

某工作面安全煤柱类型确定及 提高开采上限可行性分析

张民*

(兖州煤业股份有限公司 杨村煤矿, 山东 济宁 272118)

摘要:为了探究杨村煤矿厚松散层薄基岩下提高开采上限问题,以 330 工作面为研究对象,通过对研究区第四系主要含水层富水性、底黏厚度分布和主采 3 煤层上覆基岩特征进行系统分析,确定该工作面可按防砂安全煤岩柱类型进行留设.同时收集整理分析了相邻兴隆庄和鲍店 2 煤矿 3 煤浅部提高开采上限的成果资料,结合杨村煤矿积累的相关经验,采用类比法对 330 工作面提高开采上限的可行性问题进行系统分析,探讨了 3 种开采工艺下垮落带高度计算量值和对应的保护层厚度.研究结果为该工作面按防砂煤岩柱类型进行安全开采的可行性试采方案提供了重要参考依据.

关键词:薄基岩;巨厚松散层;提高上限;防砂煤柱;类比分析

中图分类号:TD822 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2020)02-0055-07

Determination of Coal Pillar Type and Feasibility Analysis of Raising Upper Limit Mining in a Working Face

Zhang Min

(Geological Survey Department, Yangcun Coal Mine, Yanzhou Coal Mining Co., Ltd., Jining 272118, China)

Abstract: In order to study the problem of raising the mining upper limit under the thick loose layer and thin bedrock in Yangcun Coal Mine, the 330 working face is taken as the research background. By analyzing the characteristics of the quaternary system of main No.3 coal seam, which mainly contains water-barrier layer, water-rich, bottom clay distribution and overlying bedrock, it is determined that the working face could be reserved according to the type of safe coal and rock pillars for sand prevention pillar. Meanwhile, it collects two adjacent Xinglongzhuang Coal Mine and Baodian Coal Mine, their shallow mine, the No.3 coal seam of the data about the upper limit, combining the accumulation of data in Yangcun Coal Mine and by adopting the analogy method to improve mining upper limit of the 330 working face, the systematic analysis of the technical feasibility of the problem has been carried on, the calculated values of caving zone height and corresponding thickness of protective layer are discussed under three mining methods. The research results has provided important references for the feasibility of safe mining, according to the type of sand prevention pillar.

Keywords: thin bedrock; thick loose layer; upper limit mining; sand prevention pillar; analogy

兖州矿区通过近十几年超强度开采,相对安全性较高区域基本开采完毕.为矿井可持续发展,兖矿集团薄基岩矿井,比如杨村、鲍店和兴隆庄 3 个主力矿井一直进行这方面理论和实践可行性研究,安全回收了大量优质煤炭资源,取得了大量相关研究成果^[1-5].为开采安全需要根据煤岩柱类型留设一定的安全煤

收稿日期:2020-01-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41741020)

*通信作者, E-mail: 737289592@qq.com

岩柱^[6,7].对于安全煤岩柱留设尺寸的确定很多学者对此进行了大量研究^[8-15],一般分两步,先确定安全煤岩柱留设类型,然后在此基础上确定垮落带或导水裂隙带高度与对应的保护层厚度,再与基岩厚度进行比较.其中比较重要的是垮落带或导水裂隙带高度的确定,确定方法通常有现场实测^[8]、数值模拟^[9-11]、室内物理模拟^[12]或几种方法的综合对比分析^[13-15],其中综合对比分析方法中运用数值模拟和经验公式类比分析相对较多^[9-11,13-15].例如,吴璋等根据注浆堵水工程经验,基于理论分析,结合水泥浆液和砂层特性,通过现场试验,探索了涌水溃砂综合防控技术^[8];杨达明等通过数值模拟研究了工作面覆岩破坏规律,确定了“两带”发育高度来提高开采上限^[9];杨俊哲等基于正交试验原理设计并进行了25组水砂溃涌启动模拟试验,其分析结果认为水头高度是影响溃水溃砂灾害发生的最主要因素^[12];曹思文等通过经验公式类比分析和数值模拟,探究了杨村煤矿浅部3煤层采区薄基岩下特厚煤层开采“两带”高度问题,为该面提高开采上限的方案设计提供了很好的参考价值^[14].

本文基于杨村煤矿330工作面地质和开采条件,分析了相关含水层的富水性特征和上覆基岩柱特征,结合相关规范^[6,7],提出了按防砂安全煤岩柱留设的可行性,并通过类比法和经验公式预计了垮落带高度,同时研究了3种不同开采条件下安全煤柱留设的可行性.

1 按防砂安全煤岩柱留设可行性分析

1.1 第四系松散层水文地质特征

由于沉积原因,杨村煤矿山西组3煤层仅1个采区.根据地质报告,第四系松散层分为上组、中组和下组3个含水层,对薄基岩区影响最大的是下组含水层,根据大量钻孔资料分析,下组又分为上段和下段.其中每个含水层之间的隔水层均相对比较稳定,正常能阻隔相互之间的水力联系,这可通过3煤层采区7个不同含水层的水文长观孔监测数据进行证实,各观测点水位变化情况如图1~图3所示(注:部分观测孔因回采影响无法继续监测).

由图1可以看出,第四系上组含水层水位呈现上下波动变化,但变化幅度基本趋于一致,主要受大气降水影响,与中组含水层水位变化趋势明显不一致,这说明了第四系中组隔水层的隔水性非常稳定,且第四系中组隔水层水位总体上呈下降的变化趋势.如2007年2月26日水文观测第四系上组水位($Q_{上-1}$ 孔)为38.95 m,第四系中组水位($Q_{中-1}$ 孔)为29.37 m,而同期第四系下组上段水位 $Q_{下-1}$ 孔和 $Q_{下-4}$ 孔分别为-21.75和-18.54 m(图2),第四系下组下段即“底含”水位的 $Q_{下-5}$ 孔和 $Q_{下-7A}$ 孔分别为-84.71和-78.44 m(图3).这可充分反映出第四系各组含水层中的层间黏土层基本上阻隔了相互之间的水力联系.

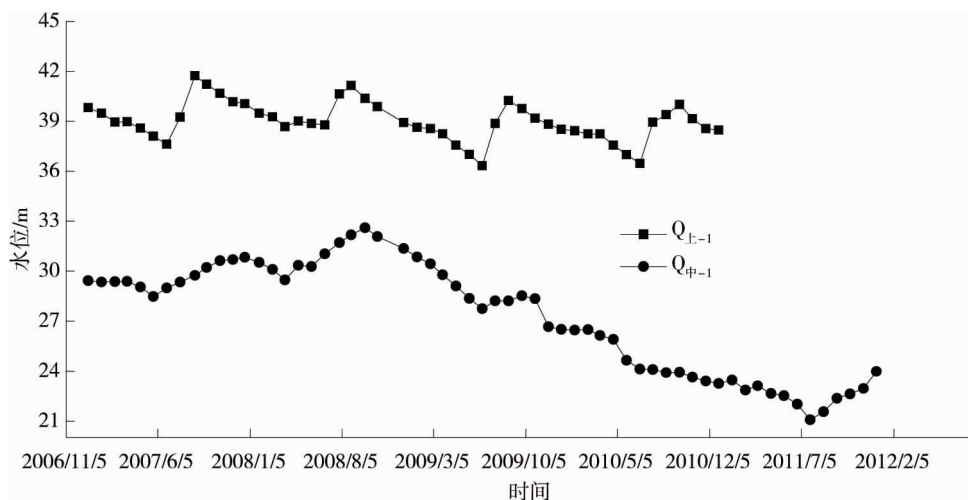


图1 第四系上组($Q_{上-1}$)和中组水位长观孔($Q_{中-1}$)观测结果

因此,对开采直接影响最大的第四系下组补给条件较差,主要接受其自身的侧向径流补给,以静储量为主的含水层.这个含水层,根据地层分布特征,中间又有一层比较稳定的隔水层,把其划分为上段和下段.图2和图3观测结果对比分析可看出,第四系下组上段水位和第四系下组下段底含水位在相同时间段

内变化趋势也呈现出明显不一致性,第四系下组上段含水层水位反复波动比较明显,下降趋势不太明显;而第四系下组下段含水层水位变化趋势至今基本是逐年降低,这说明第四系下组上、下段之间有相对比较稳定的黏土层,起到了很好的隔水作用,这层黏土层使第四系下组下段含水层(底含)成为一个相对封闭的区域,与第四系下组上段含水层在正常沉积区域无必然水力联系。

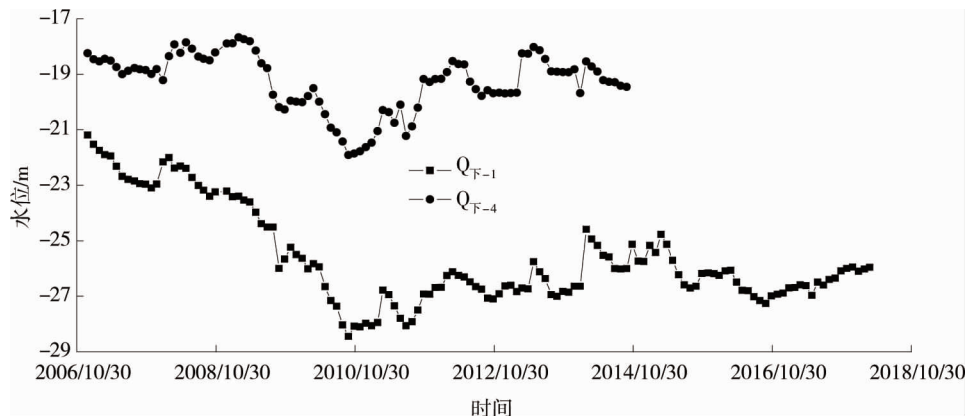


图2 第四系下组上段水位长观孔(Q_{F-1} , Q_{F-4})观测结果

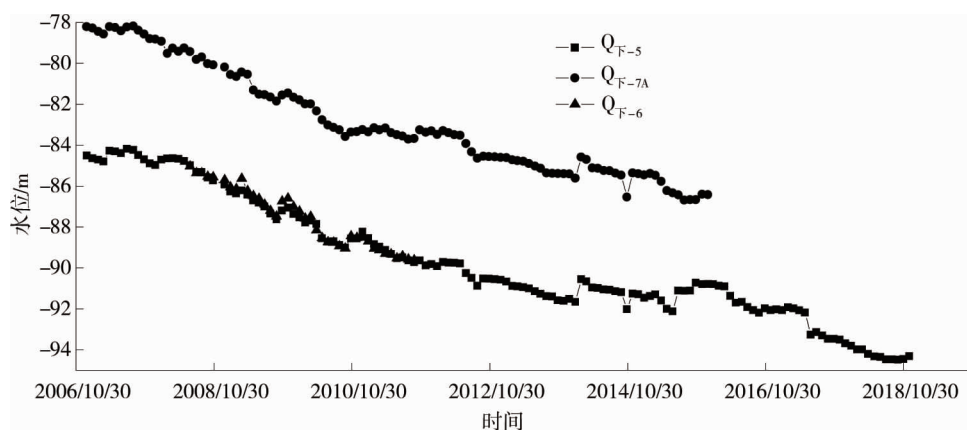


图3 第四系下组下段底含水水位长观孔(Q_{F-5} , Q_{F-6} , Q_{F-7A})观测结果

1.2 第四系底部含水层

330工作面位于杨村煤矿3煤采区的北部,根据该工作面最近的水文地质钻孔抽水试验资料,第四系下组下段含水层单位涌水量 q 为 $0.0023 \sim 0.074274 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$,渗透系数 K 为 $0.0235 \sim 0.4632 \text{ m}/\text{d}$ 。抽水试验数据反映出330工作面及附近第四系下组下段含水层总体上富水性较弱,补给不畅,属弱富水性含水层。

1.3 第四系底部黏土层

杨村煤矿通过对第四系底部黏性土层取样分析发现,该层黏土为坚硬-半固结的密实饱和性土,具有较小的压缩性,较差的渗透性和较好的膨胀性,液性指数均小于0,塑性指数都大于17,是一良好的黏性土隔水层,对该工作面3煤提高开采上限的安全性具有很好的控制意义。

根据杨村煤矿3煤采区浅部41个已有底黏厚度数据的钻孔资料统计分析,3煤采区底黏分布较广泛,厚度 $0.00 \sim 11.18 \text{ m}$,可见厚度变化很大,其中有13个钻孔揭露没有底黏。根据钻孔资料内插可得330工作面第四系底黏厚度变化特征,具有以该面内 Q_{F-8} 孔和330-7这两个钻孔为中心向四周逐渐变薄的分布特点,该工作面大部分区域分布有一定厚度的底黏,仅东北部较小区域没有底黏,该工作面底黏厚度 $0.00 \sim 5.74 \text{ m}$,其中位于该面内的 Q_{F-8} 孔揭露底黏厚度 5.25 m (图4)。

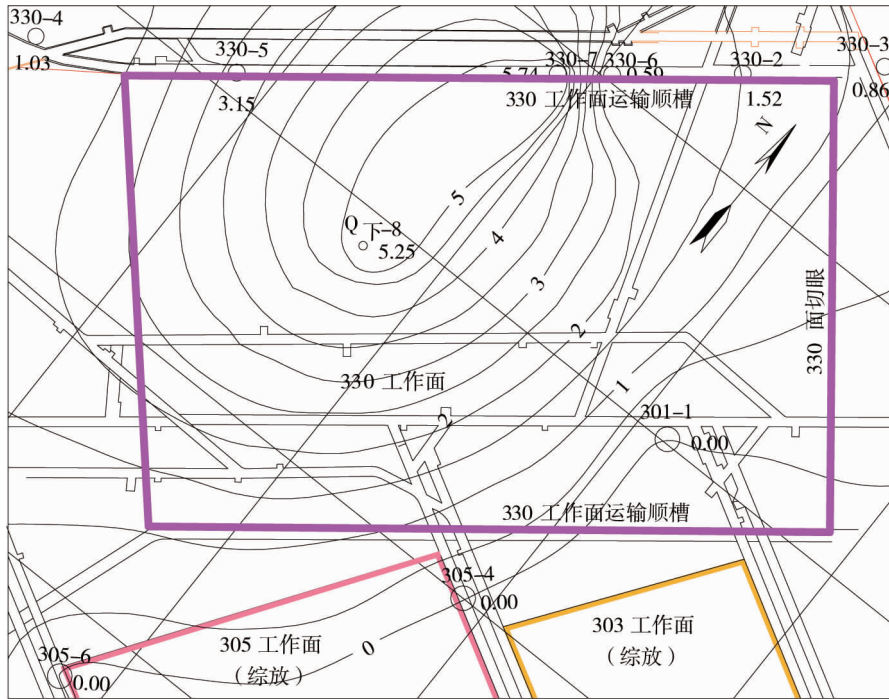


图4 330工作面及邻近区域第四系下组底部黏土层(底黏)厚度分布

1.4 工作面3煤层上覆基岩柱特征分析

根据该工作面 $Q_{下-8}$ 钻孔揭露覆岩地层组合分析,3煤覆岩结构为下硬上软类型,自下而上水稳性较差、软弱隔水的泥类岩含量逐渐增多,这种岩性组合结构有利于抑制导水裂缝带向上发育及阻隔底含水下泄.该孔揭露基岩顶部的粉砂岩属于强风化带,厚度 7.06 m,其下面的中砂岩上部也处于中等风化状态.这层风化带一般岩性较软,不富水,具有很好的阻隔水性.

杨村煤矿已有地面钻孔和井下部分 62 个钻孔探测揭露基岩厚度的数据统计,借助 Surfer 软件,通过内插等值线作图,可得 330 工作面及附近 3 煤上覆基岩厚度等值线分布图(图 5).从图 5 可看出,该面 3 煤覆岩厚度从东到西呈逐级变薄的特点,由东边的 42.6 m 向西逐渐变薄至 18.1 m 左右.

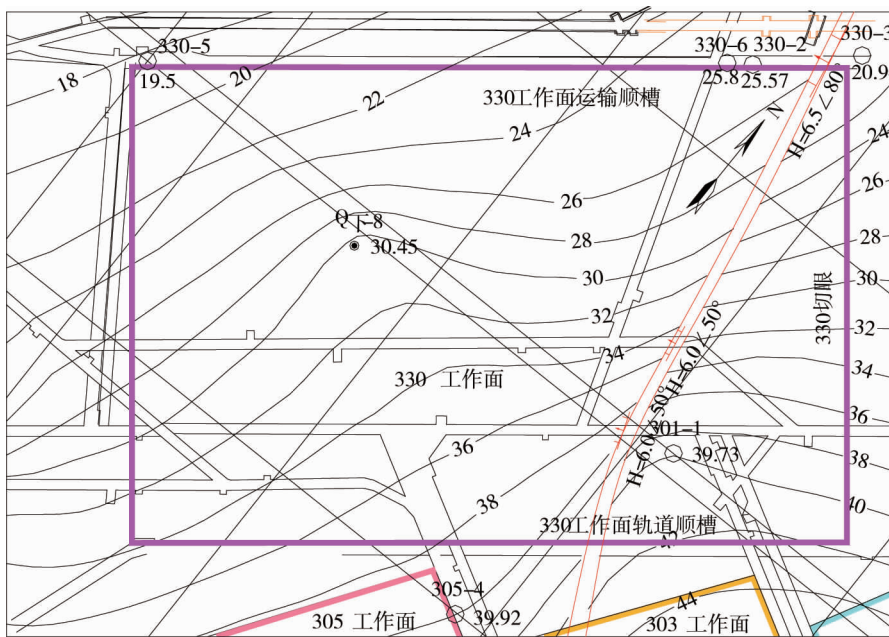


图5 330工作面及邻近区域基岩厚度等值线分布

通过 330 工作面基岩及松散层特征分析,证实了该区域附近第四系下组下段含水层富水性为弱,大部

分区域还分布有一定厚度的底黏,基岩属于中硬偏软类型,有一定厚度的风氧化带.鉴于以上分析,330工作面的水体采动等级为Ⅱ级,符合《“三下”开采规范》^[6]的规定中留设防砂安全煤岩柱的要求.因此,330工作面可考虑按安全留设防砂煤岩柱进行开采方案设计和试采.

2 工作面3煤覆岩采动破坏高度预计分析

2.1 330工作面地质条件概况

根据工作面及相邻区域内巷道及工作面揭露和相关钻孔揭露3煤层厚度统计,该工作面内煤层厚度7.7~9.2 m,平均8.2 m.

工作面为单斜构造,地层走向NE~SW,倾向SE,总体趋势西北部高、东南部低;煤层起伏变化不大,煤层倾角1°~6°,平均4°,主要受梣楞树二号正断层影响较大.

2.2 综放开采垮落带高度分析

由于2017年修编的《“三下”开采规范》^[6]对综放开采条件下覆岩破坏发育高度如何预计没有规定.为此,根据兖州矿区综放开采经验,结合杨村煤矿301,305,307等工作面安全回采经验,拟对330工作面综放条件下覆岩垮落带高度进行类比分析.

安全起见,垮采比最大可按4.0选取.330工作面3煤综放开采厚度按平均厚度8.2 m,垮采比按4.0,由式(1)计算可得预计垮落带高度为32.8 m.

$$H_k = 4 \sum M. \quad (1)$$

式中: H_k 为垮落带高度,m; $\sum M$ 为累计采厚,m.

2.3 网下综放开采垮落带高度分析

1) 类比法分析

兴隆庄二采区进行了2个工作面4个位置垮落带高度的实测,结果分析得到网下综放条件下垮落带高度与开采厚度的比值介于2.4~3.1.安全起见,330工作面3煤综放开采厚度按平均厚度8.2 m计算,顶分层开采2.8 m,网下综放5.4 m,垮采比按3.1计算,即可得到预计垮落带高度为25.4 m.

2) 经验公式预计

根据文献[1]中网下综放开采垮落带高度的经验公式为

$$H_k = \frac{100 \sum M}{2.13 \sum M + 15.93} \pm 2.72. \quad (2)$$

根据文献[16],网下综放条件下垮落带高度的经验公式为

$$H_k = \frac{100 \sum M}{1.79 \sum M + 19.97} \pm 3.20. \quad (3)$$

为此,将3煤平均开采厚度8.20 m分别代入式(2)和式(3),为安全起见,中误差均取正值,得出330工作面3煤网下综放开采时的最大垮落带发育高度分别为27.3和26.9 m.

对比上述2种方法发现,最大垮落带高度根据式(2)和式(3)计算的结果差别不大,但与垮采比按3.1计算的结果差别较大.综合分析认为330工作面3煤网下综放开采后垮落带最大高度27.3 m.

2.4 底分层开采垮落带高度分析

依据兴隆庄煤矿分层综采的垮落带高度经验公式及类比法,对330工作面在采厚度3.0 m条件下采用底分层综采时,顶板垮落带高度进行分析.

1) 考虑该工作面基岩厚度很薄,按顶分层冒高采厚比最大4.5进行估算^[16],由式(4)计算.

$$H_k = 4.5 \sum M. \quad (4)$$

2) 根据兖州矿区的经验公式^[16],兖州矿区综采分层条件下经验公式为

$$H_k = \frac{100 \sum M}{5.45 \sum M + 5.82} \pm 3.15. \quad (5)$$

3) 本区3煤覆岩属中硬偏软类型,根据《“三下”开采规范》^[6],按照中硬覆岩类型由式(6)计算.

$$H_k = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2. \quad (6)$$

将3煤底分层开采厚度3.0 m依次代入式(4)~式(6),安全起见,中误差均取正值,得出该条件下最大垮落带发育高度分别为13.5,16.7,11.3 m.综合分析认为取16.7 m.

3 工作面防砂安全煤岩柱留设

按《“三下”开采规范》^[6]中防砂安全煤岩柱的留设方法,由式(7)计算最小防砂安全煤岩柱尺寸.

$$H_s \geq H_k + H_b. \quad (7)$$

式中: H_s 为防砂安全煤岩柱垂高,m; H_b 为保护层厚度,m;根据研究区开采地质条件,这里取 $H_b = 2A$,其

中 $A = \frac{\sum M}{n}$, n 为开采煤层的分层层数.

3.1 综放开采条件下安全煤岩柱留设尺寸的确定

3.1.1 保护层的选取

《“三下”开采规范》^[6]对综放开采条件下垮落带和导水裂隙带高度的计算以及保护带厚度的选取尚无明确规定.根据杨村煤矿301,305,307等工作面以及相邻兴隆庄煤矿、鲍店煤矿、横河煤矿等综放全厚开采时,保护层厚度取1.5倍采厚并开采成功.为安全起见,本次保护层厚度取 $2A$,即16.4 m.

3.1.2 综放开采防砂煤岩柱尺寸确定

综放开采过程中3煤层按平均厚度8.2 m计算的垮落带最大高度为32.8 m,按防砂煤岩柱的留设方法,将垮落带最大高度32.8 m和保护层厚度16.4 m,代入式(7),计算出综放条件下最小防砂煤柱高度为49.2 m.

按留设防砂安全煤岩柱进行管理,2008年鲁煤安管字[2008]71号文给予批复,杨村煤矿3煤采区煤岩柱厚度大于38.6 m,采高7.7 m,可采用综放开采.但根据38.6 m基岩厚度按照式(7)反算最大允许的综放采高 M ,若防砂安全煤岩柱垂高为38.6 m,保护层厚度取 $2M$,垮落带高度 $4M$,则可计算出 $M = 6.4$ m,即在基岩高度大于38.6 m时综放高度控制在6.4 m.

3.2 网下综放开采条件下安全煤岩柱留设尺寸的确定

3.2.1 保护层的选取

杨村煤矿缺少网下综放开采相关经验数据,《“三下”开采规范》^[6]也尚缺少网下综放开采条件下防砂安全煤岩柱保护层厚度的有关规定,只能借鉴类似开采条件下的成功经验.

和杨村煤矿相邻的鲍店煤矿5303-2工作面浅部采用网下综放开采,并且保护层按1.5倍的网下综放厚度留设,已成功回采;兴隆庄煤矿23S1和23S3工作面均采用走向长壁综采顶分层与网下综采放顶煤开采相结合的采煤方法已成功回采,最小保护层厚度约为网下综放厚度的1.65倍和0.7倍.杨村煤矿330工作面与5303-2工作面、兴隆庄煤矿23S1和23S3工作面覆岩岩性结构特征相似,为安全起见,取网下综放开采条件下保护层厚度为2倍网下综放开采厚度5.4 m,保护层厚度10.8 m.

3.2.2 网下综放条件下防砂煤岩柱尺寸确定

由覆岩破坏高度预计可知,网下综放开采过程中垮落带最大高度为27.3 m,按防砂煤岩柱的留设方法,将垮落带最大高度27.3 m和保护层厚度10.8 m,代入式(7),计算出网下综放条件下最小防砂煤柱高度为38.1 m.

3.3 底分层开采条件下安全煤岩柱留设尺寸的确定

3.3.1 保护层的选取

330工作面覆岩大致可划分属于下硬上软的中硬类型,松散层底部黏土层厚度大致为0.00~5.25 m,

其上底有效厚度约为 13.7~21.3 m,平均 18.2 m,属于弱含水层。

3.3.2 底分层开采条件下防砂煤岩柱尺寸确定

3 煤层开采厚度 3 m,预计底分层开采条件下最大垮落带高度约 16.7 m,保护层厚度 $2A=6$ m,根据式(7)得 330 工作面按防砂安全煤岩柱留设的最小垂高应为 22.7 m。

综上所述,将不同开采条件下留设防砂煤岩柱最小高度整理得表 1。这样可根据图 5 基岩厚度等值线再按照表 1 开采工艺条件对应的最小防砂煤岩柱高度进行开采方案设计。

表 1 不同开采条件下所需安全煤岩柱厚度计算对比

| 开采工艺条件 | 采高 $\sum M/m$ | 垮落带最大高度 H_k/m | 保护层厚度 H_b/m | 最小防砂煤岩柱高度 H_s/m |
|------------|---------------|-----------------|---------------|-------------------|
| 综放开采(两种厚度) | 8.2 | 32.8 | 16.4 | 49.2 |
| | 6.4 | 25.8 | 12.8 | 38.6 |
| 网下综放开采 | 5.4 | 27.3 | 10.8 | 38.1 |
| 底分层开采 | 3.0 | 16.7 | 6.0 | 22.7 |

4 结论

- 1) 330 工作面水体下采动等级为 II 级,该工作面可按留设防砂煤岩柱进行试采。
- 2) 给出 3 种不同开采方式下最小防砂安全煤岩柱高度。
- 3) 3 煤层按防砂煤岩柱留设仅开采底分层 3.0 m 是安全的,但会造成大量优质煤炭资源的浪费,应进一步加强不同区域不同开采厚度的分区开采研究。

参考文献:

- [1] 黄福昌,倪兴华,张怀新.厚煤层综放开采沉陷控制与治理技术[M].北京:煤炭工业出版社,2007.
- [2] 张永刚,李运江,刘延欣,等.厚松散层薄基岩下煤柱留设类型转变研究[J].煤炭技术,2017(5):63-65.
- [3] 孙晓倩,姜振泉,王宗胜,等.浅埋煤层分层开采“两带”高度预测[J].矿业研究与开发,2015,35(2):108-111.
- [4] 于钟博,刘延欣,武宇亮,等.基于钻孔成像技术与数值模拟的“两带”高度研究[J].煤矿安全,2019,50(6):201-204.
- [5] 刘延欣,武宇亮,岳尊彩,等.采动应力在薄基岩及厚松散层底部传递规律探究[J].中国煤炭,2019,45(1):83-88.
- [6] 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].北京:煤炭工业出版社,2017.
- [7] 武强.煤矿防治水手册[S].北京:煤炭工业出版社,2013.
- [8] 吴璋,王晓东,李建文,等.神府矿区浅埋薄基岩煤层顶板涌水溃砂防控技术[J].煤矿安全,2016,47(11):150-154.
- [9] 杨达明,郭文兵,谭毅,等.薄基岩厚松散含水层下综放开采安全性研究[J].安全与环境学报,2018,18(1):129-134.
- [10] 徐海涛,康庆涛.厚松散层薄基岩煤层开采突水溃砂风险评价[J].煤矿开采,2017,22(3):78-81.
- [11] 杨彪.基于 FLAC^{3D}的薄基岩区覆岩破坏高度数值模拟研究[J].能源与环保,2017,39(1):76-79.
- [12] 杨俊哲,吴作启,李宏杰,等.浅埋薄基岩工作面溃水溃砂模拟试验及影响因素分析[J].煤炭科学技术,2017,49(12):116-119.
- [13] 徐建国.浅埋深薄基岩矿井综放工作面导水裂缝带发育规律研究[J].中国煤炭,2019,45(7):98-105.
- [14] 曹思文,刘瑞新,张振国.杨村煤矿 318 工作面特厚煤层开采“两带”高度研究[J].能源技术与管理,2017,42(4):111-113.
- [15] 朱伟.厚松散层薄基岩下采动裂隙发育规律及应用[J].金属矿山,2019(10):126-135.
- [16] 兖州煤业股份有限公司.兖州矿区生产地质报告[R].2014.