



移动扫码阅读

鞠金峰,马 祥,赵富强,等.东胜煤田导水裂隙发育及其分区特征研究[J].煤炭科学技术,2022,50(2):202-212.

JU Jinfeng, MA Xiang, ZHAO Fuqiang, et al. Development and zoning characteristics of water-conducted fractures in Dongsheng Coalfield[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(2): 202-212.

东胜煤田导水裂隙发育及其分区特征研究

鞠金峰^{1,2},马 祥³,赵富强⁴,刘阳军⁵,王业征³,刘 乐⁵,许家林⁶

(1.中国矿业大学 矿山互联网应用技术国家地方联合工程实验室,江苏 徐州 221008;2.中国矿业大学 物联网(感知矿山)研究中心,江苏 徐州 221008;3.内蒙古仲泰能源有限公司,内蒙古 鄂尔多斯 017000;4.国电建投内蒙古能源有限公司 察哈素煤矿,内蒙古 鄂尔多斯 017000;5.内蒙古伊泰集团有限公司,内蒙古 鄂尔多斯 017000;6.中国矿业大学 煤炭资源与安全开采国家重点实验室,江苏 徐州 221116)

摘 要:东胜煤田是我国西北部能源供给的重要基地,煤炭资源丰富但赋煤条件多变,导致不同矿区采动导水裂隙的发育存在显著差异;研究揭示东胜煤田采动导水裂隙发育的分区特征对于科学指导区域煤炭绿色高效开发具有重要意义。基于东胜煤田 17 对主力矿井 30 个工作面的导水裂隙发育特征统计与实测,获得了赋煤条件变化对导水裂隙带高度(简称“导高”)的影响规律;通过对东胜煤田赋煤条件的典型分区,提出了不同分区覆岩“导高”的预计方法。结果表明,相比深部开采,浅部煤层采动引起的覆岩“导高”波动程度更为显著,尤其在埋深 200~300 m,裂隙比上下波动范围可达 2.55 倍。覆岩导水裂隙的发育受控于关键层的破断运动,顶板 7~10 倍采高范围之外最近一层关键层底界即为导水裂隙发育的顶界;据此合理解释了浅/深埋煤层“导高”波动性差异的原因。浅埋煤层覆岩关键层数量相对偏少,极易出现主关键层进入 7~10 倍采高范围的情况,造成导水裂隙直接发育至基岩顶界,引起“导高”值的异常大幅度波动。而对于深部煤层,覆岩 7~10 倍采高范围之外关键层数量相对偏多、间距偏小,当因地质条件改变而引起关键层位置变化时,“导高”的波动范围仅限于 7~10 倍采高范围附近关键层与其上部相邻关键层之间的间距,难以出现“导高”的大幅度波动现象。据此提出,在埋深低于 500 m 条件不能直接使用采高倍数法进行“导高”预计,应根据关键层位置及其对破断裂缝导水性影响规律进行判断;而当埋深超 500 m 时,可按 17~24 倍采高的统计值进行简单估算。

关键词:绿色开采;导水裂隙;典型分区;关键层;东胜煤田

中图分类号:TD745 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2022)02-0202-11

Development and zoning characteristics of water-conducted fractures in Dongsheng Coalfield

JU Jinfeng^{1,2}, MA Xiang³, ZHAO Fuqiang⁴, LIU Yangjun⁵, WANG Yezheng³, LIU Le⁵, XU Jialin⁶

(1. The National and Local Joint Engineering Laboratory of Internet Application Technology on Mine, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 2. IoT/Perception Mine Research Center, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 3. Inner Mongolia Zhongtai Energy Co., Ltd., Erdos 017000, China; 4. Cahasu Coal Mine, Guodian & Jiantou Inner Mongolia Energy Investment Co., Ltd., Erdos 017000, China; 5. Inner Mongolia Yitai Group Co., Ltd., Erdos 017000, China; 6. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Dongsheng Coalfield is an important base of energy supply in Northwest China. It is rich in coal resources, but the coal bearing conditions are changeable, resulting in significant differences in the development of mining induced water-conducted fractures in different mining areas. Revealing the zoning characteristics of mining water-conducted fractures development in Dongsheng Coalfield is of great significance for scientifically guiding the green and efficient mining. Based on the statistics and measurement of the development characteristics of water-conducted fractures in 30 working faces of 17 main mines, the influence law of the change of coal mining conditions on the height of water-conducted fracture zone (HWFZ) is obtained. Under the typical zoning of coal conditions in Dongsheng Coalfield, the pre-

收稿日期:2021-12-10 责任编辑:周子博 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2021-0169

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2021YFC2902104);国家自然科学基金资助项目(51604259)

作者简介:鞠金峰(1986—),男,江苏如皋人,副研究员,博士。E-mail:jjfcumt@163.com

diction method of overburden HWFZ in different zoning is put forward. The results show that compared with deep mining, the fluctuation degree of HWFZ shallow coal mining is more significant, especially in the buried depth range of 200–300 m, the fluctuation range of fracture mining ratio can reach 2.55 times. The development of water-conducted fractures is controlled by the breaking movement of key strata (KS). The bottom boundary of the nearest KS outside the range of 7–10 times the mining height above the coal is the top boundary of water-conducted fractures. Therefore, the reason for the fluctuation difference of HWFZ in shallow or deep coal seam is reasonably explained. The number of overburden KS in shallow coal seam is relatively small, and it is very easy for the primary key stratum (PKS) to enter the range of 7–10 times the mining height, resulting in the direct development of water-conducted fractures to the top boundary of bedrock, resulting in abnormal large-scale fluctuation of HWFZ. But for deep coal seams, the number of KS outside the mining height range of 7–10 times of overburden is relatively large and the spacing is relatively small. When the position of KS changes, the fluctuation range of HWFZ is limited to the spacing between the KS near the mining height range of 7–10 times and its upper adjacent KS, so it is difficult to have a large fluctuation phenomenon of HWFZ. Therefore, it is proposed that when the buried depth is less than 500 m, the HWFZ can not be predicted directly by the mining height, and it should be judged according to the position of KS and its influence on the hydraulic conductivity of the broken fracture. When the buried depth exceeds 500 m, it can be simply estimated according to the statistical value of 17–24 times the mining height.

Key words: green mining; water-conducted fracture; typical zoning; key stratum (KS); Dongsheng Coalfield

0 引言

神府-东胜煤田是中国已探明的最大煤田,探明储量约 2 300 亿 t,位列世界七大煤田之首。其中的东胜煤田即是它在鄂尔多斯境内的一部分。由于东胜煤田大部分区域处于毛乌素沙漠边缘,生态环境非常脆弱;大规模煤炭开发引起的扰动、损伤势必造成区域生态环境的进一步恶化。因此,如何实现东胜煤田丰富煤炭资源的绿色开发,已成为采矿领域众多工程技术人员持续攻关的重大技术问题^[1]。

煤炭地下开采引起的导水裂隙是导致地下水流失及地表生态恶化的地质根源,研究揭示东胜煤田采动导水裂隙的发育规律,对于实现区域煤炭绿色开采具有重要指导意义^[2]。在实际工程实践中,现场往往倾向采用由经验统计得到的“采高倍数法”来估算采动覆岩的导水裂隙发育高度(以下简称“导高”)^[3];这一方法虽简单实用,但在开采条件发生变化时往往会出现估算结果与实际情况差异较大的现象,导致难以得到准确的“导高”发育情况以科学指导采煤实践。如神东矿区补连塔煤矿 31401 工作面^[4-5],采前按照经验统计法预估导水裂隙不会沟通上覆砂砾含水层,但实际开采却发生了多起突水事故;事后经探测发现,导水裂隙已发育至基岩顶界面,裂采比高达 35,远超出经验预估的采高倍数。显然,岩层赋存条件的变化是造成这种误差发生的根本原因,合理依据不同地质赋存条件开展“导高”的科学预计,显得尤为重要。

通过对东胜煤田赋煤条件的大量调研后发现,由于古构造条件与沉积环境等的不同,不同区域煤炭赋存表现出较大差别^[6-7]。区内煤层埋深整体呈

现东北部浅、西南部深的分布趋势,而不同主采煤层厚薄不均,但基本属于大采高开采条件。这种赋煤条件的差异必然引起区内不同矿井覆岩导水裂隙发育的不同;虽然已有较多文献^{[4-5][8-23]}(后文详述)对区内具体煤矿开采的导水裂隙发育进行了实测和研究,但相关成果尚未就东胜煤田上述赋煤特征分布差异对导水裂隙发育的影响规律开展研究,尚未形成适宜东胜煤田不同赋煤条件下的导水裂隙发育高度判别方法;而这些问题的研究对于科学指导东胜煤田后续煤炭的科学开发、绿色开采等都尤为重要。

为此,通过对东胜煤田各大主力矿井采动导水裂隙发育高度的大量调研,基于岩层控制的关键层理论,掌握了煤层赋存条件变化对导水裂隙发育波动的影响机制;依据东胜煤田赋煤条件的 4 区域典型分区,形成了各分区的“导高”预计方法,以期东胜煤田后续的绿色、高效开发提供参考。

1 东胜煤田导水裂隙发育特征

1.1 东胜煤田概况

东胜煤田位于内蒙古自治区中部,其东部相毗邻的即为神府煤田,两者以省界为边界线。其东北部为准格尔煤田,西部为桌子山煤田,西南部为上海庙煤田,如图 1a 所示。东胜煤田含煤面积约占鄂尔多斯市总面积的一半以上,共跨全市 8 个旗区,总面积约 57 000 km²,探明储量 1 352 亿 t。地层层序由老至新依次为三叠系、侏罗系、白垩系、第三系及第四系。煤层赋存条件稳定,水文地质条件简单,地质构造简单,矿井瓦斯含量极低。

东胜煤田含煤地层为侏罗系延安组,可采煤层 8 层,由下向上依次为 6-2 中煤、5-3 煤、5-1 煤、4-2 中

煤、4-1煤、3-1煤、2-2煤、以及1-2煤。煤层上覆岩层多以泥岩、砂质泥岩、砂砾岩等岩性为主。煤层厚度大、层数多、相邻间距小,是区域赋煤的典型特征,因而区域内多为高产高效的现代化大型矿井。通过调研后发现,目前对东胜煤田的开发主要集中于东半

部分(图1a),有万利、高头窑、塔然高勒、呼吉尔特、新街等多个国家规划矿区,而其西半部分因煤层埋藏偏深(普遍超过800 m)^[7],尚未开发。其中,尤属煤田东北角的神东和万利矿区煤矿分布较为密集,这与该区域煤层赋存条件相对简单密切相关。

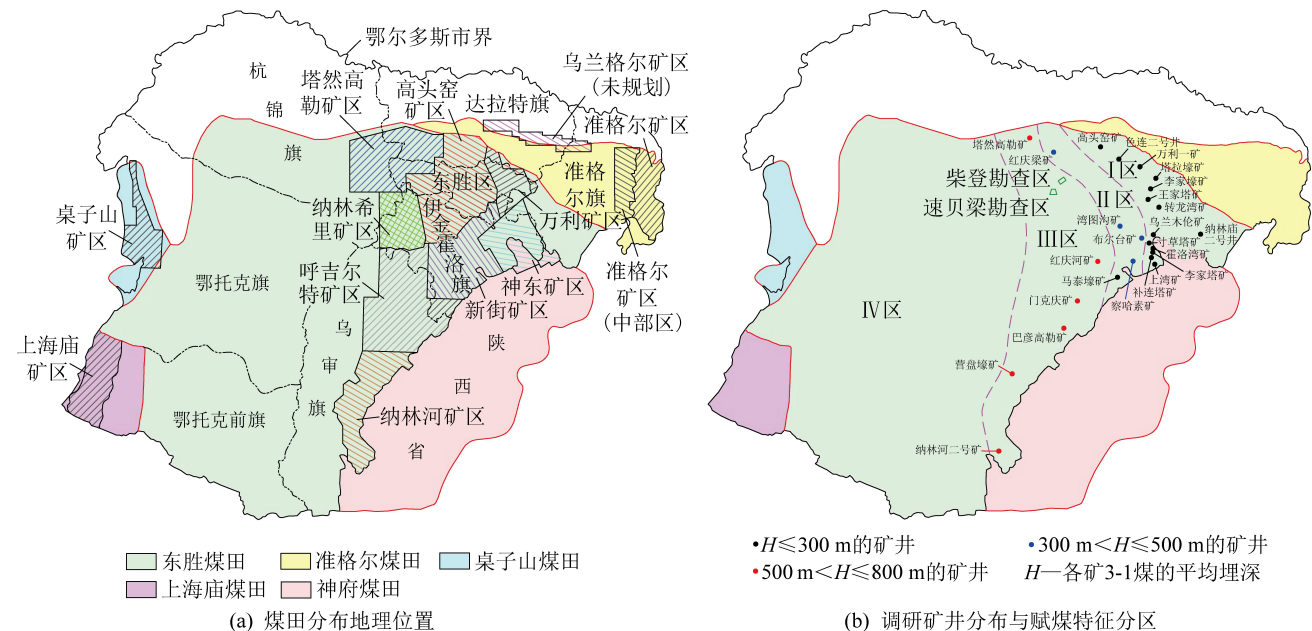


图1 东胜煤田区位分布及其赋煤特征典型分区

Fig.1 Location distribution of Dongsheng Coalfield and the typical zoning map of coal bearing characteristics

1.2 “导高”现场实测与案例统计

1.2.1 典型案例“导高”实测

1) 神东矿区补连塔煤矿^[5]。因补连塔煤矿31401工作面曾发生多起突水事故,故在其出现大量涌水的采空区开展了覆岩“导高”发育观测。在距离开切眼2 164 m位置共布置S19和S21两个探测孔,均位于工作面倾向中部,两孔终孔深度分别为243.7 m和238.6 m。两钻孔钻进过程的冲洗液漏失量和孔内水位变化曲线如图2所示。其中,S19钻孔在孔深86.65~87.99 m阶段,冲洗液漏失量从0.125 L/(s·m)迅速升至2.167 L/(s·m),在钻进83.65~86.99 m阶段孔内水位由11.45 m瞬间漏失至孔底,并在87.10 m时出现持续的钻孔进风现象。经综合分析判断,孔深86.65 m为导水裂隙带的顶界,按煤层埋深247 m、采高4.4 m、地表下沉2.0 m计算,对应“导高”153.9 m,裂采比为35.0。类似地,S21钻孔在深96.96~97.46 m阶段,冲洗液漏失量从0.006 5 L/(s·m)迅速升至29.962 9 L/(s·m),孔内水位则由3.85 m瞬间漏失至孔底。经过综合分析判断,孔深97.10 m为导水裂隙带的顶界,按孔位处煤层埋深244 m同理可计算出对应“导高”140.5 m,裂采比31.9。

2) 万利矿区万利一矿。万利一矿分别选取开采4-2煤的一盘区42104工作面,以及开采3-1煤的三盘区31301工作面开展了覆岩“导高”的地面钻孔探测。其中,42104工作面探测钻孔布置于距开切眼1 070 m处,距离运输巷70 m;31301工作面探测钻孔布置于距开切眼350 m位置,距离运输巷70 m。两钻孔钻进过程的冲洗液漏失量和钻孔水位变化如图3所示。

42104工作面探测钻孔终孔深度82 m,钻进过程中在孔深15 m时开始出现孔口不返浆现象,但其冲洗液漏失量处于较低水平,对应孔内水位在孔深13.3 m时开始出现持续缓慢下降;直至钻进至孔深52.8 m,冲洗液漏失量和孔内水位相继出现快速变化现象。为进一步探究孔壁裂缝发育情况,又采用钻孔电视进行了观测,发现在孔深13 m左右位置孔壁出现明显裂缝,而后孔壁裂缝发育密度持续加大,且出现孔壁破碎现象。由此综合分析判断,孔深13 m位置为导水裂隙带的顶界,根据煤层埋深79.2 m、采高4.8 m计算,对应“导高”66.2 m,裂采比13.8。

采用类似方法对31301工作面覆岩“导高”进行了探测。结果显示,在钻进孔深2 m时即出现孔

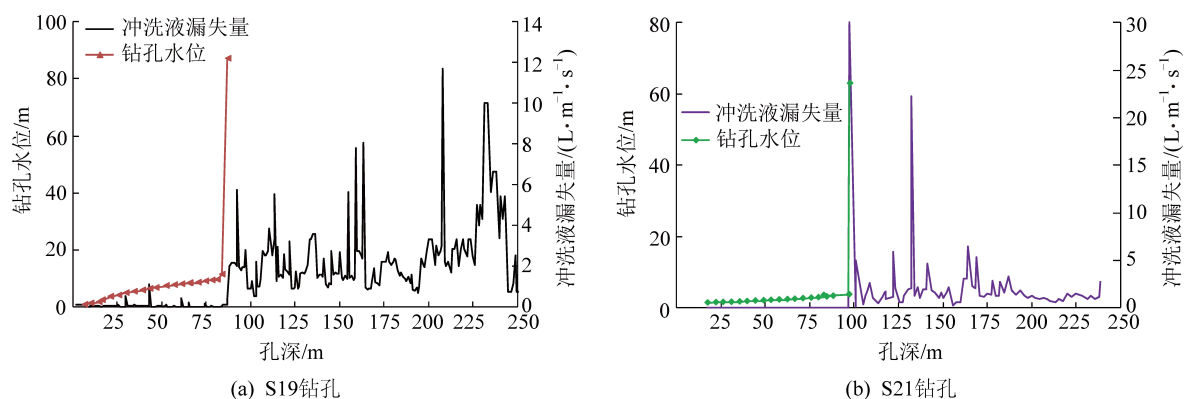


图2 补连塔煤矿探测钻孔冲洗液漏失与水位变化曲线

Fig.2 Leakage of flushing fluid and water level change curve of detection borehole in Bulianta Coal Mine

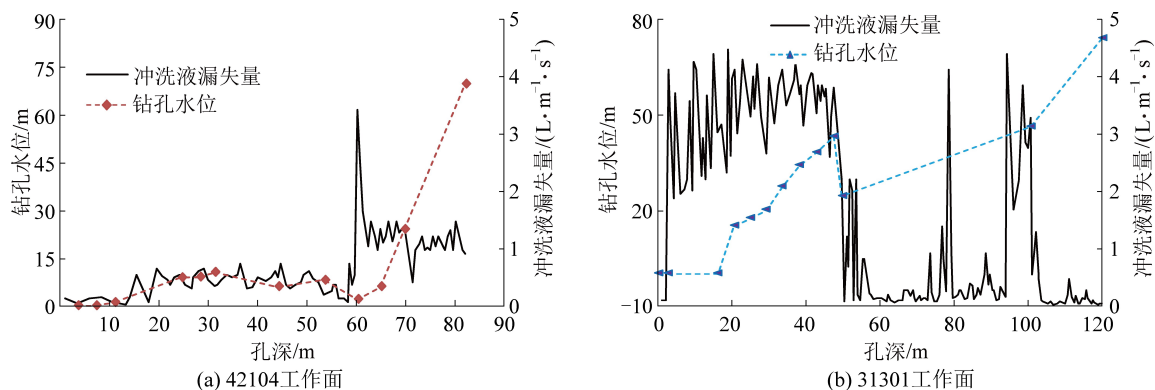


图3 万利一矿探测钻孔冲洗液漏失与水位变化曲线

Fig.3 Leakage of flushing fluid and water level change curve of detection borehole in Wanli Coal Mine

口不返浆现象,对应冲洗液漏失量基本维持在 $2 \sim 4 \text{ L}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 范围,但孔内水位持续下降;在钻进孔深 $45 \sim 65 \text{ m}$ 和 $76 \sim 85 \text{ m}$ 阶段,冲洗液漏失量出现暂时下降,在孔深 92 m 时,冲洗液漏失量与孔内水位都出现快速变化。同时,通过钻孔电视观测发现,进入基岩段孔壁即开始出现破碎和裂缝发育现象。由此综合分析判断,孔深 2 m 为导水裂隙带的顶界,根据煤层埋深 118.6 m 、采高 5.1 m 计算,对应“导高” 116.6 m ,裂采比 22.9 。

值得说明的是,上述2个工作面“导高”探测时,对应工作面已回采完毕较长时间(41104工作面已采 12 a ,31301工作面已采 9 a);由于上覆垮裂岩体在长期压实、水岩作用等影响下,导水裂隙易发生一定程度自修复^[23-24],因而上述测得的冲洗液漏失量整体偏小。

3) 新街矿区红庆河煤矿。红庆河煤矿“导高”探测孔布置于31401首采工作面,位于距运输巷 30 m 位置。考虑埋深较大、孔壁稳定性不易维护,钻进过程采取先小孔径钻进后扩孔的方式,终孔深度 618.5 m 。小径钻进过程中,在孔深 458 m 位置开始出现冲洗液大量漏失及孔口不返浆现象,而后漏

失量略有升高并持续至孔深 509 m 位置,漏失量大幅升高(约为前者的2倍);在后续钻进过程中,漏失量虽有暂时降低,但后续又出现持续升高现象。而在扩孔过程中,钻进直至 538 m 位置时才出现冲洗液大量漏失和孔口不返浆现象,推断原先小孔径钻进时在孔深 $458 \sim 538 \text{ m}$ 出现的裂缝发育程度不高、已被护孔泥浆堵住。随着扩孔钻进的继续进行,冲洗液漏失量缓慢上升。考虑到处于导水裂隙带上部的弯曲下沉带也发育有离层裂缝,也会造成冲洗液大量漏失,因而仅凭冲洗液漏失量变化曲线尚不足以判断导水裂隙带的顶界面位置,进一步结合孔内水位进行分析。

由钻孔水位变化可见,在冲洗液漏失量出现大量漏失的 458 m 孔深位置,其水位确实出现了下降,但其水位绝对值并不深,且在后续钻进过程中,随着冲洗液的持续漏失,孔内水位并未出现明显下降现象,说明对应区域并未进入导水裂隙发育区;而后,当钻孔钻进至孔深 583 m 时,孔内水位出现突降,表明钻孔揭露岩体内裂缝较为发育。由此判断,导水裂隙带顶界面应处于埋深 583 m 位置。后续实施的钻孔电视观测也证实了上述判断。根据煤层埋深

703.3 m、采高 6 m 计算,“导高”为 120.3 m,裂采比 20.1。

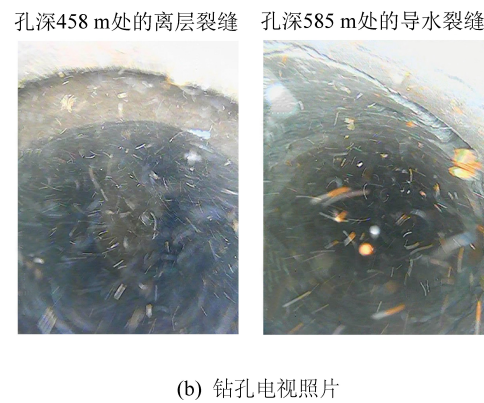
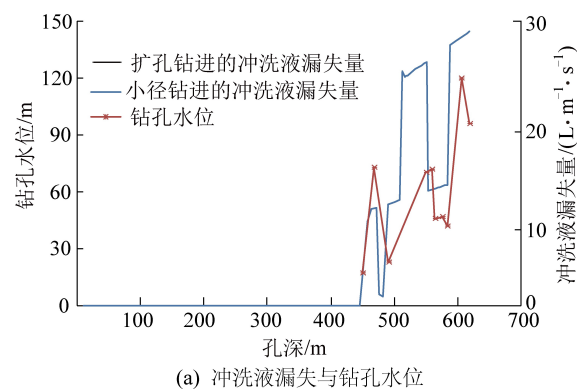


图 4 红庆河煤矿“导高”探测数据曲线及钻孔电视照片
Fig.4 Detection data of water-conducted fractures and the borehole TV pictures in Hongqinghe Coal Mine

1.2.2 其他主力矿井“导高”统计

除了上述典型矿井的现场实测,还对东胜煤田其他主力矿井的“导高”情况进行了统计,详见表 1。各矿井的地理位置分布如图 1b 所示。根据统计结果,进一步得到了覆岩裂采比分别随煤层埋深和采高的离散分布图,如图 5 所示。由图 5 可见,受煤层开采条件变化影响,覆岩导水裂隙发育呈现较大波动性。相比而言,深部区覆岩采动裂采比的波动程度明显偏小。埋深 500~700 m 对应裂采比

波动性最低,而埋深 200~300 m 裂采比的波动性最高。但随煤层采高变化,裂采比的波动性变化规律并不明显。由此说明,浅部煤层开采更易引起导水裂隙发育的大幅度波动;同时也能说明在东胜煤田单纯采用“采高倍数”法来进行“导高”预计是不合适的,一方面难以对合理的倍数进行取值,另一方面,在区内普遍大采高开采条件下,一旦选取倍数产生误差,最终得到预计结果的误差将更为显著。

表 1 东胜煤田主力矿井采动覆岩导水裂隙带发育高度统计

Table 1 Statistical of height of water-conducted fracture zone in main mines of Dongsheng Coalfield

煤矿	工作面	开采煤层	采高/m	埋深/m	导水裂隙带发育高度/m	裂采比	来源
万利一矿	42104	4-2 煤	4.8	79.2	66.2	13.8	实测
	31301	3-1 煤	5.1	118.6	116.6	22.9	
高头窑煤矿	G2-3101	2-3 煤	3.2	100.0	57.1	17.8	文献[8]
寸草塔煤矿	43115	1-2 煤	2.3	109.3	25.2	10.9	文献[9]
乌兰木伦煤矿	12403	1-2 煤	2.5	117.0	WM1 孔:62.9	25.5	文献[10]
			2.0	111.0	WM2 孔:35.7	17.5	
	31410	3-1 煤	4.0	147.0	WM3 孔:83.4	20.9	文献[11]
				147.0	WM4 孔:99.1	24.8	
霍洛湾煤矿	22101	2-2 煤	2.4	139.0	35.0	14.6	文献[12]
色连煤矿	8108	2-2 ^上 煤	4.0	150.0	73.0	18.2	文献[13]
转龙湾煤矿	23103	II-3 煤	4.6	145.8	92.1	20.0	文献[14]
补连塔煤矿	12406	1-2 煤	4.4	182.0	BM1 孔:74	16.8	文献[10]
				180.0	BM2 孔:89.5	20.4	
	12401	1-2 煤	4.4	247.0	S19 孔:153.9	35.0	文献[5]
				244.0	S21 孔:140.5	31.9	
武家塔煤矿	2606		2.2	206.2	64.6	29.4	文献[15]
王家塔煤矿	3101	3-1 煤	5.0	208.0	CH01 孔:68.4	13.7	文献[16]
				212.0	CH02 孔:71.0	14.2	

续表

煤矿	工作面	开采煤层	采高/m	埋深/m	导水裂隙带发育高度/m	裂采比	来源
李家壕煤矿	31308	3-1 煤	3.2	229.0	D1 孔:63.0	19.7	文献[17]
				229.0	D2 孔:65.9	20.6	
布尔台煤矿	42202	4-2 煤	6.1	370.0	155	25.4	文献[18]
察哈素煤矿	31301	3-1 煤	4.8	429.0	D1 孔:63.9	13.5	文献[19]
			5.1	379.0	D2 孔:63.8	12.5	
	31303	3-1 煤	4.7	389.6	D3 孔:100.5	21.4	
			4.5	388.5	D4 孔:106.5	23.7	
纳林河二号矿	31101	3-1 煤	6.0	544.0	103.3	17.2	文献[20]
	31102		5.3	560.0	116.9	22.1	
巴彦高勒煤矿	311101	3-1 煤	5.7	600.0	126	22.1	文献[21]
红庆河煤矿	31401	3-1 煤	6.0	703.3	120.3	20.1	实测
门克庆煤矿	首采工作面	3-1 煤	4.4	700.0	108	24.0	文献[22]

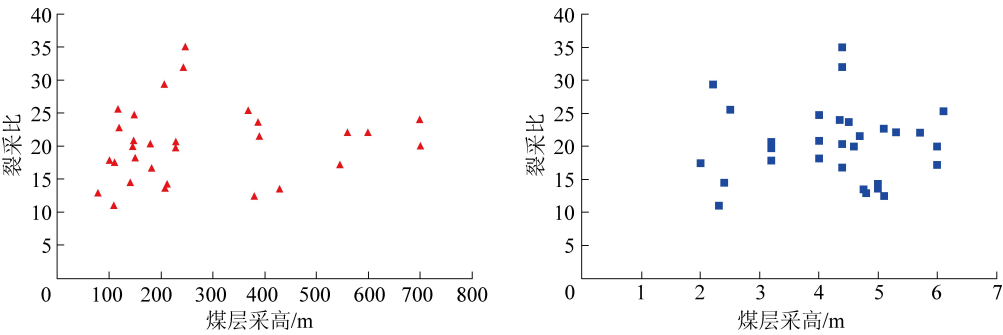


图 5 东胜煤田采动覆岩裂采比随煤层埋深和采高变化的散点分布

Fig.5 Scatter distribution of ratio of water-conducted fracture zone height and mining height in Dongsheng Coalfield

1.3 导水裂隙发育的区域波动机理分析

根据岩层控制的关键层理论^[25],覆岩关键层位置的变化将直接引起导水裂隙发育高度的变化。研究发现,受关键层破断运动及其对采动裂缝发育控制的影响,处于煤层顶板 7~10 倍采高(一般按 10 倍计)范围的关键层,其破断裂缝均能达到导水的临界条件,因而,可按 7~10 倍采高范围之外最近一层关键层的位置来确定覆岩“导高”^[26-27]。即导水裂隙将最终发育至该关键层底界面,“导高”即为煤层至这层关键层底界的距离。若 7~10 倍采高之外无关键层,则导水裂隙将直接发育至基岩顶界面,对应“导高”值将大于等于基岩厚度。按照这一规律,可对上述煤层埋深变化引起“导高”波动性差异的机理进行分析。

煤层埋深大小直接决定了覆岩关键层的数量。一般而言,浅埋煤层相比深埋煤层其覆岩中存在的 关键层数量更少些;如此,处于 7~10 倍采高之外的 关键层数量将更少。当 7~10 倍采高附近关键层所 处层位因区域赋存条件变化而发生改变时,将直接

引起“导高”值的波动。极限情况下,当 7~10 倍采 高之外仅存在 1 层关键层时,则这层关键层位置变 化引起的“导高”值波动范围将为该关键层距煤层 距离和上覆基岩厚度,变化幅度自然偏高。

为更清晰地阐述上述分析,以前述万利一矿 2 个试验工作面的覆岩柱状进行了说明。从“导高” 探测结果可见,两工作面虽然采高相差不大,但裂采 比却差异显著。其根本原因就是覆岩关键层数量及 其层位变化带来的影响。如图 6 所示是 2 个工作面 探测区附近的钻孔柱状及其关键层位置判别结果。 对于 42104 工作面,其覆岩共有 4 层关键层,按煤层 采高 10 倍范围判断,该范围外尚存在 1 层关键 层(即主关键层),因而导水裂隙发育至主关键层底 界面。而对于 31301 工作面,覆岩中仅由 2 层关键 层,10 倍采高范围之外已无关键层,因而造成导水 裂隙直接发育至基岩顶界面,导致其“导高”值远大 于 42104 工作面,造成同一矿井类似开采条件下“导 高”的显著波动。可以推断,倘若 31301 工作面覆岩 主关键层层位向上变化超过 5 m,导水裂隙发育高

度将能控制在主关键层底界面以下,此时其“导高”值才与 42104 工作面类似,才不会出现较大波动。类似地,前述补连塔煤矿 12401 工作面在突水区域

测得裂采比 31.9~35.0 的导水裂隙异常发育,也是因主关键层处于 7~10 倍采高范围内引起的。具体文献[5]中已有论述,在此不再赘述。

层号	厚度/m	埋深/m	岩性	关键层位置	柱状
31	2.81	2.81	砂砾石层		
30	3.39	6.20	粉砂岩		.... ..
29	1.00	7.20	3-1上煤		.... ..
28	5.10	12.30	细砂岩	主关键层	.... ..
27	1.30	13.60	粉砂岩		.... ..
26	1.99	15.59	细砂岩		.... ..
25	4.41	20.00	粉砂岩		.... ..
24	2.10	22.10	3-1煤		.... ..
23	3.70	25.80	细砂岩		.... ..
22	0.70	26.50	粉砂岩		.... ..
21	7.82	34.32	中砂岩	亚关键层	.. ..
20	1.51	35.83	粗砂岩		.. ..
19	4.17	40.00	砂质泥岩		.. ..
18	0.22	40.22	煤层		.. ..
17	0.58	40.80	砂质泥岩		.. ..
16	1.18	41.98	细砂岩		.. ..
15	5.12	47.10	粉砂岩	亚关键层	.. ..
14	1.54	48.64	中砂岩		.. ..
13	1.71	50.35	粉砂岩	“导高”	.. ..
12	1.40	51.75	3-2中煤		.. ..
11	2.05	53.80	砂质泥岩		.. ..
10	3.20	57.00	细砂岩		.. ..
9	3.69	60.69	粉砂岩		.. ..
8	0.21	60.90	煤层		.. ..
7	1.40	62.30	粉砂岩		.. ..
6	2.10	64.40	细砂岩		.. ..
5	3.50	67.90	粉砂岩		.. ..
4	0.70	68.60	细砂岩		.. ..
3	6.86	75.46	粉砂岩	亚关键层	.. ..
2	2.34	77.80	细砂岩		.. ..
1	1.40	79.20	粉砂岩		.. ..
0	6.05	85.25	4-2煤		.. ..

(a) 42104工作面

层号	厚度/m	埋深/m	岩性	关键层位置	柱状
43	2.82	2.82	松散层		.. ..
42	4.00	6.82	细砂岩		.. ..
41	5.30	12.12	粗砂岩		.. ..
40	3.95	16.07	粉砂岩		.. ..
39	2.30	18.37	细砂岩		.. ..
38	3.58	21.95	中砂岩		.. ..
37	0.15	22.10	泥岩		.. ..
36	0.95	23.05	煤层		.. ..
35	0.85	23.90	细砂岩		.. ..
34	0.35	24.25	泥岩		.. ..
33	1.50	25.75	煤层		.. ..
32	0.70	26.45	砂质泥岩		.. ..
31	8.14	34.59	细砂岩		.. ..
30	11.31	45.90	中砂岩	“导高”	.. ..
29	2.10	48.00	1-2中煤		.. ..
28	8.34	56.34	细砂岩		.. ..
27	14.14	70.48	中砂岩	主关键层	.. ..
26	2.30	72.78	粗砂岩		.. ..
25	5.55	78.33	细砂岩		.. ..
24	1.35	79.68	2-1煤		.. ..
23	0.55	80.23	砂质泥岩		.. ..
22	1.50	81.73	细砂岩		.. ..
21	0.80	82.53	2-1下煤		.. ..
20	4.33	86.86	细砂岩		.. ..
19	1.20	88.06	煤层		.. ..
18	5.34	93.40	细砂岩		.. ..
17	3.33	96.73	中砂岩		.. ..
16	18.27	115.00	细砂岩	亚关键层	.. ..
15	1.40	116.40	泥岩		.. ..
14	5.23	121.63	3-1煤		.. ..

(b) 31031工作面

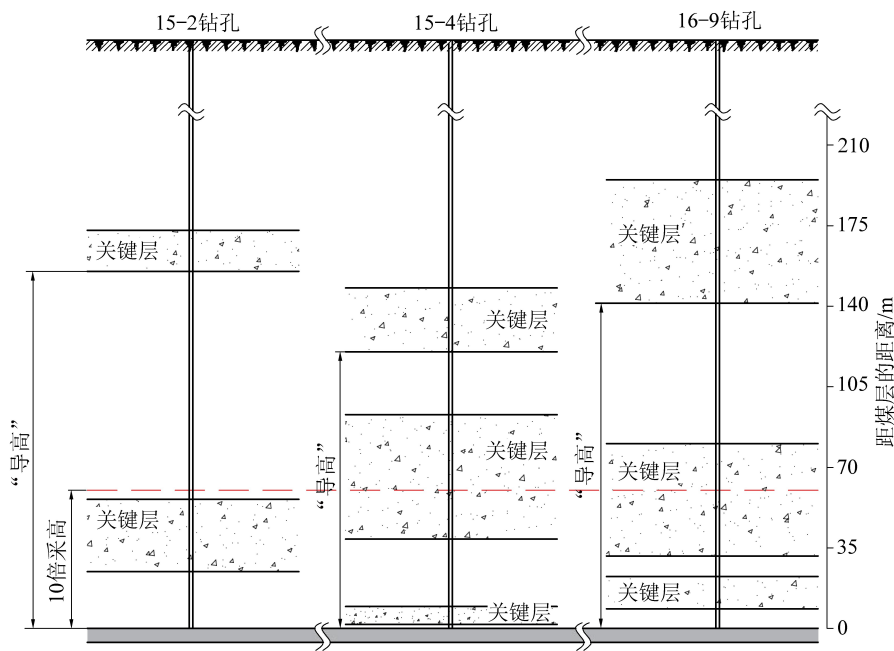
图 6 万利一矿“导高”探测区覆岩柱状

Fig.6 Overlying rock column in detection area of Wanli Coal Mine

而对于深部煤层开采,其覆岩关键层数量(尤其是 7~10 倍采高范围之外的关键层数量)相对偏多,当 7~10 倍采高范围附近关键层位置发生变化时,“导高”的波动范围仅限于该关键层与其上部相邻关键层之间的间距,难以出现因主关键层进入 7~10 倍采高范围而引起的“导高”显著增大现象。以前述红庆河煤矿 31401 工作面偏深部开采的导水裂隙发育案例进行说明。工作面走向不同开采区域覆岩关键层位置分布如图 7 所示^[17],据此可对不同区域的采动覆岩“导高”进行判别。按照煤层 6.0 m 的采高,取 10 倍采高判别,3 个钻孔区域的“导高”值分别为 155.2、120.2、141.3 m,对应裂采比分别为

25.9、20.0、23.6(与表 1 中的实测值接近,表明判别方法的可靠)。可见 3 钻孔区域覆岩“导高”的波动性并不明显,而这正是由于 10 倍采高附近关键层与其上部相邻关键层间距偏小、且变化不大引起的。

综上所述,东胜煤田浅部煤层开采覆岩“导高”波动性偏大的现象主要是由于煤层上覆 7~10 倍采高范围之外关键层数量少、间距大引起,尤其是在覆岩 7~10 倍采高之外无关键层的条件下,极易引起导水裂隙直接发育至基岩顶界面,造成“导高”值的异常大幅度波动。而在深部开采条件下,与浅部相反,其覆岩 7~10 倍采高范围之外关键层数



注:因煤层埋深较深、覆岩柱状较高,故仅展示了覆岩局部区域的关键层分布

图 7 红庆河煤矿不同开采区域“导高”判断

Fig.7 Judgment of water-conducted fracture zone height in different mining areas of Hongqinghe Coal Mine

量多、间距小,因而不易出现“导高”大幅度波动的现象。

2 东胜煤田覆岩“导高”的分区判别方法

2.1 东胜煤田赋煤条件分区

为弄清东胜煤田煤层赋存的整体分布特征,以便更好地指导不同赋煤条件下伏岩“导高”的准确判别,对东胜煤炭赋煤条件进行了分区。考虑到煤田内赋存煤层较多,而各煤层在不同区域又存在较大的禀赋差异(有的地区煤层赋存厚,有的地区薄、甚至尖灭),因而最终选取在全区内普遍赋存的 3-1 煤进行了调研和分区(各大矿井基本已开始该煤层的开采)。

累计对区内 23 对主力矿井开展了调研统计。根据上述分析结果,煤层埋深对覆岩“导高”的波动性影响较大,因而主要对各矿井 3-1 煤赋存的平均埋深进行了统计,如图 8 所示。3-1 煤的赋存状态一定程度也反映了煤系地层其他可采煤层的赋存特征。即 3-1 煤埋深较浅/深的区域,对应其他主采煤层也应埋深较浅/深。各调研矿井的分布如图 1b 所示。由统计可见,3-1 煤埋深整体呈现东北部浅、西南部深的分布趋势,且埋深越浅的区域煤矿分布密度越高;在鄂托克前旗、鄂托克旗等煤层埋深相对较大(超 800 m)的地区^[7],目前尚未开发。由图 1b 可见,各矿井 3-1 煤埋深(H)的分布在其地理位置上具有显著的聚集性,煤层平均埋深小于 300 m 的

矿井基本集中于东胜煤田东北部的神东矿区、万利矿区、以及高头窑矿区的部分区域,而埋深 500~800 m 的矿井基本位于煤田东西向中部附近的纳林河矿区、呼吉尔矿区、纳林希里矿区、以及塔然高勒矿区的部分区域。由此按照埋深 $H \leq 300$ m、 300 m $< H \leq 500$ m、 500 m $< H \leq 800$ m、 $H > 800$ m 这 4 个区间,对东胜煤田赋煤特征进行了分区。

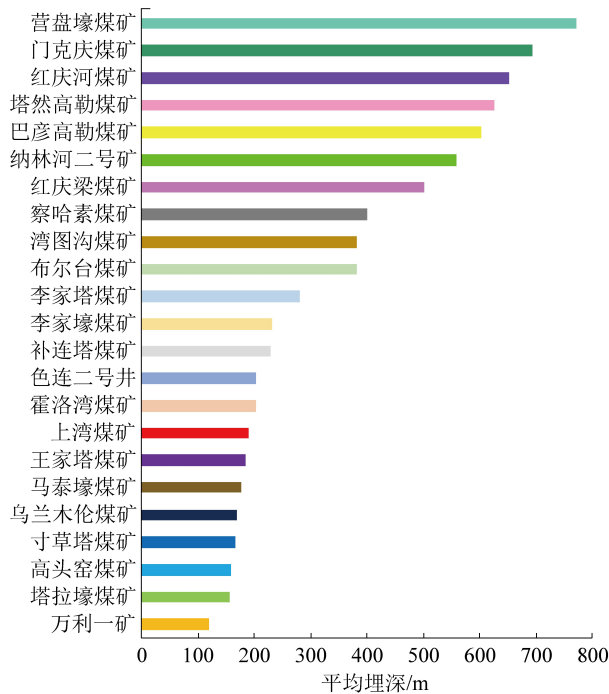


图 8 各矿 3-1 煤平均埋深分布

Fig.8 Distribution of average depth of 3-1 coal in each mine

各分区具体区域划分时,考虑到高头窑矿区相关调研矿井案例偏少,故参照了该区域相关勘探区的资料^[28-29],柴登勘查区和速贝梁勘查区3-1煤埋深分别为444.80~810.55 m和525.4~715.85 m。相邻分区的交界线按照两者对应矿井位置的中间点连线进行确定。4个典型分区的划分结果如图1b所示,其中,I区属浅埋区,Ⅱ、Ⅲ区为中等埋深区,Ⅳ区为深埋区(尚未开发)。需要说明的是,虽然马泰壕煤矿3-1煤平均埋深仅200 m左右,但由于其地理位置处于Ⅱ、Ⅲ区的交界区,考虑地理位置相近具有类似的地层赋存特性,因而将其划归为Ⅱ区。可见,若以东胜煤田的中轴线为分界线,I、Ⅱ、Ⅲ区位于中轴线以东,Ⅳ区位于中轴线以西;且I、Ⅱ、Ⅲ区沿着陕蒙交界线自北向南依次分布。

2.2 不同分区“导高”预计方法

根据表1和图5的统计结果,当煤层埋深小于200 m时,裂采比处于10.9~25.5,“导高”波动范围达到2.34倍;当煤层埋深介于200~300 m时,裂采比处于13.7~35.0,“导高”波动范围达到2.55倍;当煤层埋深介于300~500 m时,裂采比处于12.5~25.4,“导高”波动范围达到2.03倍;而当煤层埋深超过500 m时,裂采比处于17.2~24之间,“导高”波动范围仅1.40倍。可见,煤层埋深处于500 m以内,对应覆岩“导高”都呈现较高的波动性(超2倍),若实际工程实践中采取采高倍数法进行“导高”预计,势必产生较大误差。由此对图1b所示几个分区的覆岩“导高”预计方法进行了确定。

对于I、Ⅱ区,其3-1煤埋深普遍低于500 m,因而当对应区域内3-1煤或其上部2-2或1-2等煤层开采时,不宜采用采高倍数法进行“导高”预计,而应基于开采区域具体覆岩柱状,采用“基于关键层位置的导水裂隙带预计方法”^[27]进行预计。而对于区内3-1煤层以下更深部煤层的开采,若其为首采煤层、上覆无已采煤层采空区,则在预计精度要求不高的条件下,可采用17~24倍采高的统计值来预计。而若其属于上煤层已采的煤层群开采条件,则最终的导水裂隙顶界是否超出上煤层采后的“导高”,主要由煤层间距及上下煤层的累计采高共同而定,所以此时也无法采用采高倍数法进行估算,而应根据关键层破断裂缝导水性临界条件,按照下煤层开采扰动对上煤层已断关键层破断裂缝的活化特征来确定“导高”,具体参见文献[30]基于关键层理论形成的煤层群“导高”预计方法。

而对于Ⅲ区以及将来开发的Ⅳ区,由于首采煤层普遍都为3-1煤,且煤层埋深已超500 m,所以参

照上述方法,在预计精度要求不高的条件下,可采用17~24倍采高的统计值来预计。而当进入下部更深煤层的重复开采时,尚需考虑关键层赋存特征进行预计。

3 结 论

1)统计得到了东胜煤田17对主力矿井30个工作面的导水裂隙发育高度,发现深部区相比浅部区覆岩采动裂采比的波动程度明显偏低。埋深500~700 m对应裂采比处于17.2~24,上下波动范围最小,仅1.40倍;而埋深200~300 m对应裂采比处于13.7~35.0,上下波动范围最高,达到2.55倍。但随煤层采高变化裂采比波动变化规律并不明显。由此说明,单纯采用“采高倍数”法进行在东胜煤田采动覆岩“导高”的预计是不合适的,尤其是在浅部煤层开采区域。

2)基于岩层控制的关键层理论,对煤层埋深不同引起“导高”波动程度差异的原因进行了解释。覆岩7~10倍采高范围附近关键层的位置及其数量直接决定了导水裂隙的顶界位置,“导高”波动上下差值即为7~10倍采高范围附近关键层与其上部相邻关键层(或基岩顶界)之间的间距。由于深埋煤层覆岩7~10倍采高范围之外关键层数量相对偏多、间距偏小,因而其“导高”波动幅度并不显著;而浅埋煤层极易出现覆岩7~10倍采高范围之外仅1层或无关键层的情况,引起“导高”在主关键层底界与基岩顶界之间波动,波动幅度明显提高。

3)通过对东胜煤田全区赋存3-1煤层的地质条件调研,按煤层埋深不同将其划分为4个分区。I区埋深小于300 m,Ⅱ区埋深介于300~500 m,Ⅲ区埋深介于500~800 m,Ⅳ区埋深大于800 m;I、Ⅱ、Ⅲ区位于煤田中轴线以东,Ⅳ区位于中轴线以西,且I、Ⅱ、Ⅲ区沿着陕蒙交界线自北向南依次分布。目前东胜煤田的密集采煤主要集中于煤田东北角的I区浅部区,Ⅱ、Ⅲ区相对偏少,而Ⅳ区因埋深偏大尚未开发。

4)依据煤层埋深差异对覆岩“导高”波动性的影响规律,提出了各典型分区“导高”的预计方法。其中,I、Ⅱ区煤层埋深普遍小于500 m,不宜采用传统“采高倍数”法进行估算,而应基于关键层具体赋存情况进行判别,以避免因关键层位置变化引起“导高”大幅波动而造成预计误差。而对于Ⅲ区深部区,在预计精度要求不高时,可选择采用17~24倍采高的统计值进行简单估算。

参考文献(References):

- [1] 许家林. 煤矿绿色开采 20 年研究及进展[J]. 煤炭科学技术, 2020,48(9):1-15.
XU Jialin. Research and progress of coal mine green mining in 20 years[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(9):1-15.
- [2] 曹志国,鞠金峰,许家林. 采动覆岩导水裂隙主通道分布模型及其水流动特性[J]. 煤炭学报,2019,44(12):3719-3728.
CAO Zhiguo, JU Jinfeng, XU Jialin. Distribution model of water-conducted fracture main channel and its flow characteristics[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(12): 3719-3728.
- [3] 鞠金峰,许家林,李全生,等. 我国水体下保水采煤技术研究进展[J]. 煤炭科学技术,2018,46(1):125-128.
JU Jinfeng, XU Jialin, LI Quansheng, *et al.* Progress of water-preserved coal mining under water in China[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(1): 125-128.
- [4] 伊茂森,朱卫兵,李林,等. 补连塔煤矿四盘区顶板突水机理及防治[J]. 煤炭学报,2008,33(3):241-245.
YI Maosen, ZHU Weibing, LI Lin, *et al.* Water-inrush mechanism and prevention for fourth panel roof in Bulianta coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(3): 241-245.
- [5] 许家林,王晓振,刘文涛,等. 覆岩主关键层位置对导水裂隙带高度的影响[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(2):380-385.
XU Jialin, WANG Xiaozhen, LIU Wentao, *et al.* Effects of primary key stratum location on height of water flowing fracture zone[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(2): 380-385.
- [6] 耿建军,王开来,朱延辉. 东胜煤田北部杭东普查区延安组聚煤演化规律分析[J]. 中国煤炭地质,2012,24(12):1-4.
GENG Jianjun, WANG Kailai, ZHU Yanhui. Yanan formation coal accumulation and evolution patterns in east Hangdin prospecting area, Dongsheng coalfield[J]. Coal Geology of China, 2012, 24(12): 1-4.
- [7] 康社庄,杜美利,李艳华. 东胜煤田深部区煤质特征研究[J]. 中国煤炭地质,2009,21(3):16-17,23.
KANG Shezhuang, DU Meili, LI Yanhua. Coal quality characteristics study in deep part of Dongsheng coalfield[J]. Coal Geology of China, 2009, 21(3): 16-17, 23.
- [8] 杨勇,孙前芳. 高头窑煤矿 2-3 煤层“两带”高度观测及水体下安全开采技术[J]. 煤矿安全,2015,46(12):73-76.
YANG Yong, SUN Qianfang. Two-band height observation of Gaotouyao coal mine 2-3 coal seam and safety mining under water[J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(12):73-76.
- [9] 初艳鹏. 神东矿区超高导水裂隙带研究[D]. 青岛:山东科技大学,2011.
- [10] 陈苏社. 神东矿区井下采空区水库水资源循环利用关键技术研究[D]. 西安:西安科技大学,2016.
- [11] 薛换成. 乌兰木伦煤矿 3⁻¹煤“两带”高度探测与分析[J]. 能源科技,2021,19(1):36-40.
XUE Huancheng. Detection and analysis of “two zones” height of 3⁻¹ coal seam in Wulan Mulun coal mine[J]. Energy Science and Technology, 2021, 19(1): 36-40.
- [12] 王世东,谢伟,罗利卜. 霍洛湾煤矿 22101 工作面顶板两带发育规律[J]. 煤田地质与勘探,2009,37(3):38-40.
WANG Shidong, XIE Wei, LUO Libo. Development rules of the hydraulic fracture zone of working face 22101 in Huoluwan coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2009, 37(3): 38-40.
- [13] 刘伟涛,周华强. 水体下开采导水裂隙带发育高度模拟与实测[J]. 煤炭技术,2016,35(10):206-208.
LIU Weiqiang, ZHOU Huaqiang. Measure and simulation for development height of water conducted crack zone of mining under water[J]. Coal Technology, 2016, 35(10): 206-208.
- [14] 徐建国. 浅埋深薄基岩矿井综放工作面导水裂隙带发育规律研究[J]. 中国煤炭,2019,45(7):98-105.
XU Jianguo. Study on developing law of water-conducting fracture zone in fully mechanized caving face in shallow buried coal mine with thin bedrock[J]. China Coal, 2019, 45(7): 98-105.
- [15] 闫瑞龙. 浅埋煤层综采工作面矿压显现规律研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2016.
- [16] 张玉军,宋业杰,樊振丽,等. 鄂尔多斯盆地侏罗系煤田保水开采技术与应用[J]. 煤炭科学技术,2021,49(4):159-168.
ZHANG Yujun, SONG Yejie, FAN Zhenli, *et al.* Technology and application of water-preserving mining in Jurassic coalfield in Ordos Basin. Coal Science and Technology, 2021, 49(4): 159-168.
- [17] 赵富强. 东胜典型赋煤条件采动导水裂隙发育规律研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2021.
- [18] 段建华. 井-地-孔联合微震在多煤层开采顶板断裂高度监测中的研究[J]. 中国煤炭地质,2020,32(7):61-67.
DUAN Jianhua. Study on application of underground-surface-borehole joint microseismic technology in multi-seam coal mining roof fracture height monitoring[J]. Coal Geology of China, 2020, 32(7): 61-67.
- [19] 田灵涛. 察哈素煤矿采空区覆岩“两带”高度研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2019,38(5):22-27.
TIAN Lingtao. Study on the heights of the “two zones” in overlying strata over Chahasu coal mine gob[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 2019, 38(5): 22-27.
- [20] 张玉鹏,张玉军,刘毅涛,等. 蒙西深部厚煤层大采高综采面覆岩破坏高度研究[J]. 中国安全科学学报,2020,30(8):37-43.
ZHANG Yupeng, ZHANG Yujun, LIU Yitao, *et al.* Study on overburden failure height of fully mechanized mining face in Mengxi deep mining area[J]. China Safety Science Journal, 2020, 30(8): 37-43.
- [21] 王永康,王明,许蓬. 巴彦高勒煤矿 3-1 煤层顶板垮落裂缝带发育特征[J]. 煤田地质与勘探, 2019,47(S1):37-42.
WANG Yongguo, WANG Ming, XU Peng. Characteristics of collapse fracture zone development of No. 3-1 seam roof in Bayangaoler coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(S1):37-42.
- [22] 郑雷雷. 门克庆矿侏罗纪 3-1 煤层开采覆岩破坏发育规律研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2019.
- [23] 李全生,鞠金峰,曹志国,等. 采后 10 a 垮裂岩体自修复特征的钻孔探测研究——以神东矿区万利一矿为例[J]. 煤炭学

- 报,2021,46(5):1428-1438.
- LI Quansheng, JU Jinfeng, CAO Zhiguo, *et al.* Detection of the self-healing characteristics of mining fractured rock mass after 10 years of underground coal mining: A case study of Wanli Coal Mine Shendong mining area[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(5): 1428-1438.
- [24] JU Jinfeng, LI Quansheng, XU Jialin, *et al.* Self-healing effect of water-conducted fractures due to water-rock interactions in undermined rock strata and its mechanisms[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2020, 79(1): 287-297.
- [25] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国煤炭出版社, 2003.
- [26] 许家林, 钱鸣高. 覆岩关键层位置的判别方法[J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29(5): 463-467.
- XU Jialin, QIAN Mingao. Method to distinguish key strata in overburden[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29(5): 463-467.
- [27] 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.
- 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.
- [28] 孙希杰. 东胜煤田柴登勘查区侏罗系延安组地层划分与对比研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2011.
- [29] 玄艳琴. 内蒙古自治区东胜煤田速贝梁勘查区控煤因素分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010.
- [30] 李全生, 鞠金峰, 曹志国, 等. 基于导水裂隙带高度的地下水库适应性评价[J]. 煤炭学报, 2017, 42(8): 2116-2124.
- LI Quansheng, JU Jinfeng, CAO Zhiguo, *et al.* Suitability evaluation of underground reservoir technology based on the discriminant of the height of water conduction fracture zone[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(8): 2116-2124.