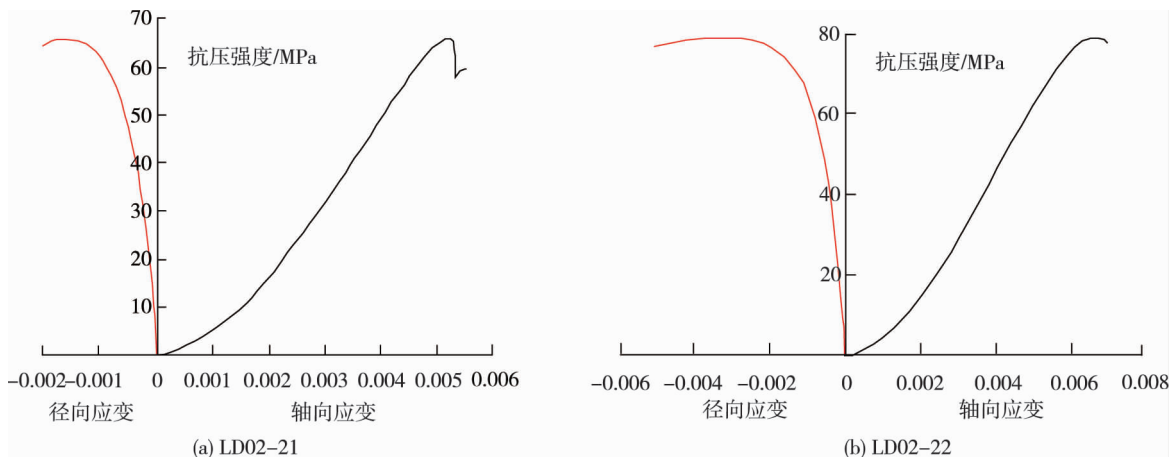


图3 单轴压缩试验下试样的应力-应变变化曲线

由图 2 和图 3 可知:LD01 孔顶板 100 m 范围内大部分岩石的单轴抗压强度为 51.8~130.4 MPa,LD02 孔顶板 150 m 范围内大部分岩石单轴抗压强度为 43.1~110.0 MPa,反映出 16 煤顶板(包括了 9 煤和 12 煤顶板)比较坚硬的性质.一般地,煤层覆岩越坚硬,导水裂隙发育就越高.其原因在于,如果煤层顶板岩层为脆性岩,受开采的影响容易产生撕裂,覆岩破坏高度大;相反,当覆岩为软弱岩层结构时,岩体不易发生撕裂,但容易下沉,促使垮落的岩块压实,引起覆岩破坏高度的下降.对于强风化岩石而言,煤层采动后,岩层主要以塑性变形为主,产生的裂隙较难贯通,会抑制导水裂隙带的发育.黏土类主要以塑性变形、剪切破坏和拉伸破坏为主,原因是在开采过程中,内部难以集聚较高的压应力和拉应力.当岩石中存在膨胀性黏土矿物时,产生的导水裂隙遇水会出现闭合现象,导致岩层的阻水性能变化不大,但是当黏土矿物的膨胀性较小时,容易形成导水裂隙,岩层就会失去阻水性.砂岩类岩石开采后,会集聚较高的压应力和拉应力,当岩层垮落后,上覆岩层会形成一个骨架,导致垮落带发育,裂隙不易闭合,会增加岩体的透水性能,裂隙最终发展到较大高度.因此,岩层的岩性强弱是影响覆岩破坏高度的重要因素.

2 导水裂隙带发育特征影响因素

煤层开采后,围岩的原始应力平衡被打破,煤层顶板失稳,发生断裂、垮落等破坏,产生采动裂隙,裂隙向上发展形成裂隙带.导水裂隙带是地表水和地下采掘空间的重要过水通道,其发育程度将是影响煤矿水害防治的关键因素,了解导水裂隙带的特性和变化高度对煤炭的安全开采至关重要.裂隙带的发育与开采厚度、开采方法、工作面跨度、开采深度等均有明显的关系.由于地质采矿条件的不同,其他因素对覆岩破坏高度的影响略有不同.根据实验及现场测试结果,以公乌素煤矿为依托,开展导水裂隙带发育高度影响因素的研究.

2.1 开采厚度

开采厚度的不同,引起围岩的变形、破裂也不相同.一般而言,开采厚度越大,原有围岩的暴露面积也就越大,围岩中的应力聚集效应也更加明显,进而影响垮落带和裂隙带的高度.开采厚度对“两带”的影响最大、最为直接.导水裂隙带实测高度与开采厚度的关系如图 4 所示.由图 4 可知:其他条件不变的情况下,开采厚度越厚,覆岩破坏高度越大.不同的覆岩顶板类型条件下,导水裂隙带高度随采厚的增加而增大,且曲线的斜率关系: K_I (坚硬顶板) $>K_{II}$ (中硬顶板) $>K_{III}$ (软弱顶板),即坚硬、中硬和软弱顶板的导水裂隙带高度随采厚的增加而增大的幅度逐渐减小.

2.2 开采方法

开采方法的选择与开采厚度的关系如图 5 所示.由图 5 可知:炮采或普采的采厚一般小于 3.5 m,综采的采厚一般小于 6 m,而分层开采与综放采厚则大致相当,一般在 2.5~14 m.炮采或普采条件下,裂隙带高度一般不超过 70 m,曲线的斜率较大.综采条件下,导水裂隙带的高度一般不超过 80 m,曲线斜率小于炮采曲线斜率.在分层开采条件下,裂隙带高度一般会小于 70 m,随着采厚的增加,其变化幅度最小.综放开采条件下,裂隙带的变化范围较大,采厚小于 8 m 时(中厚和厚煤层),裂隙带随着采厚的增加增大幅度较小,采厚大于 8 m(特厚煤层)时,裂隙带的高度增加较快.该结果为类似矿山裂隙带高度的判断提供了数据支撑.

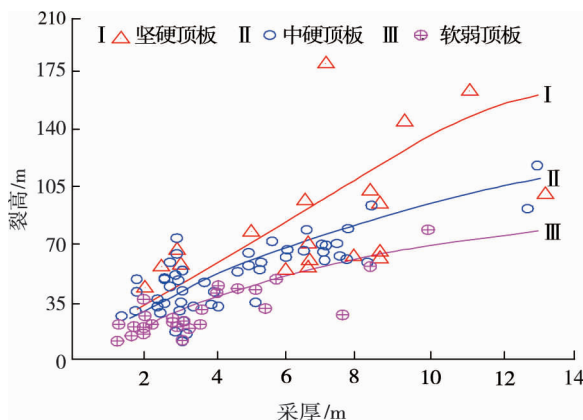


图 4 导水裂隙带实测高度与开采厚度的关系

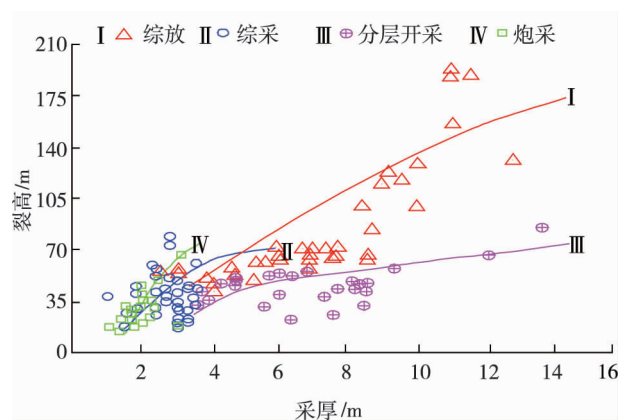


图 5 裂隙带高度与开采方法的关系

2.3 工作面跨度

通过相关材料力学知识得到:两端固定的岩梁的弯曲度会随着岩梁的跨度的增加而增大.从覆岩破坏的角度来看,与垮落带高度达到最大值时需要的开采面积相比,地表达达到充分采动所需的临界面积要小得多.在煤层开切眼之后,垮落带高度将会随着工作面的推进而不断增高.当工作面推进一段距离后,垮落带达到该条件下的最大值,之后开采面积继续扩大,但垮落带高度不再增大,这种情况和地表达达到充分采动后的最大下沉值不再增加较为相似.由此可见,开采面积和垮落带、导水裂隙带高度将呈某种分式函数关系.裂隙带高度与工作面跨度的关系如图6所示.由图6可知:不同类型覆岩导水裂隙带的高度随工作面斜长(跨度)的增大而增大,且曲线斜率 $K_I > K_{II} > K_{III}$,即软弱、中硬和坚硬顶板条件下,导水裂隙带的高度随工作面斜长增大的增加幅度逐渐变大.一般地,其他条件不变时,工作面的斜长越大,顶板岩层下沉弯曲的幅度越大,岩层破断机率越大,导水裂隙带发育越高.

2.4 开采深度

开采深度与导水裂隙带高度的关系如图7所示.由图7可知:煤层的开采深度对导水裂隙带的发育特性也会有影响.对部分现场数据进行拟合,结果表明:随着开采深度的增加,上部岩层的自重增加,导致岩层破坏逐渐加剧,引起裂隙带高度逐渐增大.随着导水裂隙带的增加,其增长率逐渐降低,在开采深度增加到一定值后,导水裂隙带厚度基本不再增加.

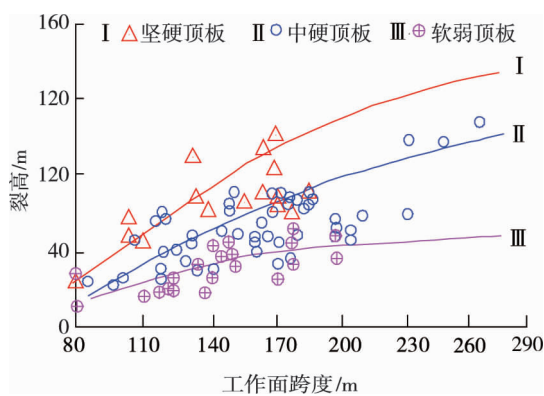


图6 裂隙带高度与工作面跨度的关系

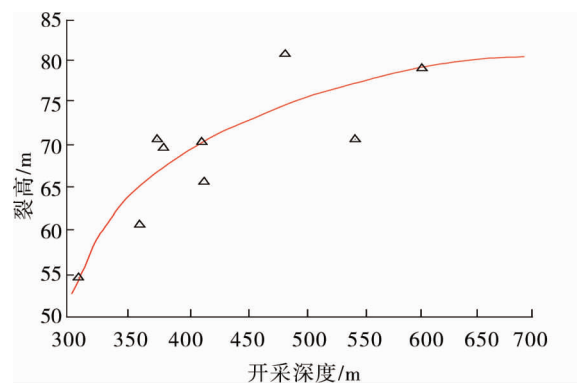


图7 开采深度与导水裂隙带高度的关系

3 覆岩破坏高度的经验理论分析

在《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》中给出了垮落带和导水裂隙带高度计算的对应公式^[16].

垮落带高度:

$$H_m = \frac{100 \sum M}{2.1 \sum M + 16} \pm 2.5. \quad (1)$$

导水裂隙带高度:

$$H_{li} = \frac{100 \sum M}{1.2 \sum M + 2.0} \pm 8.9. \quad (2)$$

式中: H_m 为垮落带高度; $\sum M$ 为累计采厚; H_{li} 为导水裂隙带高度.

根据式(1)和式(2),分别计算了7煤、9煤、12煤的“两带”高度.结果表明:7煤单层平均采厚为1.88 m时,预计垮落带高度为6.92~11.92 m,平均9.42 m,导水裂隙带高度为35.27~53.07 m,平均44.17 m;9煤单层平均采厚为3.0 m时,预计垮落带高度为10.95~15.95 m,平均13.45 m,导水裂隙带高度为44.67~62.47 m,平均53.57 m;12煤单层平均采厚为1.0 m时,预计垮落带高度为3.02~8.02 m,平均5.52 m,导水裂隙带高度为

22.35~40.15 m,平均 31.25 m.公乌素煤矿三号井 16 煤的煤层底板等高线及资源储量估算结果表明:北采区 16 煤厚度为 6.57~10.41 m.对 16 煤的覆岩破坏高度进行预计,由于其单层采厚大于 3 m,所以《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》中给出的垮落带和导水裂隙带预计公式不再适用,因此,采用类比法预计 16 煤综放开采覆岩破坏高度,结果表明:“两带”孔附近区块垮落带高度为 24.00~34.28 m,平均 26.85 m,导水裂隙带高度为 58.65~95.33 m,平均 78.38 m.

4 多煤层开采对覆岩破坏高度影响的数值模拟

公乌素煤矿北采区浅部煤层(9 煤、12 煤)已基本开采完毕,浅部煤层采空区存积一定数量的老空区及火区.本文以 1604 工作面的地质资料为依据,利用 FLAC^{3D} 模拟建立数值模型,分别模拟不同煤层单独开采及多煤层重复开采的覆岩破坏高度,为今后的矿井开采提供一定的参考依据.在建立计算模型时,对坐标轴进行以下规定:垂直于工作面推进方向的为 y 轴,平行于工作面推进方向的为 x 轴,垂直于工作面平面的为 z 轴.根据此规定,在计算模型中 550,510,193 m 分别为 x , y , z 轴方向上的长度.为了节省篇幅,本文仅以多煤层开采的数值模拟结果为例,分析煤层开采引起的覆岩破坏规律.

4.1 16 煤单独开采引起的覆岩破坏

随着工作面的不断回采,直接顶板出现拉伸破坏随之垮落.工作面继续推进,采场顶板的暴露面积逐渐增大,当老顶强度达到其承载能力时,老顶发生回转变形破坏,即初次来压.当工作面的推进距离和其倾斜长度相近时,工作上的矿压显现最为剧烈,此时覆岩破坏高度达到最大值.

16 煤单独回采采场覆岩破坏高度如图 8 所示.由图 8a 可知:采场倾斜方向的覆岩破坏形态呈现不对称“马鞍形”破坏,其回风平巷及运输平巷上方的导水裂隙带高度为 86 m,采空区中部的覆岩破坏高度为 68 m.由图 8b 可知:工作面推进至 350 m 时,开切眼附近及停采线附近的覆岩破坏高度基本稳定在 86 m,采空区中部的覆岩破坏高度稳定在 68 m.

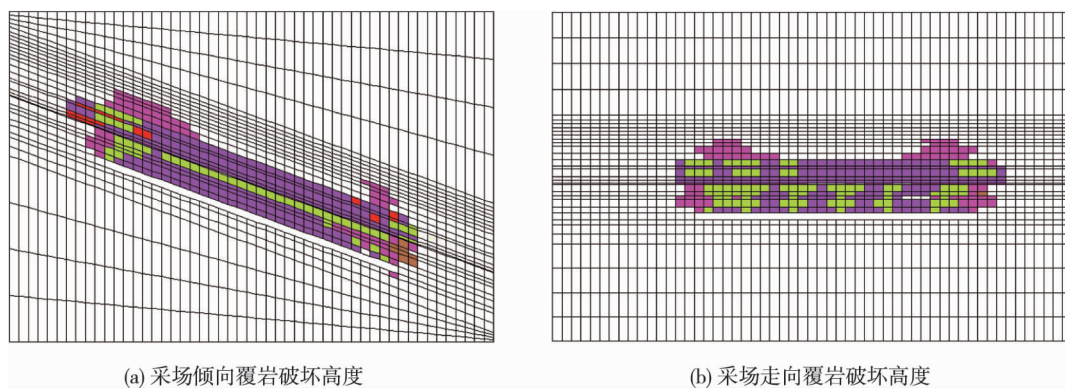


图 8 16 煤单独开采采场覆岩破坏高度

煤层开采之后破坏了原始围岩应力的平衡条件,采空区的覆岩应力不能有效地通过煤层传递到底板,而是通过采空区四周的岩体传递应力,并呈现一定范围的应力集中现象,因此,通过分析应力场变化对煤层的安全回采提供一定的参考依据.16 煤单独回采后采场垂直应力分布如图 9 所示.由图 9a 可知:采场回风平巷及运输平巷两端存在明显的应力集中现象,倾斜方向运输平巷附近的侧向支撑压力峰值为 15.8 MPa,影响范围达到 23 m,回风平巷附近的侧向支撑压力峰值为 11.6 MPa,其影响范围为 21 m,而采空区内部出现较大范围的应力卸载.由图 9b 可知:16 煤回采稳定后,工作面开切眼及工作面停采线方向由于顶板岩层的铰接咬合作用,出现应力集中现象.开切眼附近应力峰值为 13.2 MPa,支撑压力影响范围为 18.9 m;工作面停采线前方支撑压力的影响范围略小于开切眼附近,其值为 17.5 m,支撑压力峰值达到 12.7 MPa,采空区内部出现明显的应力卸载情况.

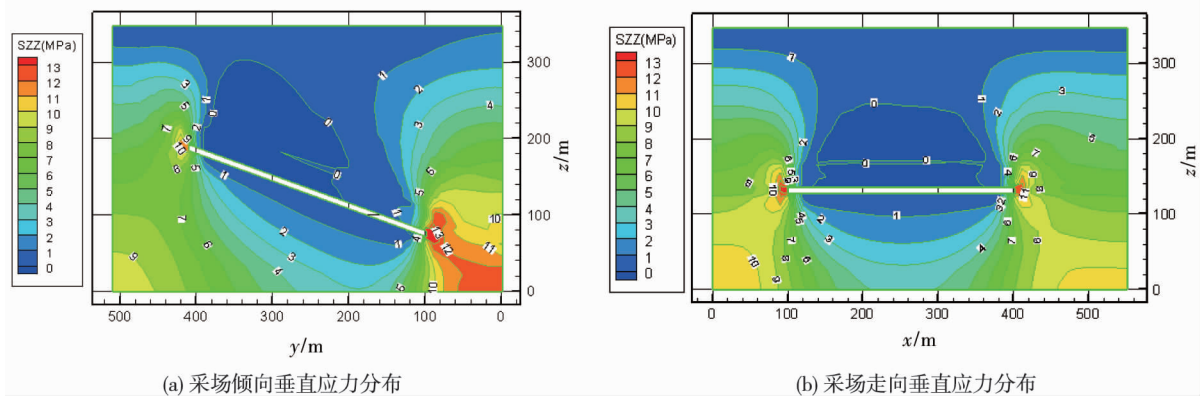


图9 16煤单独回采后采场垂直应力分布

4.2 12煤开采对16煤开采的覆岩破坏规律

多煤层进行回采的过程中,由于实际生产为下行开采,因此,先后模拟开采12煤及16煤,并在模拟过程中分析围岩塑性区及应力场的分布规律。

12煤回采后采场覆岩破坏高度如图10所示。由图10a可知:工作面回风平巷及运输平巷附近的覆岩破坏高度达到33m,而其采空区中部的覆岩破坏高度为25m,整体呈现不对称“马鞍形”破坏特征。由图10b可知:由于煤层较薄,煤层采动的影响较小,12煤单独回采使得采空区呈现导水裂隙带高度为25m的破坏特征。

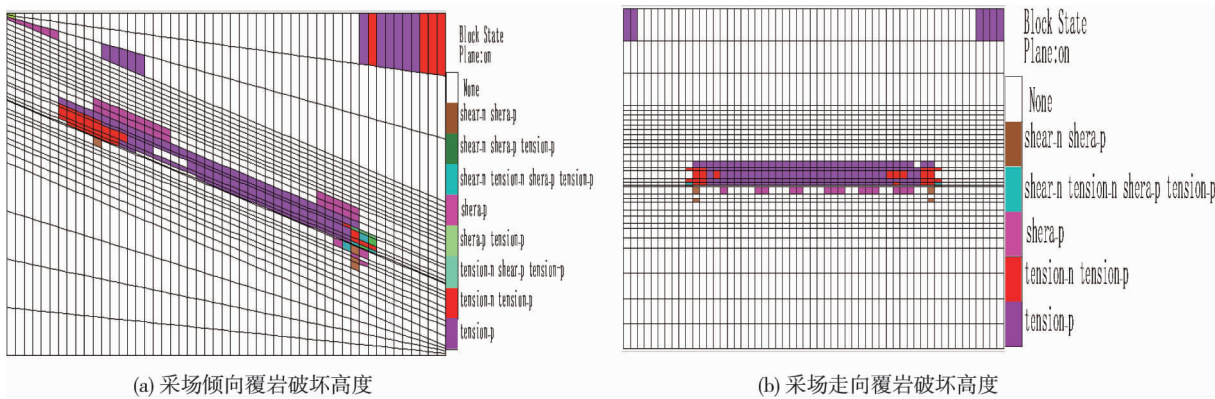


图10 12煤回采后采场覆岩破坏高度

由于16煤回采引起的垮落带高度小于12煤与16煤的间距,因此,12煤与16煤重复采动的导水裂隙带高度以12煤和16煤导水裂隙带高度的较大值为准。12煤及16煤回采后采场覆岩破坏高度图11所示。与图9和图10相比,16煤回采后,其覆岩破坏的高度明显地增加。由11a可知:16煤开采引起运输平巷及回风平巷附近的导水裂隙带高度增加到了96m,其采空区中部的破坏高度为74m。由图11b可知:在开切眼及停采线附近,导水裂隙带高度增加到了96m,采空区中部覆岩破坏的高度并未明显增加。

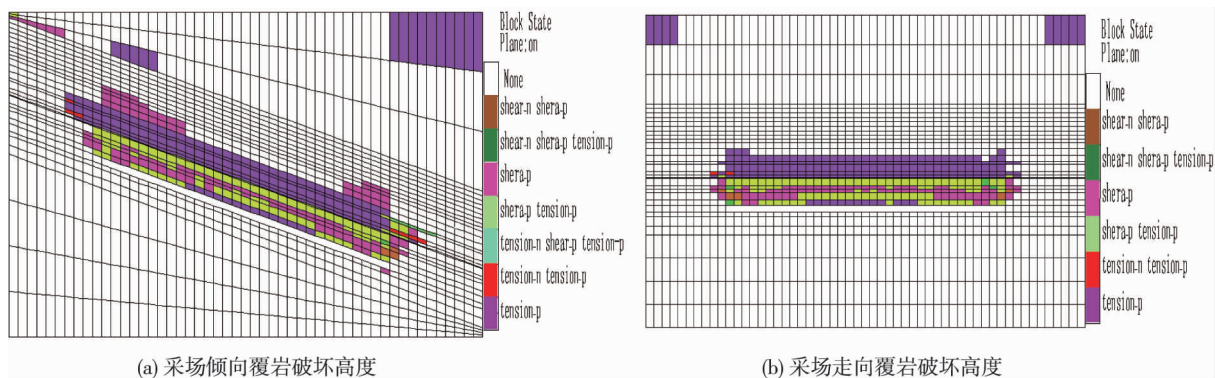


图11 12煤及16煤回采后采场覆岩破坏高度

12 煤回采后采场垂直应力分布如图 12 所示.由图 12a 可知:12 煤回采后,采场运输平巷和回风平巷两侧一定范围内存在应力集中现象,即侧向支承压力.回风平巷侧向支承压力峰值为 15.12 MPa,其影响范围达到 16.3 m;运输平巷侧向支承压力峰值为 9.69 MPa,其影响范围为 16.1 m.采场停采线及开切眼附近出现一定范围的应力集中现象.由图 12b 可知:工作面停采线附近支承压力的峰值为 12.28 MPa,其影响范围为 14 m;开切眼后方煤柱的支承压力的最大值为 11.31 MPa,其影响范围为 17.1 m.

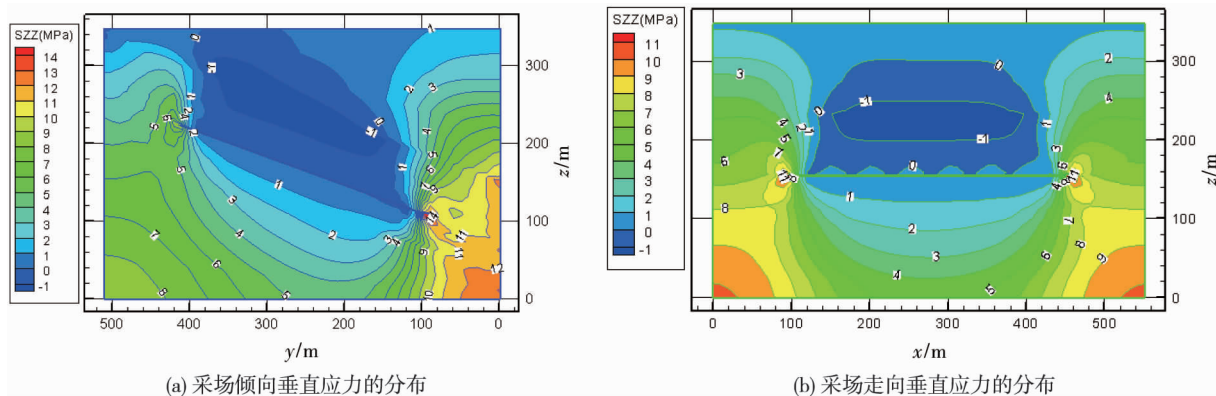


图 12 12 煤回采后采场垂直应力分布

12 煤及 16 煤回采后采场垂直应力分布如图 13 所示.由图 13a 可知:运输平巷侧向支承压力峰值为 15.7 MPa,相对于单独回采 16 煤减小了 0.6%,支承压力的影响范围达到 18.4 m;回风平巷侧向支承压力的峰值为 8.69 MPa,相对于单独回采 16 煤减少了 25%,其影响范围达到了 18.2 m.由图 13b 可知:开切眼附近支承压力的峰值达到 11.12 MPa,其影响范围为 18.4 m;停采线附近支承压力峰值为 11.02 MPa,支承压力的影响范围为 16.9 m.采空区中部的卸压程度及范围相对于 16 煤单独回采较为明显.

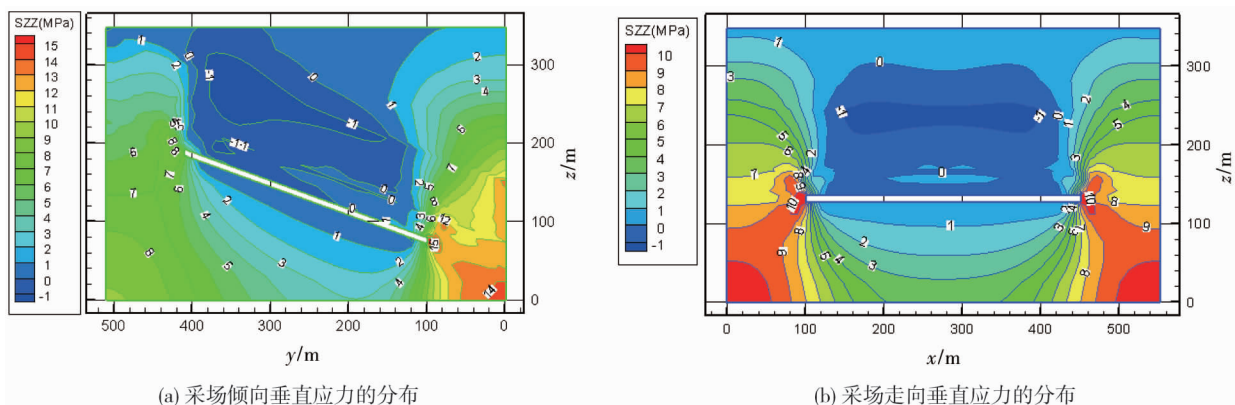


图 13 12 煤及 16 煤回采后采场垂直应力分布

综合数值模型模拟开采的计算结果可以看出:倾斜煤层回采的导水裂隙带分布沿工作面倾斜方向整体呈不对称“马鞍形”破坏特征,16 煤单独开采引起的导水裂隙带高度为 86 m,小于多煤层开采导水裂隙带高度 132 m.多煤层下行开采过程中,下部煤层开采可以有效地减小上覆岩层采动引起的应力集中现象,且采空区的卸压范围及高度也随之增加.特别地,数值模拟计算过程中发现:浅埋深坚硬覆岩煤层开采时,地表易产生拉伸破坏区,形成一定深度的地裂隙,这与模拟结果展示的塑性破坏区分布图中地表存在一定的破坏区一致.

5 结论

1)当地层岩性较为坚硬时,煤层开采过程中顶板易产生撕裂,覆岩破坏高度就会增加.当地层岩性较为软弱时,顶板容易下沉,覆岩破坏高度就会降低.对于砂岩地层,煤层开采后形成较高的压应力和拉应力,会阻止岩层的裂隙带闭合.

2)在煤矿开采的过程中,其开采厚度、开采方法、工作面跨度、开采深度、重复采动都会对导水裂隙带的形成有明显的影 响,导水裂隙带的高度变化和这些影响因素都呈明显的正相关关系。

3)倾斜煤层回采过程中,导水裂隙带的分布呈不对称“马鞍形”破坏特征;浅埋深坚硬覆岩煤层开采时,地表易产生拉伸破坏区,形成一定深度的地裂隙。

4)多煤层开采的高度引起的导水裂隙带要大于单煤层开采的高度,多煤层开采中的应力集中现象是由于下部煤层开采引起上覆岩层采动引起的。

参考文献:

- [1] 于斌.多煤层上覆破断顶板群结构演化及其对下煤层开采的影响[J].煤炭学报,2015,40(2):261-266.
- [2] 赵宝峰.上行开采条件下多煤层开采覆岩破坏规律研究[J].矿业安全与环保,2016,43(6):13-15.
- [3] 许延春,李俊成,刘世奇,等.综放开采覆岩“两带”高度的计算公式及适用性分析[J].煤矿开采,2011,16(2):4-7.
- [4] 余学义,刘俊,赵兵朝,等.孟巴矿特厚煤层分层开采覆岩导水裂隙带高度测定[J].煤矿安全,2013,44(8):169-171.
- [5] 赵高博,郭文兵,杨达明,等.综放开采覆岩破坏模型及导水裂隙带高度研究[J].中国安全科学学报,2017,27(11):144-149.
- [6] 胡小娟,李文平,曹丁涛,等.综采导水裂隙带多因素影响指标研究与高度预计[J].煤炭学报,2012,37(4):613-620.
- [7] 王晓振,许家林,韩红凯,等.顶板导水裂隙带高度随采厚的台阶式发育特征[J].煤炭学报,2019,44(12):3740-3749.
- [8] 许家林,朱卫兵,王晓振.基于关键层位置的导水裂隙带高度预计方法[J].煤炭学报,2012,37(5):762-769.
- [9] 李鹏宇,姜岳,宗琪,等.中硬覆岩综放开采导水裂隙带发育高度影响因素与预计模型[J].煤炭技术,2018,37(2):80-82.
- [10] 杨达明,郭文兵,赵高博,等.厚松散层软弱覆岩下综放开采导水裂隙带发育高度[J].煤炭学报,2019,44(11):3308-3316.
- [11] 徐树媛,张永波,时红,等.采动覆岩导水裂隙带发育高度研究进展[J].科学技术与工程,2018,18(34):139-148.
- [12] 刘振波,桑振平,张合兵.常村矿二二盘区采空区积水特征与防控[J].河南理工大学学报(自然科学版),2015,34(6):882-886.
- [13] 于丽雅.煤矿充水性分析及采空区积水探查安全技术措施[J].山西焦煤科技,2016,40(4):40-42.
- [14] 肖慧.青岗坪煤矿采空区积水疏放实践[J].煤炭科技,2016(3):114-115.
- [15] 冀红娟,贾立庆.煤矿老空区水害综合治理技术应用[J].内蒙古煤炭经济,2020(15):136-137.
- [16] 国家安全监管总局,国家煤矿安监局,国家能源局,等.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[S].2017.