软弱覆岩下厚煤层综放开采导水断裂带高度计算

方 杰[1,2,3],徐会军[2],曹志国[2,3],李 鹏[4]

(1. 中国矿业大学(北京) 煤炭资源与安全开采国家重点实验室,北京 100083; 2. 神华集团有限责任公司 科技发展部,北京 100011;
3. 神华集团有限责任公司 煤炭开采水资源保护与利用国家重点实验室,北京 100011; 4. 神华神东煤炭集团有限责任公司,陕西 神木 719315)

摘 要: 为得到蒙东地区无软弱覆岩层地质条件下特厚煤层综放开采导水断裂带的准确测算方法,以神华大雁矿业公司敏东一矿 02 工作面为例,分别采用煤矿防治水经验公式、"三下"采煤计算公式等方法计算导水断裂带高度; 同时,采用 FLAC^{3D} 软件对煤层顶板覆岩破坏对覆岩导水断裂带发育过程进行模拟,分析了不同推进距离下的导水断裂带发育高度,采用塑性区分布法,得到了导水断裂带发育高度"突变"和"稳定"2 种状态与回采工作面的推进距离。经计算,3 种方法得到的导水断裂带高度分别为 93.12、26.67 和 88.00 m,而采用现场钻探观测表明导水断裂带高度为 83.78 m。实测数据表明,蒙东地区软弱覆岩特厚煤层综放开采条件下冒采比为 5,裂采比为 11。

关键词: 软弱覆岩层; 综放开采; 导水断裂带; 冲洗液漏失量

中图分类号: TD325 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)08-0067-07

Calculation on height of water conducted zone for fully-mechanized top coal caving mining in thick seam under soft and weak overburden strata

Fang Jie[1,2,3], Xu Huijun[2], Cao Zhiguo[2,3], Li Peng[4]

(1. *State Key Lab of Coal Resources and Safety Mining, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing* 100083, *China*;
2. *Department of Science and Technology Development, Shenhua Group Corporation Limited, Beijing* 100011, *China*;
3. *State Key Lab of Water Resources Protection and Utilization in Coal Mining, Shenhua Group Corporation Limited, Beijing* 100011, *China*;
4. *Shenhua Shendong Coal Group Corporation Limited, Shenmu* 719315, *China*)

Abstract: In order to get the accurate calculation method of the water conducted zone in the fully mechanized top coal caving mining in ultra thick seam under the geological conditions of the soft and weak overburden rock strata in the east part of Inner Mongolia Area, based on the No.02 coal mining face in No. 1 Mindong Mine of Shenhua Dayan Mining Company as a case, the coal mine water prevention and control empirical formula, calculation formula of the coal mining under "three surface objects" and other method were applied to calculate the height of the water flowing crack zone. Meanwhile, the FLAC^{3D} software was applied to simulate the overburden rock water flowing crack zone development process of the seam roof overburden failure and to analyze the water flowing crack zone development height under the different pushing forward distances. The plastic zone distribution method was applied to obtain the water flowing crack zone development height in "sudden" and "stable" states and the pushing forward distance of the coal mining face. With the calculations, three methods showed the heights of the water flowing crack zones would be 93.12, 26.67and 88.00 m individually and the site drilling exploration showed that the height of the water flowing crack zone was 83.78 m. The site, measured data showed that the falling and mining height ratio was 5 and the fractured zone height and mining height ratio was 11 under the condition of the fully-mechanize top coal caving mining in ultra thick seam with the soft and weak overburden rock strata in the east part of Inner Mongolia Area.

Key words: soft and weak overburden rock strata; fully-mechanized top coal caving mining; water conducted zone; flushing fluid leakage

收稿日期: 2016-04-24; **责任编辑:** 曾康生 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2016.08.012

基金项目: "十二五"国家科技重点支撑计划资助项目(2012BAC10B03)

作者简介: 方 杰(1984—),男,陕西神木人,博士研究生。Tel: 010-57595902, E-mail: 10038939@shenhua.cc

引用格式: 方 杰,徐会军,曹志国,等.软弱覆岩下厚煤层综放开采导水断裂带高度计算[J].煤炭科学技术,2016,44(8):67-73.

Fang Jie, Xu Huijun, Cao Zhiguo, *et al*. Calculation on height of water conducted zone for fully-mechanized top coal caving mining in thick seam under soft and weak overburden strata[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(8): 67-73.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

0 引　　言

导水断裂带发育高度是煤矿顶板水害防治的重要参数，也是煤矿水体下采煤设计和保水采煤的基础和前提依据，是煤矿防治水工作的重要内容之一[1]。我国北方大雁、扎赉若尔、伊敏河等矿区上层煤大多覆盖较厚软弱岩层，其中神华大雁公司敏东一矿开采的 16-3 煤层上覆软弱岩层厚度超过 200 m，煤层厚度超过 8 m，采用综放开采工艺，众多因素共同作用使得导水断裂带发育高度计算变得极为复杂，目前同类地质条件下尚无可参考借鉴的方法。同时，敏东一矿开采的 16-3 煤层上部软弱岩层属于强含水层，如果导水断裂带发育高度进入强含水层，按照以往水文勘察报告，预计工作面正常涌水量为 1 800 m^3/h，将会给矿井安全开采带来极大威胁。为此，研究软弱岩层下特厚煤层综放开采导水断裂带高度确定方法尤为重要。

目前，我国应用较为普遍的导水断裂带发育高度预计方法是《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》(以下简称“三下规程”)中推荐的统计经验公式[2]，该公式反映了煤层采高对导水断裂带发育高度的影响，且统计样本的采高一般都小于 3.0 m，未考虑煤层顶板岩层的结构类型、煤层赋存条件、顶板管理方法、开采深度、开采方法、工作面尺寸以及采高大于 3.0 m 等条件，无法取得准确结果[3-6]。笔者以神华集团大雁公司敏东一矿 02 综放工作面(下简称 02 工作面)为研究对象，分别采用 2 种经验公式预计[7]、数值模拟和现场实测等方式对该工作面导水断裂带发育高度进行测算[8]，并对各方法计算结果与实测数据进行对比分析，为后续工作面安全回采过程中的顶板水害防治提供指导，同时确定了该地质条件下导水断裂带高度的确定方法，填补了大雁、扎赉若尔、伊敏河等矿区软弱覆岩综放开采条件下覆岩破坏规律的研究空白，对具有相似地质条件矿井的导水断裂带发育高度计算具有参考借鉴。

1 矿井及工作面概况

敏东一矿隶属于神华集团大雁公司，2008 年建矿，矿井设计生产能力为 500 万 t/a，采用立井方式开拓，走向长壁综采放顶煤开采工艺。矿井首采工作面(02 工作面)位于南一盘区，开采 16-3 上煤层。02 工作面于 2012 年 2 月 7 日开始试生产，初期涌水量约为 60 m^3/h，随着采动影响的加剧，在综放条件下导水断裂带发育高度进入上部强含水层，在工作面推进到 16 m 时涌水量突然达到 650 m^3/h，矿井被迫停产。停产后施工放水钻孔 95 个，工作面及采空区探放水涌水量达到 950 m^3/h 左右，矿井总涌水量达到 1 055 m^3/h。为安全回采，采煤工艺被迫由综采放顶煤法改为限制放煤高度的综放法，防治导水断裂带进入上部强含水层，确保井下生产安全。

为保证 02 工作面及后续工作面的顺利回采，取得综放开采条件下导水断裂带发育高度数据及模拟导水断裂带发育过程显得非常关键，有必要对 02 工作面进行导水断裂带发育高度研究。02 工作面是敏东一矿东翼盘区的首采工作面，工作面长 1 845 m，宽 195.5 m，开采 16-3 煤层，埋深 310~370 m，煤层厚度为 7.6~15.0 m，煤层平均倾角为 5°。煤层结构较为简单，伪顶是炭质泥岩，厚度小于 0.5 m；直接顶是砂质泥岩，平均厚度为 7.8 m，抗压强度是 12.38 MPa；基本顶是泥质粉砂岩，局部发育粗砂岩、砂砾岩，抗压强度为 14.05 MPa。煤层上部岩石抗压强度较小，为典型的上侏罗统-白垩系泥质膨胀软岩，遇水后容易导致抗压强度快速下降，容易泥化。

工作面顶板主要含水层从上而下依次为第四系含水层、15 煤层顶部含水层(Ⅰ含)、16 煤层顶板含水层(Ⅱ含)、16 煤层及煤层间含水层(Ⅲ含)，在 4 个含水层间均有隔水层存在，具体参数见表 1。

2 覆岩导水断裂带高度计算

2.1 导水断裂带高度经验公式计算

1)《煤矿防治水手册》中收集了华北矿区国内 40 余个综放开采工作面覆岩“两带”高度实测值，采用数理统计回归分析的方法，得出了适用于华北地区的综放开采工作面中硬、软弱条件下的“两带”高度经验公式[9-10]。其中，软弱覆岩条件下的计算公式如下：

垮落带发育高度为

$$H_m = \frac{100M}{-1.19M + 28.57} \pm 4.76 \quad (1)$$

导水断裂带发育高度为

$$H_{li} = \frac{100M}{-0.33M + 10.81} \pm 6.99 \quad (2)$$

采用该方法计算，敏东一矿 02 工作面煤层开采厚度 M=7.7 m，垮落带高度为 39.68±4.76 m，导水

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

断裂带发育高度为 93.12±6.99 m，冒采比为 5.15，　　裂采比为 12.09。

表 1　敏东一矿 02 工作面上部含水层和隔水层情况

Table 1　The No. 02 mining face upper situation of aquifer and aquifuge of No. 1 Mindong Mine

序号	含水层	性质	岩性	厚度/m	平均厚度/m	渗透系数/(m·d^{-1})
1	第四系含水层	含水层	粗、中砂岩	0~99.65	57.77	58.168~114.09
2	15 煤组顶板隔水层	隔水层	泥岩、粉细砂岩	0~122.00	7.79	—
3	Ⅰ含	含水层	砾岩、砂砾岩	0~140.50	46.36	1.62~3.79
4	15 煤组间隔水层	隔水层	泥岩、粉细砂岩	0~214.30	43.48	—
5	Ⅱ含	含水层	砾岩、砂砾岩	0~133.45	55.00	1.26~8.33
6	16 煤组顶板隔水层	隔水层	泥岩、粉细砂岩	0~66.30	19.98	—
7	Ⅲ含	含水层	砾岩、砂砾岩	0~135.41	38.13	0.28~1.71
8	16 煤组间隔水层	隔水层	泥岩、粉细砂岩	1.83~131.00	54.60	—
9	16-3 上	煤层	煤	—	15.40	—

2) “三下规程”中给出计算厚煤层分层开采时垮落带高度和导水断裂带高度计算公式，02 工作面顶板岩性为泥岩、泥质砂岩、砂岩和砂砾岩，岩石多属于泥质胶结，岩性属于软弱，估算经验公式如下:

垮落带发育高度为

$$H_{\mathrm{m}}=\frac{100\sum M}{6.2\sum M+32}\pm1.5 \qquad (3)$$

导水断裂带发育高度为

$$H_{\mathrm{li}}=\frac{100\sum M}{3.1\sum M+5}\pm4.0 \qquad (4)$$

或者

$$H_{\mathrm{li}}=10\sqrt{\sum M}+5 \qquad (5)$$

应用该方法，敏东一矿 02 工作面煤层 $\sum M=$ 7.7 m。将其代入上式计算得垮落带高度为 9.65±1.5 m，导水断裂带发育高度为 26.67±4.0 m，32.74 m。冒采比为 1.25，裂采比为 3.46。

以上 2 种经验公式计算得出的工作面覆岩垮落带发育高度、导水断裂带发育高度、冒采比、裂采比差值较大，也是长久以来该地区导水断裂带发育高度争论的主要原因。因此，单一的通过经验公式计算无法准确的指导生产，必须采用多种手段来对该地区的导水断裂带发育高度进行深入研究[10-14]。

2.2　工作面顶板覆岩数值模拟分析

2.2.1　三维建模

采用 FLAC^{3D} 软件对敏东一矿 02 工作面覆岩破坏规律进行数值建模。数值试验模型由 15 层煤岩层组成(表 2)。

表 2　敏东一矿 02 工作面数值模型煤岩层物理力学参数

Table 2　Physical and numerical model mechanical parameters of No. 02 mining face of Mindong No. 1 Mine

序号	岩性	厚度/m	弹性模量/MPa	抗压强度/MPa	容重/(kN·m^{-3})	内摩擦角/(°)	泊松比	黏聚力/MPa
1	第四系	56	1 000	1.59	17.2	30.9	0.31	0.069
2	粗砂岩	15	6 000	14.60	25.0	42.0	0.19	3.270
3	中砂岩	20	3 500	11.83	25.4	40.0	0.18	2.920
4	中砾岩	24	6 000	14.60	25.0	42.0	0.19	3.270
5	泥岩	22	4 300	12.38	25.2	39.0	0.18	3.320
6	粉砂岩	38	5 000	13.18	24.7	41.0	0.19	2.890
7	中砾岩	13	4 000	9.07	24.6	41.0	0.19	2.710
8	泥岩	12	4 300	12.38	25.2	39.0	0.18	3.320
9	中砾岩	30	6 000	14.60	25.0	42.0	0.19	3.270
10	泥岩	25	4 300	12.38	25.2	39.0	0.18	3.320
11	粉砂岩	22	4 300	12.38	25.2	41.0	0.18	4.050
12	中粗砂岩	38	3 500	11.83	25.4	40.0	0.18	2.920
13	泥岩	5	4 300	12.38	25.2	39.0	0.18	3.320
14	16-3	8	1 000	4.08	13.5	38.0	0.28	2.130
15	粉砂岩	30	4 800	13.45	28.5	41.5	0.24	4.880

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

模型长、宽、高为 1 500 m×420 m×358 m，其中 16-3 号煤层厚 8 m，煤层上覆岩层总厚 320 m，其中基岩厚 264 m，松散层厚 56 m。模型沿走向长度为 1 500 m，划分为 150 个单元格，每个单元格长 10 m；沿倾向长度为 420 m，划分为 30 个单元格，每个单元格长 14 m。为了消除边界效应，走向两侧分别留有 100 m 的煤柱，倾向两侧分别留有 112 m 的煤柱。模型沿走向开挖长度为 1 300 m，每次开挖 100 m，倾向开挖长度 196 m。

2.2.2　判别标准

笔者利用数值模拟得到的塑形区分布范围和高度，判定垮落带、导水断裂带的高度，即塑性区分布法，根据不同的强度和屈服准则，采用不同的岩石力学参数来计算岩石的塑性区分布范围。破坏准则采用 Mohr-Coulomb 准则。

$$f_s = \sigma_1 - \sigma_3 N + 2C\sqrt{N} \tag{6}$$

$$f_t = \sigma_3 - \sigma_t \tag{7}$$

式中：f_s 为剪切屈服应力；σ_1、σ_3 分别为最大主应力和最小主应力；N 为塑性指数；C 为材料的黏聚力；f_t 为拉伸屈服应力；σ_t 为抗拉强度。

当 $f_s = 0$ 时，材料发生剪切破坏；当 $f_t = 0$ 时，材料发生拉伸破坏。

2.2.3　覆岩破坏数值模拟分析

02 工作面数值模拟过程为：沿走向每次开挖 100 m，累计开挖 1 300 m（图 1）。

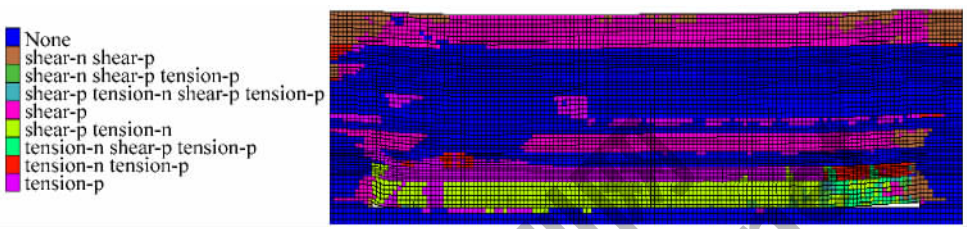


图 1　敏东一矿 02 工作面推进 1 300 m 时覆岩破坏情况

Fig. 1　Destruction of overlying strata in No. 02 mining face of Mindong No. 1 Mine when arrived 1 300 m

导水断裂带发育高度发育过程整体表现为“台阶状”增加的特点。当工作面推进距离由 100 m 增加到 200 m 时，导水断裂带发育高度也由 45.8 m 增加到 67.4 m；而当工作面推进距离继续增加到 600 m 时，导水断裂带发育高度基本稳定在 66.7 m 左右；当工作面推进到 700 m 时，导水断裂带发育高度快速增加至 88 m，并基本保持在该位置，不再随着工作面的推进而发生明显变化（图 2）。

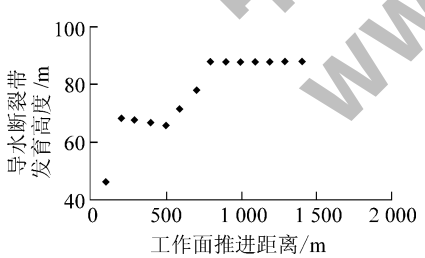


图 2　三维数值模型导水断裂带高度发育过程

Fig. 2　3D numerical model of water conducted zone height and development process

在三维数值模型中，垮落带最大高度约 35.4 m，冒采比为 4.43；冒裂带最大高度约 88 m，裂采比为 11。

2.3　导水断裂带高度实测

根据矿井实际开采地质条件，笔者采取的实测办法是在 02 工作面地表分别在采前、采后施工地质钻孔，通过比对 2 个钻孔冲洗液漏失量消耗判断原始地层裂隙发育程度及采后导水断裂带、垮落带发育高度。本次钻孔冲洗液漏失量观测按照煤炭行业标准 MT/T 865—2000《导水断裂带高度的钻孔冲洗液漏失量观测方法》进行[15]。试验观测过程中，冲洗液消耗量没有随着钻孔深度增加而增加，整个钻进过程中冲洗液循环正常，没有出现中断或全部漏失的现象。

本次实测观测钻孔在 02 工作面中部，距离开切眼位置 718.36 m，距离运输巷 32 m，采前孔为 T1 孔，采后孔为 T2 孔，两孔间距为 5 m（图 3）。

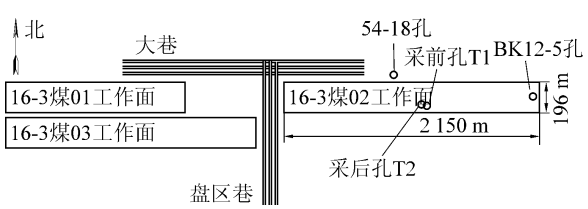


图 3　覆岩高度破坏实测钻孔布置

Fig. 3　Layout of overburden height damage measured borehole

T1 孔深 350 m，终孔层位是 16-3 煤层底板；T2 孔深 319 m，终孔层位是 16-3 煤层顶板。采前孔 T1 开工时间为 2014 年 5 月 6 日，孔深 150 m 以上只进

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

行简易水文观测,而不进行漏失量观测,孔深 150 m 以内下入套管进行固孔,之后换径重新开始钻探至终孔,此孔段为观测段。孔深 240 m 以后开始取心,至终孔。

2.3.1　钻孔冲洗液消耗情况

本次试验冲洗液漏失量观测间距为 0.6 m,即钻机给进行程。钻机回次进尺约 7 m,每 0.6 m 记录观测池中水位变化及所用钻探时间,计算单位时间冲洗液漏失量及单位时间单位进尺冲洗液漏失量。

T1 孔在整个观测过程中,单位时间冲洗液漏失量变化为 0~0.625 L/s,平均值 0.043 L/s,单位时间单位进尺冲洗液漏失量变化为 0~1.042 L/(s·m),平均值 0.073 L/(s·m)。

T2 孔在整个观测过程中,单位时间漏失量为 0~8.40 L/s,平均 0.902 L/s,单位时间、单位进尺漏失量为 0~14.00 L/(s·m),平均 1.538 L/(s·m)。不论单位时间漏失量还是单位时间单位进尺漏失量,在数量级上均较采前孔有较大增幅,且都有随钻孔深度增加而变大的趋势。说明受采矿活动影响,上覆地层发生破坏、变形,应力重新分布,产生新的裂隙,冲洗液消耗量大于原始地层。

T2 孔继续钻进至 246.22 m 处,冲洗液循环中断,经堵漏后向下钻进时冲洗液不返浆,全部漏失(图 4)。经钻探取心验证,该处岩心破碎,且钻孔水位下降较快,推测此处即为导水断裂带顶点。T2 孔钻进至 293.35 m 处,消耗量达 14 L/(s·m),为整个观测过程的最大值,判断此处为垮落带顶点。

采后 T2 孔的冲洗液消耗量观测结果表明导水断裂带顶点在孔深 246.22 m 处,垮落带顶点在孔深 293.35 m 处。

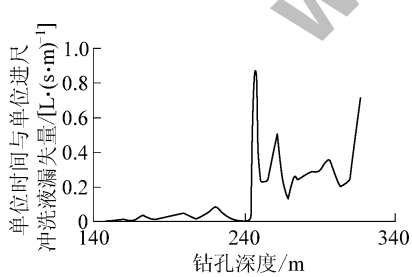


图 4　T2 孔冲洗液漏失量变化曲线

Fig. 4　Curve of flushing fluid consumption of Hole T2

2.3.2　钻孔水位变化情况

在钻孔施工过程中,在每一回次下钻前与提钻后,均观测钻孔水位。在整个钻进过程中,钻孔水位埋深变化范围为 42.0~64.4 m,随着钻孔深度不断增加,钻孔水位呈下降趋势。采前 T1 孔在 150m 处水位埋深为 42 m,与Ⅱ含水位埋深接近,终孔附近水位接近矿井Ⅲ含水位埋深。采后孔 T2 在 150 m 处水位埋深为 45.30 m,与采前孔基本一致。钻孔水位埋深随钻孔深度增加而增加,在 243.22 m 处水位突然下降(图 5),表明进入导水断裂带顶点,漏失量增大,水位急剧下降,过了导水断裂带顶点之后,水位稍有恢复,而到 293.35 m 处,水位埋深又急剧下降至 80.30 m,表明此处裂隙发育,过水通道明显,水位埋深最大为 87.10 m,孔内一直有水位,说明上覆岩层冒落之后,经过长时间的稳定压实,下部裂隙闭合,裂隙无法与采空区沟通或沟通微弱。

采后孔 T2 的水位观测结果表明导水断裂带顶点在孔深 243.22 m 处。

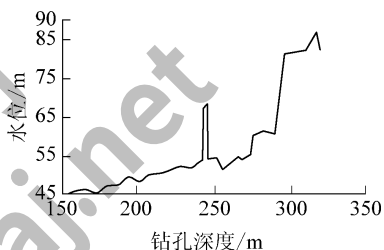


图 5　T2 孔水文埋深曲线

Fig. 5　Curve of hydrological buried depth of Hole T2

2.3.3　实测结果及数据分析

冲洗液消耗量实测观测结果表明导水断裂带顶点在孔深 246.22 m 处,垮落带顶点在孔深 293.35 m 处。钻孔位置处的煤层顶板埋深为 330 m,由此计算得出实测导水断裂带高度为 83.78 m,垮落带高度为 36.65 m。水位观测实测结果表明导水断裂带顶点在孔深 243.22 m 处,技术得出导水断裂带高度是 86.78 m。二者数据相互印证,统筹考虑认为实测导水断裂带高度为 83.78 m,垮落带高度为 36.65 m。

3　计算结果对比分析

现场实测、数值模拟和 2 种经验公式确定的“两带”高度结果见表 3。结果表明: 采用“三下规程”的“三下”采煤经验公式的计算结果与现场钻孔实测数值相差较大,表明该公式不适合在该类型地质条件、开采方法下的导水断裂带高度预测; 而煤矿防治水经验公式和三维数值模拟的计算结果与实测数据相近,采用该 2 种方法较为科学可靠,为确保准

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

确预测,建议将两种结合使用。

表 3　“两带”高度结果分析对比

Table 3　Results comparison to caving zone and fractured zone height

参数	煤矿防治水经验公式	“三下”公式	三维数值模拟	现场实测
垮落带/m	39.68	9.65	35.40	36.65
冒采比	5.15	1.25	4.43	4.76
导水断裂带高/m	93.12	26.67	88.0	83.78
裂采比	12.09	3.46	11.00	10.88

“三下开采”规程中的经验公式计算得出的冒采比和裂采比数据与其他几种方法计算得出的结果相差较大,分析原因是该公式只反映了煤层采高对导水断裂带发育高度的影响,且统计样本的采高一般都小于 3.0 m,与敏东一矿开采条件相差较大,故该数据不具备实际指导意义。

4　结　　语

1) 分别采用现场实测、数值模拟和 2 种经验公式对敏东一矿 02 工作面软弱覆岩综放开采条件下垮落带发育高度和导水断裂带发育高度进行研究,综合分析认为垮落带发育高度为 36.65~39.68 m,导水断裂带发育高度为 83.78~93.12 m,冒采比为 5,裂采比为 11,为该工作面开采提供科学依据。

2) 采用 FLAC^{3D}对敏东一矿 02 工作面进行三维数值模拟,对工作面推进过程的覆岩破坏情况进行模拟,采用塑性区分布法,分析了不同阶段的导水断裂带发育高度,得出当工作面推进距离由 100 m 增加到 200 m 时,导水断裂带发育高度“突变”;工作面推进距离增到 600 m 时,导水断裂带发育高度基本稳定,对井下顶板防治水工作具有指导意义。

3) 煤矿防治水经验公式与数值模拟方法计算得到的导水断裂带高度与实测较为符合,适合于软弱覆岩层地质条件下特厚煤层综放开采的导水断裂带高度测算,未来在敏东一矿及与其地质和开采条件相类似的矿井,可采用 2 种方法相互结合的方式计算导水断裂带高度。

参考文献(References) :

[1] 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[M]. 北京: 煤炭工业出版社,2000.

[2] 武　强,赵苏启,董书宁,等.煤矿防治水手册[M].北京: 煤炭工业出版社,2013.

[3] 张　辉,朱术云,李秀晗,等.综放开采覆岩导水断裂带高度研究[J].工矿自动化,2015,41(1):10-14.
Zhang hui,Zhu Shuiyun,Li Xiuhan,*et al*.Research of height of water flowing fractured zone of overburden strata in fully-mechanized top-coal caving[J].Industry and Mine Automation,2015,41(1):10-14.

[4] 马亚杰,武　强,章之燕,等.煤层开采顶板导水断裂带高度预测研究[J].煤炭科学技术,2008,36(5):59-62.
Ma Yajie,Wu Qiang,Zhang Zhiyan,*et al*.Research on prediction of water conducted fissure height in roof of coal mining seam[J].Coal science and technology,2008,36(5):59-62.

[5] 王连国,王占盛,黄继辉,等.薄基岩厚风积沙浅埋煤层导水断裂带高度预计[J].采矿与安全工程学报,2012,29(5):607-612.
Wang Lianguo,Wang Zhansheng,Huang Jjihui,*et al*.Prediction on the height of water-flowing fractured zone for shallow seam covered with thin bedrock and thick windblown sands[J].Journal of Mining & Safety Engineering,2012,29(5):607-612.

[6] 高保彬,刘云鹏,潘家宇,等.水体下采煤中导水断裂带高度的探测与分析[J].岩石力学与工程学报,2014,33(1):3384-3390.
Gao Baobin,Liu Yunpeng,Pan Jiayu,*et al*.Detection and analysis of height of water flowing fractured zone in underwater mining[J].Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2014,33(1):3384-3390.

[7] 徐智敏,孙亚军.水库下采煤导水断裂带高度预测[J].中国矿业,2008,17(3):96-99.
Xu Zhimin,Sun Yajun.Height prediction of the water conducted zone for mining under reservoir[J].China Mining Magazine,2008,17(3):96-99.

[8] 栾元重,李静涛,班训海,等.近距煤层开采覆岩导水断裂带高度观测研究[J].采矿与安全工程学报,2010,27(1):139-142.
Luan Yuanzhong,Li Jintao,Ban Xunhai,*et al*.Observational research on the height of water flowing fractured zone in repeated mining of shor t-distance coal seams[J].Journal of Mining & Safe ty Engineering,2010,27(1):139-142.

[9] 杨艳国,王　军,于永江.河下多煤层安全开采顺序对导水断裂带高度的影响[J].煤炭学报,2015,40(1):27-31.
Yang Yanguo,Wang Jun,Yu Yongjiang.Effects of different coal safe mining sequence under river on height of water flowing fracture zone[J].Journal of China Coal Society,2015,40(1):27-31.

[10] 许家林,朱卫兵,王小振.基于关键层位置的导水断裂带高度预计发[J].煤炭学报,2012,37(5):762-769.
Xu Jialin,Zhu Weibing,Wang Xiaozhen.New method to predict the height of fractured water-conducting zone by location of key strata[J].Journal of China Coal Society,2012,37(5):762-769.

[11] 胡晓娟,李文平,曹丁涛.综采导水断裂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.
Hu Xiaojuan,Li Wenping,Cao Dingtao.Index of multiple factors and expected height of fully mechanized water flowing fractured

zone [J] .Journal of China Coal Society,2012,37(4):613-620.

[12] 王双美.导水断裂带高度研究方法概述 [J] .水文地质工程地质,2006,33(5):120-128.
Wang Shuangmei.A brief review of the methods determining the height of permeable fracture zone [J] .Hydrogeology and Engineering Geology,2006,33(5):120-128.

[13] 陈荣华,白海波,冯梅梅.综放面覆岩导水断裂带高度的确定 [J] .采矿与安全工程学报,2006,23(2):220-223.
Chen Ronghua,Bai Haibo,Feng Meimei.Determination of height of water flowing fractured zone in overburden strata above fully-mechanized top coal caving face [J] .Journal of Mining & Safety Engineering,2006,23(2):220-223.

[14] 任奋华,蔡美峰,来兴平.采空区覆岩破坏高度监测分析 [J] .北京科技大学学报,2004,26(2):115-117.
Ren Fenhua,Cai Meifeng,Lai Xinping.Monitoring and analysis of the damage height of over burden rock mass on the mined out area [J] .Journal of University of Science and Technology Beijing,2004,26(2):115-117.

[15] 张健全,廖国华,黄在文,等.综放开采条件下覆岩离层动态发育规律 [J] .北京科技大学学报,2001,23(6):492-494.
Zhang Jianquan,Liao Guohua,Huang Zaiwen,*et al*.Dynamic principles of development of strata separation by fully mechanized top coal caving [J] .Journal of University of Science and Technology Beijing,2001,23(6):492-494.

[16] 代长青,宣以琼,杨本水.含水松散层下风氧化带内煤层安全开采技术 [J] .煤炭科学技术,2007,35(7):22-26.
Dai Changqing,Xuan Yiqiong,Yang Benshui.Dynamic principles of development of strata separation by fully mechanized top coal caving [J] .Coal Science and Technology,2007,35(7):22-26.

[17] 林　青,乔　伟.崔木煤矿顶板离层水防治技术 [J] .煤炭科学技术,2016,44(3):129-134.
Lin Qing,Qiao Wei.Water prevention and control technology of roof bed separation in Cuimu Mine [J] .Coal Science and Technology,2016,44(3):129-134.

[18] 王　莹,梁德贤,翟培合.采动影响下煤层覆岩电性变化规律研究 [J] .煤炭科学技术,2015,43(5):122-126.
Wang Ying,Liang Dexian,Zhai Peihe.Study on electrical property variation law of overburden strata above seam under mining influences [J] .Coal Science and Technology,2015,43(5):122-126.

(上接第 55 页)

相似模型试验 [J] .煤炭学报,2011,36(5):722-726.
Li Tao,Li Wenping,Chang Jinyuan,*et al*.Similar simulation of dynamic dive table with approximate shallow buried coal mining in Northern Shaanxi Province [J] .Journal of China Coal Society,2011,36(5):722-726.

[15] 徐　光,许家林,吕维赟,等.采空区顶板导水裂隙侧向边界预测及应用研究 [J] .岩土工程学报,2010,32(65):724-730.
Xu Guang,Xu Jialin,Lyu Weiyun,*et al*.Lateral boundary prediction of water conducting fracture formed in roof and its application [J] .Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2010,32(5):724-730.

[16] 李琰庆.导水断裂带高度预计方法研究及应用 [D] .西安:西安科技大学,2007.

[17] 李　涛,李文平,常金源,等.陕北浅埋煤层开采隔水土层渗透性变化特征 [J] .采矿与安全工程学报,2011,28(1):127-131,137.
Li Tao,Li Wenping,Chang Jinyuan,*et al*.Permeability features of water-resistant clay layer in northern shaanxi province while shallowly buried coal mining [J] .Journal of Mining & Safety Engineering,2011,28(1):127-131,137.

[18] 贾文玉,天素月,孙耀庭,等.成像测井技术与应用 [M] .北京:石油工业出版社,2000.

[19] 李文平,叶贵钧,张　莱,等.陕北榆神府矿区保水采煤工程地质条件研究 [J] .煤炭学报,2000,25(5): 449-454.
Li Wenping,Ye Guijun,Zhang Lai,*et al*.Study on the engineering geological conditions of protected water resources during coal mining action in Yu-Shen-Fu Mine Area in the north Shaanxi Province [J] .Journal of China Coal Society,2000,25(5):449-454.

[20] 黄庆享,蔚保宁,张文忠.浅埋煤层黏土隔水层下行裂隙弥合研究 [J] .采矿与安全工程学报,2010,27(1):35-39.
Huang Qingxiang,Wei Baoning,Zhang Wenzhong.Study of downward crack closing clay aquiclude in shallowly buried coal seam [J] .Journal of Mining & Safety Engineering,2010,27(1):35-39.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net