

大断面沿空掘进巷道窄煤柱内裂隙演化规律分析

Analysis of fissure evolution law in narrow coal pillar of large cross-section gob-side entry driving roadway

王春森, 郑茂慧 (内蒙古黄陶勒盖煤炭有限责任公司巴彦高勒煤矿, 内蒙古 鄂尔多斯 017300)

摘要: 3102 回风巷道采用 6 m 煤柱护巷, 且邻近的 3101 工作面开采的 3-1 煤层为自然发火煤层, 受采空区侧向压力及掘进影响, 3102 回风巷道护巷煤柱变形量较大。为了确保巷道掘进安全、避免邻近采空区内遗煤自燃, 采用模拟分析、现场观测方法对煤柱内裂隙演化规律进行分析。结果表明, 随着 3102 回风巷道掘进煤柱内裂隙逐渐扩展, 且煤柱内存在有贯通裂隙, 煤柱内裂隙扩展分 4 个区域。研究成果为矿井采取针对性裂隙封堵技术提供参考借鉴。

关键词: 沿空掘巷; 窄煤柱; 裂隙; 自燃煤层; 采空区

中图分类号: U455.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)04-0009-04

Abstract: The 3102 return airway is protected by 6 m coal pillar, and the 3-1 coal seam mined in the adjacent 3101 working face is spontaneous combustion coal seam. Due to the influence of lateral pressure in goaf and tunneling, the deformation of coal pillar in the 3102 return airway is large. In order to ensure the safety of roadway driving and avoid spontaneous combustion of residual coal in adjacent goaf, the evolution law of fissures in coal pillar is analyzed through simulation analysis and field observation. The results show that with the gradual expansion of the fissures in the coal pillar in the 3102 return airway, and there are through-fissures in the coal pillar, the fissures in the coal pillar can be divided into four areas. The research results provide reference for adopting targeted fissures blocking technology in mines.

Key words: gob-side entry driving; narrow coal pillar; fissure; spontaneous combustion coal seam; goaf

1 前言

某矿设计产能 400 万 t/a, 共分为三个开采水平, 目前主采一水平的 3-1 煤, 矿井为低瓦斯矿井, 煤层具有爆炸危险, 所采煤层为容易自燃煤层, 自然发火期在 41 ~ 92 d。依据已有研究成果, 经过预氧化浸水风干处理后的煤样与原煤及未浸水煤体相比, 表现出更强的氧化性, 同时产生 CO 速率及 CO 产生量均远超原煤及预氧化煤体^[1-2]。矿井 3-1 煤开采后采空区内会出现不同程度积水, 后期排水后会增加采空区内遗煤自然发火危险性。

在沿空掘巷中, 煤柱裂隙是 CO 入侵作业场所的关键通道, 同时也是采空区漏风的主要通道^[3]。因此, 在沿空掘巷施工过程中掌握护巷煤柱孔裂隙发育对预防采空区有毒有害气体入侵沿空掘巷具有

重要意义。

2 工程概况

2.1 地质概况

3102 工作面回风巷道为矩形断面, 掘宽、掘高分别为 5 500 mm、4 200 mm, $S_{掘} = 23.10 \text{ m}^2$; 净宽、净高分别为 5 300 mm、3 900 mm, $S_{净} = 20.67 \text{ m}^2$ 。东部以盘区辅运大巷为界, 西部至 12 盘区西部边界, 北部为已实现密闭的 3101 工作面, 南部为待采 3102 工作面。为配合 3101 采空区排水需要, 3102 工作面巷道与 3101 采空区间有 6 m 小煤柱。

3102 回风巷道沿 3-1 煤底板掘进, 煤层倾角 $1^\circ \sim 3^\circ$, 厚度 3.90 ~ 5.90 m, 平均煤厚 5.25 m。通过三维地震勘探资料和已掘进的 3101 运输巷道分析, 3102 回风巷道掘进至 3 009 m 处揭露 DF19 断层, 断层落差约为 6.5 m, 走向 296° , 倾向 26° , 倾角 49° 。具体位置如图 1 所示。

2.2 回风巷道围岩变形

3102 工作面回风巷道采用锚网索支护工艺(锚

[作者简介] 王春森(1988 -), 男, 汉族, 山东济南人, 工程师, 本科, 从事矿井生产数据统计、工程管理工作。

[引用格式] 王春森, 郑茂慧. 大断面沿空掘进巷道窄煤柱内裂隙演化规律分析[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(4): 9-12+28.

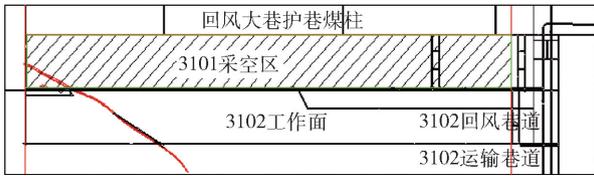


图1 3102工作面平面布置图

杆间排距均为1 000 mm),由于回风巷道断面尺寸



图2 煤柱变形现场照片

3 小煤柱裂隙发育分析

将煤柱留设的尺寸设置为6 m时,煤柱在较大压力的情况下产生压酥变形,进而产生大量裂隙,数值模拟技术是研究煤柱裂隙扩展的常用技术手段^[4]。因此,文中采用模拟分析以及现场实测方法对小煤柱内裂隙发育情况进行分析。

3.1 模拟分析

裂隙发育在煤体内部,现场实测较为困难,现阶段多采用数值模拟对裂隙发育、演化规律进行研究^[5-7]。文中采用PFC软件对3102回风巷道小煤柱内裂隙扩展情况进行模拟分析。煤柱长100 m,宽为6 m,每掘进10 m保存一组数据,具体巷道掘进0~100 m时煤柱内孔隙率分布情况如图3所示。

从图3看出,孔隙率在掘进后的煤柱内明显增加,同时受到掘进动压影响超前掘进面一定范围内的煤柱内孔隙率也有所增加。

当3102回风巷道掘进10 m时,护巷煤柱(6 m)中已发育裂隙且随着巷道掘进距离增加,煤柱内裂隙更为发育;当回风巷道掘进40 m时,护巷煤柱裂隙呈大面积联通状态、煤柱孔隙率发育;掘进到50 m时,煤柱孔隙率与40 m位置孔隙率基本上相同;掘进60 m时护巷煤柱内孔隙率呈减小状态,且与掘进面的距离的增加,护巷煤柱内孔隙率呈逐渐减少趋势;当掘进80 m时,护巷煤柱受力稳定,内部孔隙未出现大面积贯通状况。

综上所述护巷煤柱内裂隙发育可细分为以下4个阶段:

较大,在掘进期间受邻近采空区(3101采空区)侧向支撑压力、巷道掘进压力叠加影响,区段小煤柱容易受压产生较大变形,从而产生漏风通道。巷道掘进30 m时煤柱情况如图2所示,可以看出煤柱有着较为明显的变形。现场实测小煤柱变形量达到450 mm。

(1)巷道掘进10 m时,煤柱内有贯通裂隙,同时随着掘进距离增加,煤柱内裂隙持续增加,但是在掘进0~40 m时护巷煤柱孔隙未有大面积裂隙贯通,在此掘进期间护巷煤柱内裂隙处于扩展发育阶段。

(2)巷道掘进至40~50 m时,护巷煤柱裂隙保持最大,此阶段为裂隙最大区。

(3)当巷道掘进达到50~80 m时,护巷煤柱内裂隙在矿压作用下被压实,护巷煤柱孔隙率有所降低,此阶段为裂隙减小区。

(4)当巷道掘进至80~100 m时,护巷煤柱内部大面积联通的裂隙消失,煤柱内漏风量有所降低,此阶段为裂隙稳定区。

3.2 巷道煤柱裂隙现场观测

根据已有地质资料显示3101采空区会有一些积水。当采空区水位下降后,同时采空区内压强大于掘进巷道,从而在窄煤柱内产生漏风通道。随着3102回风巷道护巷煤柱内部出现贯通裂隙,从而形成漏风以及漏水通道,特别是在煤柱巷帮锚杆施工位置,漏水量较大。在3102回风巷道掘进过程中对巷帮锚杆漏水情况进行统计,可掌握护巷煤柱漏水以及漏风区域(煤柱内贯通裂隙发育区),从而为后续采取喷涂治理提供指导。

漏水情况自3102回风巷道开始掘进时记录,每三天记录一次漏水情况,按锚杆漏水位置,自下而上分分别为上、中、下,按漏水量分别分为I—轻微滴漏,不连续;II—水流呈现连续线状流出,但是流

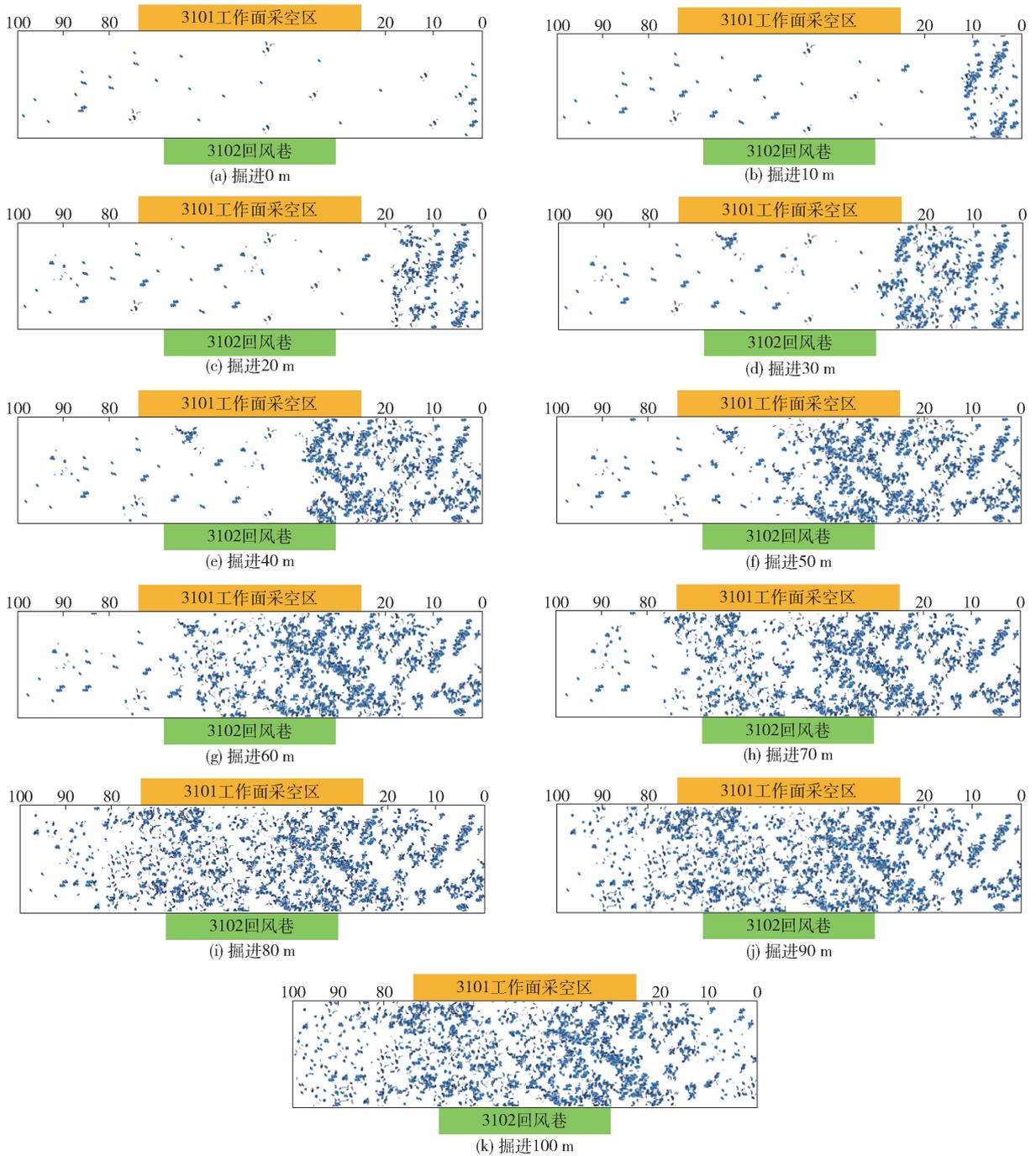


图3 回风巷道不同掘进距离时的窄煤柱孔隙率分布图

量较小;Ⅲ—水流呈现多条线状流出,水流量大。具体掘进 100 m 范围内锚杆渗水数据统计结果见表 1。

从表 1 看出,巷帮锚杆漏水呈现动态分段式规律:

(1)与掘进工作面相距 0~2 m:巷帮锚杆无明显漏水。

(2)与掘进工作面相距 2~35 m:巷帮锚杆出现漏水情况,且与掘进工作面相距越远,锚杆漏水量

越大。

(3)与掘进工作面相距 35~50 m:巷帮锚杆漏水量最大且该区间范围内帮帮锚杆漏水量大致相同。

(4)与掘进工作面相距 50~75 m:巷帮锚杆漏水量有所降低,且随着与掘进工作面间距增加,巷帮锚杆漏水呈逐渐减小趋势。

(5)与掘进工作面相距 75~100 m:巷帮锚杆部分漏水,漏水锚杆呈点状分布。

表1 掘进100 m范围内锚杆渗水统计结果

| 锚杆编号 | 上部 | 中部 | 下部 | 锚杆编号 | 上部 | 中部 | 下部 |
|------|----|----|-----|------|----|-----|-----|
| 1 | - | - | - | 51 | II | II | II |
| 2 | - | - | - | 52 | - | - | III |
| 3 | I | - | - | 53 | - | - | - |
| 4 | I | I | I | 54 | - | II | III |
| 5 | - | - | I | 55 | - | II | III |
| 6 | - | - | - | 56 | II | II | III |
| 7 | - | - | - | 57 | - | II | III |
| 8 | - | - | - | 58 | I | II | III |
| 9 | - | I | - | 59 | - | II | III |
| 10 | - | - | - | 60 | I | II | III |
| 11 | - | - | I | 61 | - | II | - |
| 12 | I | I | I | 62 | II | III | III |
| 13 | - | - | - | 63 | II | II | III |
| 14 | - | - | - | 64 | II | III | III |
| 15 | - | - | - | 65 | II | III | III |
| 16 | - | I | - | 66 | - | II | III |
| 17 | - | - | - | 67 | I | II | - |
| 18 | - | - | - | 68 | - | II | II |
| 19 | - | - | I | 69 | - | I | III |
| 20 | - | - | - | 70 | - | II | - |
| 21 | - | - | - | 71 | - | - | - |
| 22 | - | - | - | 72 | - | - | III |
| 23 | - | - | - | 73 | - | II | - |
| 24 | - | - | - | 74 | - | - | - |
| 25 | - | - | I | 75 | - | II | - |
| 26 | I | I | I | 76 | I | - | III |
| 27 | - | - | II | 77 | - | - | - |
| 28 | - | - | - | 78 | - | - | - |
| 29 | - | II | II | 79 | - | - | - |
| 30 | - | - | I | 80 | - | I | III |
| 31 | - | - | - | 81 | - | - | - |
| 32 | - | - | II | 82 | - | - | - |
| 33 | I | I | I | 83 | I | - | II |
| 34 | - | - | - | 84 | - | - | - |
| 35 | - | - | II | 85 | - | I | I |
| 36 | - | I | I | 86 | - | - | - |
| 37 | - | I | II | 87 | - | - | - |
| 38 | - | I | I | 88 | - | - | - |
| 39 | - | I | I | 89 | - | - | - |
| 40 | - | II | II | 90 | - | - | II |
| 41 | - | II | II | 91 | - | II | - |
| 42 | - | - | - | 92 | - | - | II |
| 43 | II | II | II | 93 | - | - | I |
| 44 | I | - | I | 94 | - | I | - |
| 45 | - | - | II | 95 | - | - | I |
| 46 | - | - | - | 96 | - | - | I |
| 47 | - | II | - | 97 | - | I | - |
| 48 | - | - | II | 98 | - | - | I |
| 49 | - | - | - | 99 | - | - | - |
| 50 | - | II | III | 100 | - | - | - |

3.3 煤柱裂隙发育规律分析

随3102回风巷道不断推进,护巷煤柱内裂隙开始发育。模拟表明,在与掘进工作面相距0~40 m范围内为裂隙扩大区;在与掘进工作面相距40~50 m范围内为裂隙最大值区。

现场巷帮锚杆漏水监测结果显示:与掘进工作面相距3~35 m范围内,巷帮锚杆漏水呈逐渐增加趋势;在与掘进工作面相距35~50 m范围内,巷帮锚杆漏水量最大,同时漏水锚杆多中在靠近巷道底板位置;在与掘进工作面相距超过50 m后,受到护巷煤柱内被逐渐压实影响,煤柱内漏水通道减少,从而导致巷帮锚杆漏水量逐渐降低;在与掘进工作面相距超过75 m后,护巷煤柱内大部分裂隙闭合,但仍有部分裂隙与采空区贯通,从而导致仍有部分巷帮锚杆出现少量渗水情况。

依据与掘进工作面相距距离,将护巷煤柱内部裂隙发育划分为4区域,具体如图4所示。其中裂隙扩大区范围为0~35 m;裂隙最大区范围为35~50 m;裂隙减小区范围为50~75 m;裂隙稳定区范围为75 m以后。

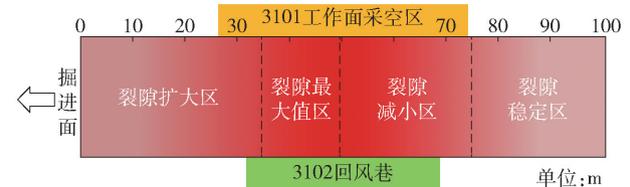


图4 煤柱裂隙发育趋势图

4 结论

(1)小煤柱沿空掘进时受到采空区侧向压力及掘进压力影响,巷道煤柱侧围岩变形量较大,特别是掘进断面较大时煤柱变形量更大。当开采的煤层具有自燃危险性时,煤柱变形性过大会在掘进巷道与邻近采空区间形成漏风通道,给煤炭回采安全带来威胁。

(2)采用PFC软件对着3102回风巷道掘进期间煤柱内裂隙扩展情况进行分析,发现巷道掘进后孔隙率在掘进后的煤柱内明显增加,同时受到掘进动压影响超前掘进面一定范围内的煤柱内孔隙率也有所增加,煤柱孔隙率以区段式分布;根据巷道锚杆漏水情况发现锚杆渗水区域呈现动态分段式发展。

(3)结合模拟分析结果及现场观测结果,随着3102回风巷道掘进,煤柱内裂隙扩展分4个区域,

(下转第28页)