



您可能感兴趣的文章、专题：

“煤矿智能化综述及关键技术”专题

“我国煤矿瓦斯防治理论技术研究进展”专题

“煤地质与煤结构”专题

“煤矿安全+智能化”专题

“深部煤层瓦斯精准抽采”专题

“中国煤科首席科学家”专题

“矿井冲击地压灾害防治技术及工程实践”专题

2020 年度《煤炭科学技术》“领跑者 5000”论文

2021《煤炭科学技术》封面文章

煤炭行业青年科学家论坛(2021 年)



移动扫码阅读

李江华,王东昊,黎 灵,等.不同覆岩类型高强度采动裂隙发育特征对比研究[J].煤炭科学技术,2021,49(10):9-15. doi:10.13199/j.cnki.cst.2021.10.002

LI Jianghua, WANG Donghao, LI Ling, et al. Comparative study on development characteristics of high-intensive mining fissures in different overburden types[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(10): 9-15. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2021.10.002

## 不同覆岩类型高强度采动裂隙发育特征对比研究

李江华<sup>1,2</sup>,王东昊<sup>1,2</sup>,黎 灵<sup>1,2</sup>,郭文砚<sup>1,2</sup>

(1.煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院,北京 100013;2.煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室,北京 100013)

**摘 要:**覆岩破坏裂隙发育高度是矿井顶板突水预测及防治的关键要素,而覆岩强度类型和开采强度是覆岩破坏裂隙发育特征的主要影响因素。对覆岩破坏高度进行预计时,覆岩类型划分标准和采煤方法对应的经验公式选择非常重要。采用钻孔冲洗液消耗量和钻孔电视观测相结合的方法,测得了坚硬和软弱地层高强度开采条件下覆岩破坏裂隙发育特征,得出坚硬岩层采动裂隙发育,冲洗液消耗量变化断断续续或者完全漏失,且岩层断裂倾角大,引起岩层采动传播影响角较大。软弱地层遇水易软化、塌孔,钻孔电视成像较为模糊,垮落带难以观测,需采用综合方法进行“两带”顶点的判别。对于近距离特厚煤层开采,下层煤垮落带高度波及到上层煤采空区时,需采用综合采厚计算下分层的导水裂缝带发育高度,《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南》中综合采厚公式已不适用。为此通过构建近距离特厚煤层开采垮落带高度与层间距关系数学模型,提出了适合该地质条件的综合采厚计算公式,由于受煤层间距的影响使综合垮落带高度增大,并且上组煤对综合采厚影响较小,造成垮采比明显增大,得出坚硬顶板高强度开采综合垮采比为 9.39~9.62,裂采比大于 17.80,约为软弱覆岩的 2 倍,表明覆岩强度类型对高强度开采覆岩破坏裂隙发育特征影响明显,公式适用性强,研究成果可为覆岩破坏高度观测及水害防治现场实践提供参考。

**关键词:**覆岩类型;近距离煤层;高强度开采;采动裂隙

中图分类号:TD821

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2021)10-0009-07

## Comparative study on development characteristics of high-intensive mining fissures in different overburden types

LI Jianghua<sup>1,2</sup>, WANG Donghao<sup>1,2</sup>, LI Ling<sup>1,2</sup>, GUO Wenyan<sup>1,2</sup>

(1. Mine Safety Technology Branch, CCTEG China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, Beijing 100013, China)

**Abstract:** The development height of overburden fractures is a key factor for the prediction and prevention of water inrush from the roof of a mine. The overburden strength type and mining intensity are the main influencing factors for the development characteristics of overburden fractures. When predicting the damage height of overlying strata, it is important to choose the correct classification standard of rock mass and empirical formula for different mining method. The comprehensive methods of water consumption quantity and borehole TV observation were used to test the fracture development characteristics of overlying rock under high-strength mining conditions in hard and weak formations. It is concluded that the hard rock formations have developed mining fractures and the flushing fluid consumption changes intermittently or completely leaks, and the inclination of the rock formation fractures is large, which causes a large impact angle of the rock formation mining propagation. However, for the weak strata, the rock is softened and collapsed easily. The TV imaging of the boreholes is blurred, and the collapse zone is difficult to observe. It is necessary to adopt a comprehensive method to distinguish the vertices of the “two zones”. For the short distance and extra-thick coal seam mining, the comprehensive mining thickness is needed to predict the fissure zone height of lower seam. But the formula of comprehensive mining thickness is no longer applicable based on the “Guidelines for coal pillar re-

收稿日期:2021-05-27;责任编辑:王晓珍

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(51804162)

作者简介:李江华(1987—),男,山西闻喜人,副研究员,博士(后)。E-mail:Jianghua\_lee@163.com

tention and coal mining in buildings, water bodies, railways and main shafts”. For this reason, by constructing a mathematical model of the relationship between the height of the caving zone and the interlayer spacing in the short-distance ultra-thick coal seam mining, a comprehensive mining thickness calculation formula suitable for the geological conditions is proposed. Due to the influence of the coal seam spacing, the height of the comprehensive caving zone increases, and the upper group of coal has little effect on the comprehensive mining thickness, resulting in a significant increase in the caving ratio. It is concluded that the comprehensive caving ratio of hard roof high-strength mining is 9.39–9.62 and the proportion of fissure zone height and mining height is more than 17.80 for the hard strata, which is two times of weak strata. It shows that the strength type of the overburden has a significant impact on the development characteristics of the overburden failure cracks in high-strength mining, and the formula has strong applicability. The research results can provide references for the observation of the overburden failure height and the field practice of water damage prevention.

**Key words:** overlying strata types; short distance coal seams; high-strength mining; mining fracture

0 引言

煤层开采覆岩破坏规律及其形态分布特征是矿井预防水害、压架等安全事故发生的关键。覆岩破坏特征的研究主要包括现场观测、相似材料模拟试验、数值模拟分析及理论分析等<sup>[1]</sup>。20 世纪 70 年代,刘天泉院士提出了覆岩破坏“三带”模型,其中垮落带和导水裂缝带(合称“两带”)高度的确定是顶板水害预测预报及防水(砂)安全煤岩柱留设的重要依据。同时随着大采高和综放开采技术的快速发展,相应条件下的覆岩“两带”特征研究也取得了突破性进展<sup>[2]</sup>。张宏伟等<sup>[3]</sup>研究了石炭—二叠系特厚煤层综放开采的覆岩破坏特征;孙庆先等<sup>[4]</sup>测得了侏罗系大采高综采和综放工作面的“两带”发育特征;冯国财等<sup>[5]</sup>通过现场观测分析了白垩系特厚煤层综放开采导水裂隙带高度与采高的关系;杨达明等<sup>[6]</sup>得出了厚松散层软岩综放开采导水裂隙带发育高度。随着水体下综放开采技术不断推广应用,现场实测数据增多。许延春等<sup>[7]</sup>根据实测资料建立了适用于综放开采工作面“两带”高度计算的公式;张玉军等<sup>[8]</sup>研究了鄂尔多斯盆地侏罗系煤层开采导水裂隙带发育规律;白利民等<sup>[9]</sup>统计了中硬覆岩下一次采全高导水裂隙带高度经验公式;陈连军等<sup>[10]</sup>研究了上覆岩层内裂缝萌生演化特征,提出覆岩导水裂隙带高度的确定方法。

笔者在上述研究的基础上,通过对比分析覆岩类型划分方法和覆岩破坏经验公式,明确了覆岩破坏高度预计选取标准。采用现场冲洗液消耗量和钻孔电视观测方法,对比分析了坚硬岩层和软弱岩层高强度开采条件下覆岩破坏裂隙发育特征。对于近距离煤层特厚煤层开采,《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南》(以下称《“三下”采煤指南》)<sup>[11]</sup>中给出的综合采厚公式已不适用。通过构建数学模型,优化了近距离高强度开采综合采厚计算公式,可为类似地质条件下高强度开采覆

岩破坏高度预计提供依据。

1 高强度采动裂隙发育高度预计方法

1.1 覆岩类型划分方法

岩体的强度和质量等级对工程设计、布置、运营等环节均起重要的作用<sup>[12]</sup>。根据 GB/T 50218—2014《工程岩体分级标准》<sup>[13]</sup>,按饱和单轴抗压强度将岩石坚硬程度划分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩共 5 类(表 1)。表 1 的岩石强度划分方法主要用于采矿开挖岩体的防护、建筑物地基的承载能力和变形计算、采动地表移动变形计算及水利水电工程等领域。然而,矿井防治水中预计采动覆岩破坏高度时,基于岩石力学强度统计出有规律的经验公式,根据工程实际按照岩石单轴抗压强度将煤层顶板覆岩划分为坚硬、中硬、软弱和极软弱共 4 种类型(表 2),定量化划分范围与工程岩体分级标准有一定的差异。

表 1 工程岩体分级标准岩石坚硬程度分类  
Table 1 Standard for engineering classification of rock mass

坚硬程度 等级		饱和单轴抗压 强度 $R_c$ /MPa	代表性岩石
硬 质 岩	坚硬岩	$R_c > 60$	未风化~微风化花岗岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英岩、石英砂岩、硅质砾岩、硅质石灰岩等
	较硬岩	$60 \geq R_c > 30$	微风化的坚硬岩石;未风化的大理岩、板岩、石灰岩、白云岩、钙质砂岩等
软 质 岩	较软岩	$30 \geq R_c > 15$	中风化~强风化的坚硬岩或较硬岩;未风化~微风化的凝灰岩、千枚岩、泥灰岩、砂质泥岩等
	软岩	$15 \geq R_c > 5$	强风化的坚硬岩或较硬岩;中风化~强风化的较软岩;未风化~微风化的页岩、泥岩、泥质砂岩等
	极软弱	$R_c \leq 5$	全风化的各种岩石;各种半成岩

表 2 “两带”覆岩岩石强度分类

Table 2 Rock strength classification of caved and fractured zones strata		
覆岩岩性单轴抗压强度范围/MPa		代表性岩石
坚硬	[40,80)	石英砂岩、石灰岩、砾岩
中硬	[20,40)	砂岩、泥质灰岩、砂质页岩、页岩
软弱	[10,20)	泥岩、泥质砂岩
极软弱	<10	铝土岩、风化泥岩、黏土、砂质黏土

1.2 厚煤层“两带”发育高度预计方法

我国许多学者研究了不同采矿和地质条件的围岩破坏裂隙演化特征,解决了诸多地下工程中的技术难题,取得了突破性进展。20 世纪 80 年代以来,现代化综放开采技术得以快速发展,同时综放工作面覆岩裂隙演化规律研究取得了突破性进展,覆岩破坏高度确定方法主要有经验公式法、现场观测法(地面和井下钻孔注水观测、钻孔电视观测及地球物理勘探等)、相似材料模拟及数值分析等。随着综放工作面现场实测数据的增多,《“三下”采煤指南》<sup>[11]</sup>给出了不同覆岩类型条件下单层厚煤层综放开采垮落带和导水裂隙带高度(2 个)计算公式(表 3)。

表 3 综放开采“两带”高度计算公式

Table 3 Computational formula of caved and fractured zones heights for full-mechanized caving mining			
覆岩岩性	垮落带高度/m	导水裂隙带高度/m	
		公式 1	公式 2
坚硬	7M+5	$\frac{100M}{0.15M + 3.12} \pm 11.18$	30M+10
中硬	6M+5	$\frac{100M}{0.23M + 6.10} \pm 10.42$	20M+10
软弱	5M+5	$\frac{100M}{0.31M + 8.81} \pm 8.21$	10M+10

注:M 为采厚,为 3~10 m。

2 坚硬覆岩高强度采动裂隙发育特征

2.1 现场观测区概况

库车矿区某矿开采下<sub>1</sub>和下<sub>5</sub>煤层,下<sub>1</sub>煤采厚 3.5 m,大采高一次采全厚开采。下<sub>5</sub>煤层平均采厚 9.7 m,采用综合机械化放顶煤采煤方法,全部垮落法管理顶板。下<sub>5</sub>煤顶板以粉砂岩为主,泥岩、砂质泥岩抗压强度平均为 68.3 MPa,粉砂岩抗压强度为 53.7 MPa,根据表 2 划分标准顶板为坚硬类型。下<sub>5</sub>煤层 5104 工作面位于东翼一采区,其上部为下<sub>1</sub>煤采空区。工作面走向长度为 3 122 m,倾向长度为 240 m。

现场观测过早,导水裂隙带未发育至最大高度;观测过晚则部分裂隙已压实闭合,难以测得有效值。

根据工作面开采状况,将 19-1 钻孔选定在距终采线 1 000 m,距上平巷 20 m 处;19-2 钻孔选定在距终采线 1 012 m,距下平巷 30 m 处(图 1)。设计松散层中下套管,钻孔开孔孔径为 219 mm,钻至第四系底界面以下 3~5 m 的基岩段,下放  $\phi 140$  mm 套管。固管止水合格后,换  $\phi 113$  mm 岩心管取心钻进,终孔位置在取得垮落带高度特征后终止钻进。钻孔结构如图 2 所示。

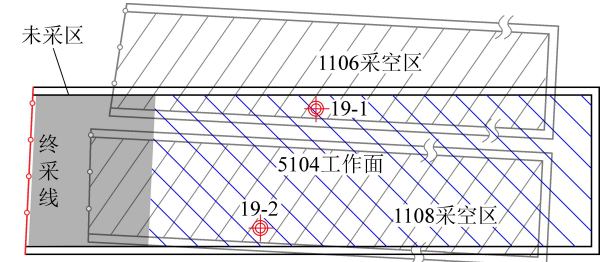


图 1 5104 工作面“两带”孔布置  
Fig.1 Boreholes Lay-out plan of caved and fractured zones

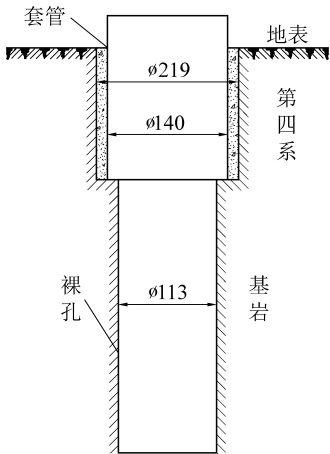


图 2 5104 工作面钻孔结构  
Fig.2 Borehole structure of No.5104 working face

2.2 现场观测

2.2.1 钻孔冲洗液和水位观测

19-1 钻孔冲洗液消耗量和水位观测结果如图 3 所示。松散层由砂土及底部砾石组成,为防止塌孔,松散层段下套管,基岩段清水钻进,钻进过程中共出现 5 次不返水,且钻孔中水位逐渐下降。初次在 68.74 m 位置不返水,刚进入基岩段,表明导水裂隙带顶点已发育基岩顶界面,进入松散层,导水裂隙带顶点埋深小于 68.74 m;导水裂隙带中局部存在扰动但未破裂的岩层,钻进至该位置时有返水现象;131.15 m 处冲洗液全部漏失,循环终止,钻孔中已无水,出现“掉钻”现象;钻孔穿过下<sub>1</sub>煤层采空区后,并未发现完整岩层,表明下<sub>5</sub>煤开采垮落带已发育至下<sub>1</sub>煤顶板,131.15 m 为综合开采垮落带顶点位置。

19-2 钻孔钻至松散层 97.2 m,即距松散层底界



面3.8 m时不返泥浆,冲洗液全部漏失,循环终止,并且该位置之后一直无返水,表明导水裂隙带已发育至松散层,导水裂隙带顶点小于97.2 m。

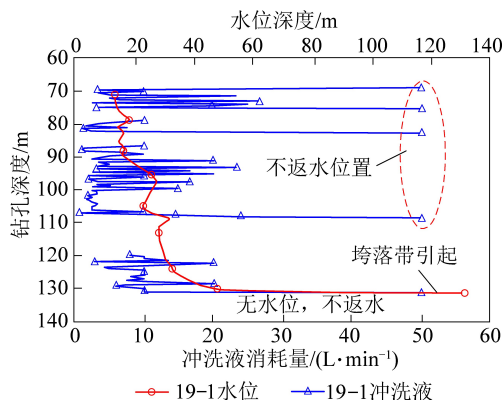


图3 19-1 钻孔冲洗液消耗量和水位变化

Fig.3 Water consumption quantity and water level variation of borehole 19-1

## 2.2.2 钻孔电视观测

19-2 钻孔电视观测到采动裂隙已发育至基岩顶部,并进入松散层,导水裂隙带采动裂隙以纵向交叉为主,与岩心特征一致;随着钻孔深度的增大,采动裂隙逐渐发育,即煤层附近顶板裂隙发育(图4)。观测到178.35 m处出现空洞(图5),且有卡、掉钻现象,深部空洞更明显。钻孔穿过下<sub>1</sub>煤层采空区后,同样为发现完整岩层,表明下<sub>2</sub>煤开采垮落带已发育至下<sub>1</sub>煤顶板,178.35 m为垮落带顶点。

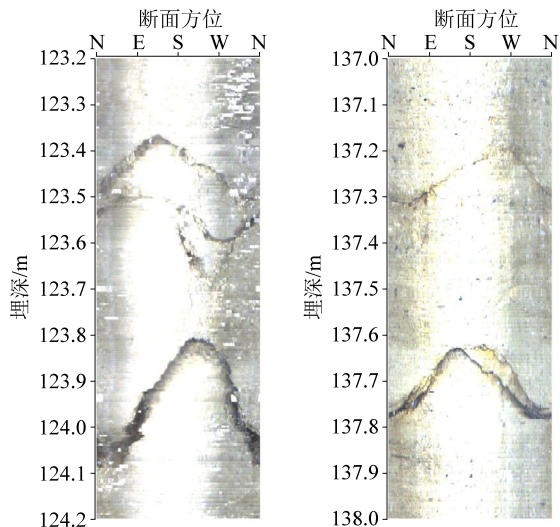


图4 19-2 钻孔不同深度导水裂隙带钻孔电视观测成果

Fig.4 Fissure zone observation of borehole TV from different depth in 19-2 borehole

## 3 软弱覆岩高强度采动裂隙发育特征

### 3.1 观测区概况

蒙东矿区畅彤煤矿主采7号煤层,其中1703工

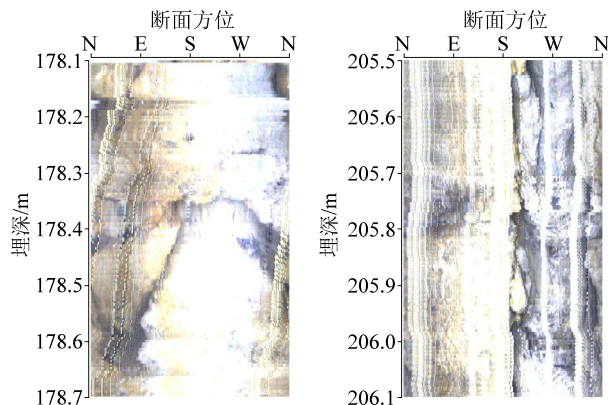


图5 不同深度垮落带钻孔电视观测成果

Fig.5 Caving zone observation of borehole TV from different depth

作面走向长度1 262 m,倾斜长度为130 m,煤层平均厚度16.9 m,煤层倾角 $2^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ,平均 $6^{\circ}$ ,采用分层综放采煤方法,全部垮落法管理顶板。1703<sup>-1</sup>上分层工作面平均采厚9.3 m,1703<sup>-2</sup>下分层工作面平均采厚7.6 m。煤层顶板基岩厚度为110~200 m,以泥岩、泥质粉砂岩为主,其中泥类岩所占比例接近50%。泥类岩单轴抗压强度1.4~11.6 MPa,平均5.8 MPa;砂类岩单轴抗压强度3.8~7.2 MPa,平均6.8 MPa。由表2可知,工作面覆岩为软弱类型。

由于受上分层采空区区段煤柱的影响,17-1 钻孔距终采线、上平巷为420 m和40 m。17-2 钻孔距终采线、上平巷为383 m和20 m(图6)。考虑到第四系和新近系含水层的影响,松散层中设计2级套管(图7)。钻孔开孔孔径为480 mm,钻至第四系底界面以下3~5 m的隔水黏土层,下放一级 $\phi 273$  mm套管。固管止水合格后,换 $\phi 219$  mm钻头钻进,钻至新近系底界面以下5 m左右的稳定基岩层,下放二级 $\phi 164$  mm套管。基岩中孔径为108 mm,取心钻进,终孔位置为垮落带顶点以下5 m。

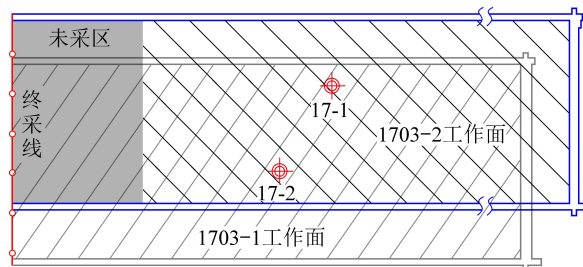


图6 1703-2 工作面“两带”孔布置

Fig.6 Borehole lay-out plan of caved and fractured zones

### 3.2 现场观测成果

#### 3.2.1 钻孔冲洗液消耗量和水位变化

17-1 和 17-2 钻孔冲洗液消耗量和水位变化如图8所示,2个钻孔分别在168.5 m和175.9 m以浅

冲洗液消耗量不大于 1.15 L/min 和 2.16 L/min,之后逐渐增大;分别钻进至 172.05 m 和 178.43 m 时,钻孔不返水,冲洗液循环终止,分析钻孔已进入导水裂隙带;分别钻进至 222.72 m 和 234.43 m 时钻孔水位下降明显,出现“卡钻、掉钻”现象,分析已进入垮落带。

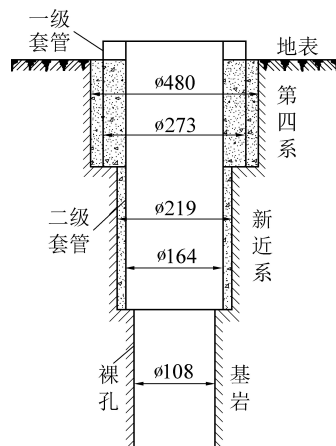


图7 1703-2工作面钻孔结构示意图

Fig.7 Borehole structure of No.1703-2 working face

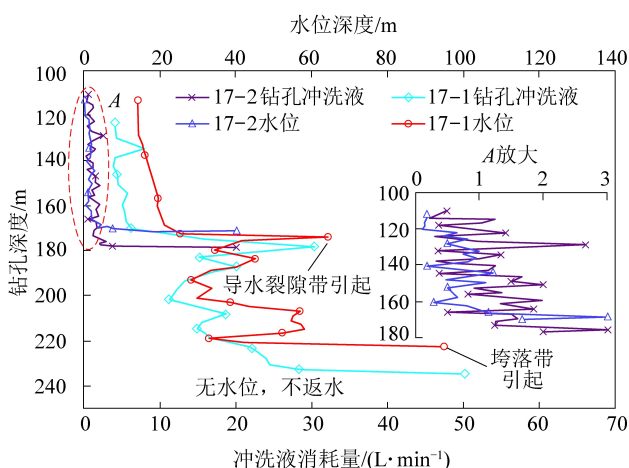


图8 软弱地层冲洗液消耗量和水位变化

Fig.8 Water consumption quantity and water level changed in boreholes for weak strata

### 3.2.2 钻孔电视观测成果

钻孔电视观测段使用清水钻进,由于软岩地层主要为软弱泥岩或泥质粉砂岩,导致 17-1 和 17-2 钻改导水孔壁不能得到保护,2 个钻孔钻至垮落带附近时,孔壁坍塌造成钻孔 180 m 以下位置水浑浊,钻孔电视模糊。经 2 d 沉淀后,再次观测时,分别在 175 m 和 180 m 处再次发生塌孔,扫孔后水变浑浊,钻孔电视未观测到明显的垮落带,仅观测到导水裂隙带发育情况。17-1、17-2 钻孔分别在 168.5 m 和 175.9 m 处观测到明显裂隙(图 9),与钻孔冲洗液漏失量增大的位置相符。

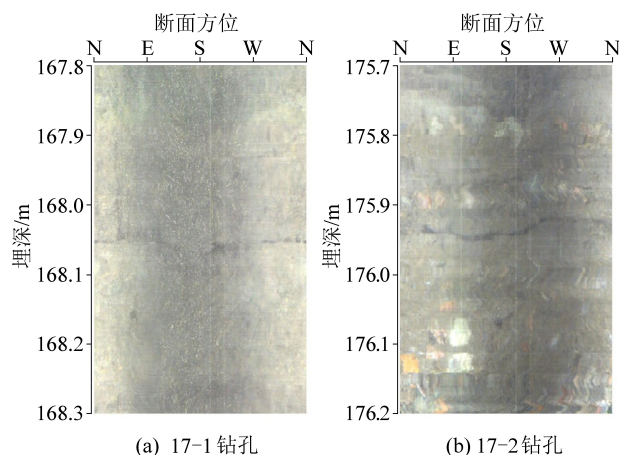


图9 17-1 和 17-2 导水钻孔裂隙带钻孔电视分析

Fig.9 Fissure zone observation of 17-1 and 17-2 boreholes TV

## 4 采动裂隙发育特征对比及分析

覆岩采动裂隙发育特征影响因素较多,通常由覆岩强度、采动强度、采煤方法、地质构造等多种因素控制,但通过对比不同覆岩强度条件下高强度开采裂隙发育特征,可为现场工程实践及水害防治提供借鉴。上述坚硬地层中 19-1 和 19-2 钻孔揭露下<sub>5</sub>煤与下<sub>1</sub>煤间距分别为 64.7、65.8 m。由表 3 坚硬覆岩综放开采垮落带高度经验公式,计算下<sub>5</sub>煤综放开采垮落带高度为 72.9 m,结合现场观测成果,表明下层煤垮落带高度均大于下<sub>5</sub>煤与下<sub>1</sub>煤层间距。根据《“三下”采煤指南》,当下层煤的垮落带接触到或完全进入上层煤范围内,下层煤的导水裂隙带最大高度应采用上、下层煤的综合开采厚度计算。上、下层煤的综合开采厚度为

$$M_z = M_2 + \left( M_1 - \frac{h_{1-2}}{y_2} \right) \quad (1)$$

式中: $M_1$ 为上层煤开采厚度,m; $M_2$ 为下层煤开采厚度,m; $h_{1-2}$ 为上、下层煤之间的层间距,m; $y_2$ 为下层煤的垮落带高度与采厚之比。

对于上述库车矿区坚硬岩层下层煤为特厚煤层

时,计算  $\left( M_1 - \frac{h_{1-2}}{y_2} \right) < 0$ ,则  $M_z < M_2$  不符合实际,即

该公式已不适用于近距离特厚煤层的开采。由于近距离特厚煤层开采覆岩破坏“两带”高度实测数据较少,难以获得统计经验公式。为此根据现场实测数据及下组煤垮落带高度  $H_k$  和煤层间距的关系曲线特征,引入反正切函数,构建近距离特厚煤层开采垮落带高度与层间距关系数学模型,当下层煤的垮落带接触到或完全进入上层煤范围内时,即  $h_{1-2} \leq H_k = M_2 y_2$ ,上、下层煤的综合开采厚度可表示为



$$M_Z = M_2 + \left(1 - \frac{4}{\pi} \arctan \frac{h_{1-2}}{M_2 y_2}\right) M_1 \quad (2)$$

经分析,综合采厚与层间距成反比,与垮落带高度成正比。煤层间距越大,下层导水煤裂隙带高度受上层煤的影响减弱,即上层煤厚度占综合采厚的比例减小。特厚煤层分层开采时,层间距 $h_{1-2}=0$ ,则 $M_Z=M_2+M_1$ ;下层煤垮落带发育到上层煤时, $h_{1-2}=h_k=M_2 y_2$ ,则 $M_Z=M_2$ ,即下层煤导水裂隙带高度计算不受上层煤的影响,但取二者的最高点。通过《“三下”采煤指南》现有数据验证,与原公式综合采厚计算结果接近,并且涵盖了近距离厚煤层开采条件取值范围,完善和改进了原有公式。经计算,19-1钻孔下<sub>5</sub>和下<sub>1</sub>煤层综合开采厚度为9.97 m,19-2钻孔为9.93 m。现场观测垮落带高度 $H_k$ 和导水裂隙带高度确定<sup>[14]</sup>如下

$$H_k = Z - M - h_k \quad (3)$$

$$H_l = Z - M - h_l \quad (4)$$

式中: $Z$ 为煤层底板埋深,m; $h_k$ 、 $h_l$ 分别为垮落带和导水裂隙带顶点埋深,m。

以上坚硬岩层和软弱岩层高强度开采“两带”高度计算见表4。对于近距离坚硬顶板煤层高强度开采,综合开采后垮采比为9.39~9.62,裂采比大于17.80,相对表3中垮采比明显增大,主要是由于下<sub>5</sub>煤层开采垮落带发育至上组下<sub>1</sub>煤层采空区,而垮落带峰值标高低于下<sub>1</sub>煤层垮落带顶点,造成综合垮落带高度增大,并且煤层组间距相等较大,上组煤对综合采厚影响较小,造成垮采比明显增大,近距离高强度开采综合垮采比和裂采比的计算具有较强的适用性。而软弱覆岩特厚煤层分层综放高强度开采垮采比为4.59~4.71,裂采比为8.04~8.58。坚硬岩层高强度开采垮采比和裂采比为软弱岩层的近2倍。

表4 实测“两带”高度

Table 4 Heights of caved and fractured zones from in-situ measurement

孔号	类型	煤层底板埋深/m	“两带”顶点埋深/m	“两带”高度/m	综合采厚/m	垮采比或裂采比
19-1	垮落带	234.43	131.15	93.58	9.97	9.39
	导水裂隙带	234.43	<68.74	>155.99	9.97	>15.65
19-2	垮落带	283.61	178.35	95.56	9.93	9.62
	导水裂隙带	283.61	<97.20	>176.71	9.93	>17.80
17-1	垮落带	310.40	222.70	72.00	15.70	4.59
	导水裂隙带	310.40	168.50	126.2	15.70	8.04
17-2	垮落带	320.50	234.30	71.1	15.10	4.71
	导水裂隙带	320.50	175.90	129.5	15.10	8.58

通过现场冲洗液消耗量观测,坚硬地层冲洗液消耗量变化断断续续或者完全漏失,软弱地层遇到导水裂隙带时完全漏失。钻孔电视和岩心观测到坚硬岩层相对软弱岩层采动裂隙较发育,裂隙倾角较大(图10),将引起岩层采动传播影响角增大。坚硬岩层清水钻进时,钻孔电视易观测到明显的垮落带和导水裂隙带特征,而软弱地层由于遇水软化,造成塌孔,钻孔电视较为模糊不易观测,尤其垮落带特征难以观测,为防止钻孔塌孔导致钻孔电视卡埋,建议采用冲洗液消耗量、水位观测及岩样裂隙观察等综合方法进行“两带”顶点的判别。



(a) 坚硬地层 (b) 软弱地层

图10 导水裂隙带岩样  
Fig.10 Rock sample of fissure zone

5 结 论

1)总结分析了覆岩类型定性和定量划分方法及适用条件,基于岩石力学强度统计的“两带”高度经验公式与工程岩体分级标准定量划分方法有差异,现场预计覆岩破坏“两带”高度时,应选择合适的分类方法及相应的经验公式。

2)通过钻孔冲洗液消耗量和钻孔电视观测相结合的方法,测得了坚硬和软弱地层高强度开采覆岩破坏裂隙发育特征。坚硬岩层采动裂隙发育,冲洗液消耗量变化断断续续或者完全漏失,且岩层断裂倾角大,岩层传播影响角较大。软弱地层遇水易软化、塌孔,钻孔电视成像较为模糊,需采用综合方法进行“两带”顶点的判别。

3)经计算,坚硬岩层下<sub>5</sub>煤综放开采垮落带高度大于煤层间距,波及到上层煤采空区。对于近距离下层特厚煤层开采,《“三下”采煤指南》中综合采厚公式已不适用。为此通过构建近距离特厚煤层开采垮落带高度与层间距关系数学模型,提出了适合该地质条件的综合采厚计算公式。经分析,坚硬顶板高强度开采垮采比为9.39~9.62,裂采比大于17.80,为软弱覆岩的近2倍。

参考文献(References):

[1] 张 彬,许延春,李江华,等.软弱覆岩分层综放开采工作面“两带”发育高度研究[J]. 矿业科学学报,2019,4(6):

- 515-523.
- ZHANG Bin, XU Yanchun, LI Jianghua, *et al.* Research on the “two zone” heights of soft stratum working face with slicing full-mechanized caving mining [J]. *Journal of Mining Science and Technology*, 2019, 4(6): 515-523.
- [2] 国家安全监管总局, 国家煤矿安监局, 国家能源局, 国家铁路局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.
- [3] 张宏伟, 朱志洁, 霍利杰, 等. 特厚煤层综放开采覆岩破坏高度 [J]. *煤炭学报*, 2014, 39(5): 816-821.
- ZHANG Hongwei, ZHU Zhijie, HUO Lijie, *et al.* Overburden failure height of super high seam by fully mechanized caving method [J]. *Journal of China Coal Society*, 2014, 39(5): 816-821.
- [4] 孙庆先, 牟义, 杨新亮. 红柳煤矿大采高综采覆岩“两带”高度的综合探测 [J]. *煤炭学报*, 2013, 38(S2): 283-286.
- SUN Qingxian, MU Yi, YANG Xinliang. Study on “two-zone” height of overlying of fully-mechanized technology with high mining height at Hongliu coal mine [J]. *Journal of China Coal Society*, 2013, 38(S2): 283-286.
- [5] 冯国财, 李强, 孟令辉. 辽宁三台子水库下特厚煤层综放开采覆岩破坏特征 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2012, 23(4): 76-80.
- FENG Guocai, LI Qiang, MENG Linghui. Failure rules of overburden strata in fully-mechanized sublevel caving of specially thick coal seam of damping mine [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2012, 23(4): 76-80.
- [6] 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.
- YANG Daming, GUO Wenbing, ZHAO Gaobo, *et al.* Height of water-conducting zone in longwall top-coal caving mining under thick alluvium and soft overburden [J]. *Journal of China Coal Society*, 2019, 44(11): 3308-3316.
- [7] 许延春, 刘世奇, 柳昭星, 等. 近距离厚煤层组工作面覆岩破坏规律实测研究 [J]. *采矿与安全工程学报*, 2013, 30(4): 506-511.
- XU Yanchun, LIU Shiqi, LIU Zhaoxing, *et al.* Overburden failure laws in working face of short distance thick coal seams group [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2013, 30(4): 506-511.
- [8] 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及应用 [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 [J]. *Coal Science and Technology*, 2021, 49(4): 159-168.
- [9] 白利民, 尹尚先, 李文. 综采一次采全高顶板导水裂缝带发育高度的计算公式及适用性分析 [J]. *煤田地质与勘探*, 2013, 41(5): 36-39.
- BAI Limin, YIN Shangxian, LI Wen. Calculation formula of water conducting zone height in roof for fully mechanized mining and its adaptability analysis [J]. *Coal Geology & Exploration*, 2013, 41(5): 36-39.
- [10] 陈连军, 李天斌, 王刚, 等. 水下采煤覆岩裂隙扩展判断方法及其应用 [J]. *煤炭学报*, 2014, 39(S2): 301-307.
- CHEN Lianjun, LI Tianbin, WANG Gang, *et al.* Crack expansion judgment method in overlying strata and its application for coal mining under aquifers [J]. *Journal of China Coal Society*, 2014, 39(S2): 301-307.
- [11] 胡炳南, 张华兴, 申宝宏. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.
- [12] 张理, 龚鹵, 赵奎. 工程岩体分类评价方法综述 [J]. *有色金属科学与工程*, 2010, 1(5): 91-95.
- ZHANG Li, GONG Cong, ZHAO Kui. On the evaluation methodology of engineering rock masses [J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*, 2010, 1(5): 91-95.
- [13] GB/T 50218—2014, 工程岩体分级标准 [S].
- [14] 李江华, 李宏杰, 黎灵, 等. 松散砂砾含水层下特厚煤层分层综放开采可行性研究 [J]. *煤炭科学技术*, 2019, 47(5): 88-94.
- LI Jianghua, LI Hongjie, LI Ling, *et al.* Feasibility research on slicing full-mechanized caving mining in extra-thick coal seam under unconsolidated gravel aquifer [J]. *Coal Science and Technology*, 2019, 47(5): 88-94.