

窄煤柱巷道过邻近采空区硐室影响区 围岩控制技术

Surrounding Rock Control Technology for Narrow Coal Pillar Tunnels Passing
through Adjacent Goaf Chambers

刘云强¹, 王琪¹, 王树瑞¹, 刘勋²

(1. 鄂托克前旗长城煤矿有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 016200; 2. 新汶矿业集团有限责任公司, 山东 泰安 271219)

摘要:针对邻近采空区硐室影响区巷道围岩变形严重问题,以5206回风巷过邻近5204采空区绞车硐室为研究对象,分析围岩变形严重原因并针对性给出围岩控制技术方案。具体通过采用注浆方式提升煤柱稳定性并封堵漏风裂隙,利用充填柔模袋维护硐室及煤柱稳定性,在煤柱帮浇筑混凝土墙体提高煤柱稳定性,利用架棚提高支护强度。现场应用后,5206回风巷得以安全顺利掘进过5204采空区绞车硐室影响区,期间顶底板及巷帮围岩保持稳定,巷道变形量较小且未发现邻近采空区瓦斯外泄问题。

关键词:回采巷道;窄煤柱;采空区硐室;围岩支护

中图分类号: TD353 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2025)03-0039-06

Abstract:In response to the serious deformation problem of surrounding rock in the influence area of adjacent goaf tunnels, this study takes the 5206 return airway passing through the adjacent 5204 goaf winch tunnel as the research object, analyzes the causes of severe deformation of surrounding rock, and provides targeted technical solutions for surrounding rock control. Specifically, grouting is used to enhance the stability of coal pillars and seal air leakage cracks. Soft mold bags are filled to maintain the stability of the tunnel and coal pillars. Concrete walls are poured on the coal pillar sides to improve the stability of the coal pillars, and scaffolding is used to increase support strength. After on-site application, the 5206 return airway was able to safely and smoothly excavate through the affected area of the 5204 goaf winch chamber. During this period, the roof, floor, and surrounding rock of the roadway remained stable, and the deformation of the roadway was small. No gas leakage problems were found in the adjacent goaf.

Key words:mining roadway; narrow coal pillar; goaf chamber; surrounding rock support

1 前言

窄煤柱护巷有利于提高煤炭资源采收率、增加煤炭开采经济效益,因此在煤矿井下有较为广泛的应用^[1-2]。为满足设备安装、运输等需要,回采巷道难以避免需要布置多类型的硐室,当窄煤巷道窄煤柱巷道过邻近采空区硐室,容易引起煤柱宽度进一步降低、围岩变形量增大、采空区有害气体涌出等各类问题,严重时甚至诱发安全生产事故^[3-6]。如何降低邻近采空区影响是窄煤柱巷道掘进期间需要解决

的现实问题^[7-8]。众多学者对窄煤柱巷道邻近采空区硐室巷道围岩控制技术进行研究,其中赵建兵、张豹等^[9]以禾草沟煤矿50113回风顺槽掘进过50115采空区内倒车硐室(煤柱间距缩小至0.6~1.3m)为工程研究背景,针对巷道过邻近采空区期间容易出现瓦斯异常涌出、涌出及围岩变形大等问题,提出采用超前探测方法对采空区内积水进行疏排,布置钻孔抽放有害气体并利用钻孔抽放负压减少掘进过硐室期间有害气体外溢量,通过向硐室注入凝泰克注浆材料起到维护硐室围岩稳定、降低回风顺槽围岩变形效果,现场应用后50113回风顺槽掘进时未出现瓦斯异常涌出、采空区涌水以及围岩变形量大等问题;孟德龙^[10]以中煤塔山煤矿30515胶带巷掘进为研究对象,巷道正常掘进时留设8m护巷煤柱,在掘

[作者简介] 刘云强(1987—),男,本科,工程师,主要从事煤炭开采工作。

[引用格式] 刘云强,王琪,王树瑞,等.窄煤柱巷道过邻近采空区硐室影响区围岩控制技术[J].中国矿山工程,2025,54(3):39-44.

进至邻近30517工作面硐室时煤柱宽度降至3 m, 胶带巷面临围岩变形量大、煤柱失稳等问题, 为此, 结合30515胶带巷现场条件, 提出采用钻探方式精准定位邻空硐室位置, 在邻空硐室影响区胶带巷断面优化为拱形并采用锚网索+架棚进行联合支护, 布置钻孔对邻空硐室进行注浆充填、对3 m窄煤柱进行注浆加固, 现场应用后, 30515胶带巷邻空硐室影响区内巷道顶底板、两帮移近量分别控制在126、164 mm以内, 巷道围岩稳定性较强; 付中华、吴宇等^[11]以经坊矿3-5092回风巷过邻近3-508采空区水仓为研究背景, 采用FLAC-3D软件分析回风巷与水仓间1 m煤柱稳定性, 发现回风巷掘进期间煤柱垮落、水仓围岩失稳, 为此, 提出在回风巷掘进探巷揭露水仓并采用砌砖、顶板锚网索补强、水仓内充填矸石袋等方式维护水仓稳定, 同时在巷道掘进回风巷过水仓期间采用单体+ π 型梁进行补强支护, 现场应用后回风巷围岩控制效果显著。本文就在借鉴以往研究成果基础上, 以西北地区

某煤矿5206回风巷过5204采空区绞车硐室影响区为研究背景, 针对性给出巷道围岩控制技术方案, 现场应用效果较好, 为5206回风巷安全高效掘进创造了良好条件。

2 工程概况

西北地区某煤矿5206采煤工作面位于2采区中部, 工作面北侧为及西侧为均实体煤、南侧为5204工作面采空区、东侧为2采区集中运输、回风及轨道巷等。5206采煤工作面回采的5#煤层埋深均值为269 m、倾角 $2^{\circ} \sim 16^{\circ}$, 煤层厚度均值为6.97 m, 全区可采, 原始瓦斯压力为0.35~0.47 MPa、原始瓦斯含量为4.35~5.97 m³/t, 煤层自燃发火倾向性为III类、煤尘具有爆炸危险性。5#煤层顶板、底板岩性均以泥岩、砂质泥岩及细粒砂岩为主, 顶板属于软岩, 承载能力及稳定性整体偏低, 具体顶底板岩性参数见表1。

表1 5#煤层顶底板岩性参数

顶底板名称	岩石类别	厚度/m	岩性特征	
基本顶	细砂岩	7.0	灰白色, 厚度稳定, 砂岩以石英为主, 长石次之, 分选磨圆中等, 泥质胶结, $f=3.5 \sim 4.7$	
顶板	直接顶	砂质泥岩	4.1	灰色, 性脆, 参差状断口, 含植物化石, $f=2.2 \sim 3.8$
	伪顶	泥岩	0.3	灰黑色, 性软, 断口参差状, 岩性不完整, 随采随垮, $f=0.35 \sim 0.59$
底板	直接底	细砂岩	5.9	灰白色, 以石英为主, 长石次之, 分选磨圆中等, $f=3.5 \sim 4.7$
	基本底	砂质泥岩	6.2	灰色, 性脆, 参差状断口, 含植物化石, $f=2.2 \sim 3.8$

5206采煤工作面设计走向、倾向长度分别为2 590、219 m, 采高为3.5 m、放煤高度为3.47 m, 设计推进速度为4.8 m/d, 采用两进一回通风方式, 布置有运输巷、轨道巷及回风巷。5206回风巷沿着5#煤层底板掘进, 矩形断面, 巷宽 \times 巷高=4 500 \times 3 500 mm, 围岩采用锚网索联合支护方式, 与邻近的5204采空区留设有13 m宽窄煤柱; 回风巷在掘进至750~762 m范围内进入到5204工作面调度绞车硐室影响区, 该硐室深度为5 m、下底、上底宽度分别为12 m、10 m, 受硐室影响5206回风巷与邻近5204采空区煤柱宽度缩小至8 m, 具体位置关系如图1所示。在5204工作面调度绞车硐室影响下, 5206回风巷在掘进期间容易出现围岩变形量大、支护体系失效、掘进工作面瓦斯涌出量高等问题,

需要结合现场情况制定巷道围岩控制技术方案, 以便为回风巷掘进及后续工作面安全回采创造良好条件。

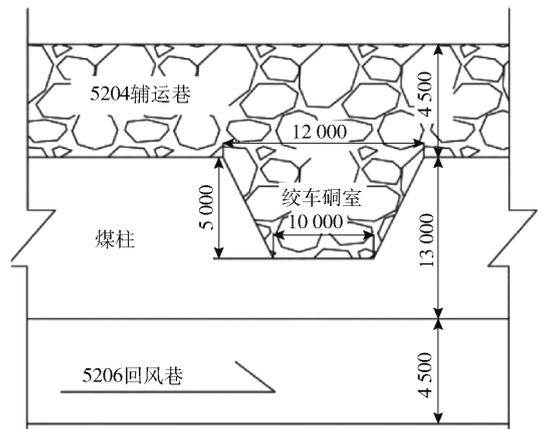


图1 回风巷与5204采空区绞车硐室位置示意图

3 硐室影响区回风巷围岩变形分析

3.1 回风巷掘进现状

截止到2024年7月5206已掘进至745 m,在邻近硐室影响区内回风巷出现煤柱帮片帮、顶板下沉等问题,现场实测煤柱帮及顶板变形量最大分别为360 mm、185 mm,而在正常区域煤柱帮及顶板变形量一般在105 m、92 mm以内,邻近硐室影响区回风巷煤柱帮及顶板变形量增幅达到242.8%、101%;同时在靠近煤柱帮位置瓦斯浓度增高至0.58%,而巷道其余位置瓦斯浓度均在0.12%以内。5206回风巷与邻近硐室间煤柱裂隙发育、承载能力降低,从而导致回风巷煤柱帮片帮、围岩变形,邻近采空区高浓度瓦斯沿着裂隙向回风巷涌出。

3.2 回风巷围岩变形分析

结合5206回风巷现场实际情况,分析硐室影响区回风巷围岩出现较大变形的主要原因为:

(1)回风巷围岩稳定性较差。5206回风巷沿着回采的5#煤层底板掘进,回风巷直接顶及两帮均为煤体、底板为泥岩及砂质泥岩,底板岩层强度、稳定性交顶板及巷帮稍强。由于5#煤层煤体结构复杂,中部靠下有2~5层炭质泥岩夹层,从而会降低5#煤层整体稳定性,从而导致硐室影响区回风巷围岩变形量有所增大。

(2)应力影响。5206回风巷埋深较强,巷道掘进区域地应力较低,地应力不会给巷道掘进及围岩控制带来较大影响;正常区域内回风巷与邻近5204采空区间有13 m宽窄煤柱,煤柱有较强的承载能力,不会出现大变形或者裂隙发育等情况;而掘进至硐室影响区时,由于5206回风巷与邻近5204采空区间煤柱宽度缩小至8 m,煤柱在巷道掘进扰动及邻近采空区侧向应力等叠加影响下内部裂隙扩展、承载能力进一步降低,从而导致回风巷煤柱帮出现较大变形,煤柱帮变形量大会进一步增大顶板变形^[12]。

(3)围岩支护强度偏低。5206回风巷顶板采用采用锚网索,煤柱帮采用锚网支护,煤柱帮一排3根 $\phi 22 \times 2\ 000$ mm螺纹钢锚杆、间排距 $1\ 100 \times 1\ 000$ mm,端头用1支型号MSK23/35树脂锚固剂锚固。受煤柱宽度变小及内部裂隙发育等影响,煤

柱帮锚杆锚固端不稳定,从而导致锚杆支护效果较差、失效率较高,增大煤柱帮变形量。

(4)硐室垮落影响。5204工作面调度绞车硐室顶板垮及煤帮垮落后,硐室与5206回风巷间实际煤柱宽度会进一步减小,使得煤柱承载强度降低,导致煤柱出现较大变形。

4 硐室影响区围岩控制技术

5206回风巷在硐室影响区(掘进范围为750~762 m)掘进时,需要解决的问题归结为:煤柱内部裂隙发育、回风巷顶板及煤柱帮变形严重、采空区瓦斯涌出等。为此,提出采用煤柱注浆、硐室用柔模袋充填、回风巷煤柱帮浇筑柔模混凝土墙体、巷道内架设钢棚等方式维护回风巷稳定,满足回风巷后续使用需要。

4.1 瓦斯涌出支护技术

在5206回风巷掘进至745 m(即于绞车硐室相距5 m)时停止掘进,在回风巷掘进迎头布置探测孔(兼作瓦斯抽放孔)进一步确定绞车硐室,同时对探测孔进行封孔、抽放采空区内瓦斯;在掘进迎头后方3~5 m范围内,在煤柱帮上布置3个抽放孔,钻孔位于底板上覆1.5 m、垂直巷帮布置,对采空区内瓦斯进行抽放。具体探测孔及瓦斯抽放孔布置情况如图2所示。

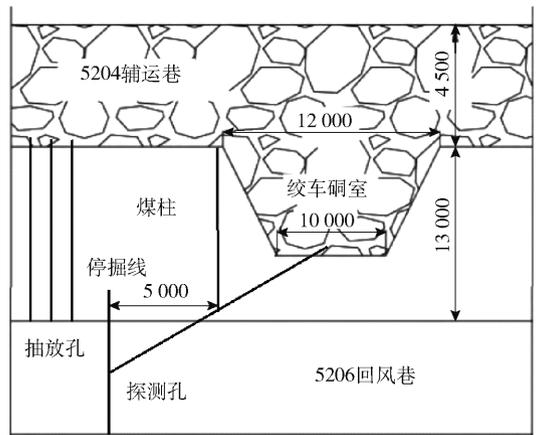


图2 探测孔及瓦斯抽放孔布置示意图

4.2 硐室影响区围岩控制技术方案

1)煤柱完整性窥视

在5206回风巷瓦斯抽放钻孔钻进期间,采用钻孔窥视仪窥视煤柱内部裂隙扩展情况,具体结果如图3所示。从图3可以看出,回风巷护巷煤柱

内部不同位置裂隙发育程度有一定差异,在靠近煤柱帮1~3 m范围内发育有细微裂隙,钻孔孔壁完整性较差,未见有明显的空洞;在靠近煤柱3~5 m范围裂隙发育程度有所降低,孔壁完整性较好且整体光滑;在靠近煤柱5~8 m范围,煤体裂隙发育程度有所增大,发育有横向及纵向裂隙。钻孔窥视发现,回风巷护巷煤柱内部虽然裂隙发育,但是整体稳定性及完整性较好,具备较强的承载能力。

在5206回风巷掘进至750 m位置时,在巷道

布置钻孔对窄煤柱进行钻孔窥视,具体成果如图4所示。从图4可以看出,在邻近绞车硐室影响区内,煤柱内部裂隙较为发育;在距离巷帮1~3 m范围内煤柱内部发育有纵横交错的裂隙,裂隙将煤体切割成块且存在较大空洞,煤体承载能力较低;在距离巷帮3~5 m范围内煤体内裂隙仍较为发育,煤体破碎程度较距帮帮1~3 m范围内有所降低;在距离巷帮5~8 m范围内,煤体内分布有纵横交错的裂隙,裂隙较煤体分割成较小的块体,孔壁完整性较差。

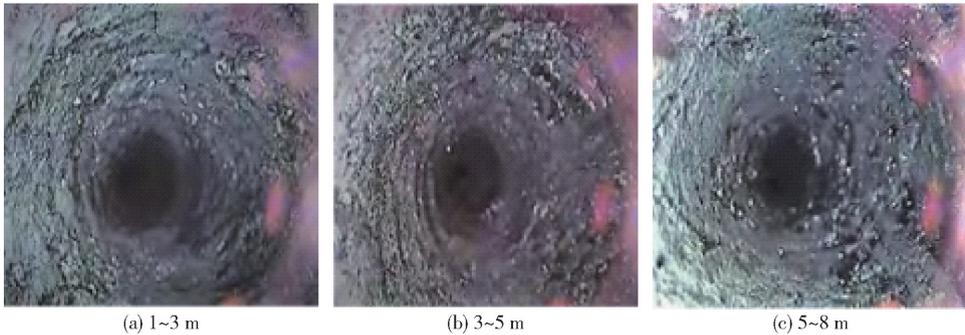


图3 瓦斯抽放孔窥视结果

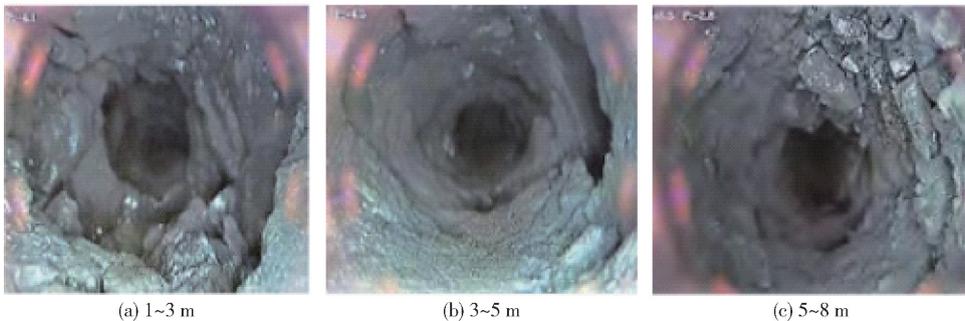


图4 绞车硐室影响区煤柱钻孔窥视结果

钻孔窥视发现,回风巷煤柱在绞车硐室影响下裂隙发育、承载能力及稳定性较差,需要针对性采取措施维护煤柱稳定性、封堵煤柱内部裂隙,以便维护5206回风巷围岩稳定并为后续5206工作面煤炭回采创造良好条件。

2) 煤柱注浆

为提高窄煤柱承载能力、降低回风巷煤柱帮变形量同时封堵煤柱内部裂隙,采用中空锚杆对煤柱进行注浆,具体为:

(1) 中空锚杆布置参数:在回风巷煤柱帮一排内置3根 $\phi 30 \text{ mm} \times 3000 \text{ mm}$ 的中空锚杆,布置间排距为 $1000 \text{ mm} \times 2000 \text{ mm}$,锚杆端头用1支MSK23/

60树脂锚固剂锚固,配套用长 \times 宽 \times 厚 $=450 \text{ mm} \times 320 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 的W钢带护表。

(2) 注浆材料:注浆材料选用聚氨酯,中空注浆锚杆布置完成后,在锚杆端尾安装注浆嘴并用注浆软管与注浆泵连接,注浆压力控制在 $3 \sim 5 \text{ MPa}$ 。

3) 硐室柔模袋充填

硐室柔模袋充填的主要目的是维护硐室及煤柱稳定性、避免硐室进一步垮落。具体硐室柔模囊袋充填施工工艺为:

(1) 在回风巷煤柱帮距顶板 0.5 m 位置布置一排5个钻孔,钻孔间距为 2 m 、孔径为 130 mm ,钻孔垂直煤柱巷布置,邻近柔模袋间相互搭接且与顶板

接触,可有效维护硐室稳定。

(2)通过钻孔向硐室内塞入柔模袋,伸展后柔模袋宽×高=2.4高3.5 m,共需5个柔模袋。

(3)利用注浆管、注浆泵向柔模袋注水灰比为0.5:1的无机材料,其中水灰、粉煤灰、速凝剂按照质量比2:4:1配比均匀混合。

(4)当出浆管出现返浆后停止柔模袋注浆,同时用水泥浆封堵钻孔,有效封堵长度控制在7 m以上。

4) 回风巷煤柱帮砌筑混凝土墙体

在回风巷746~766 m范围内,将巷道掘宽由4 500 mm提升至5 500 mm,即对煤柱帮刷扩1 000 mm,随后对刷扩区浇筑柔模混凝土,避免煤柱帮在应力影响下出现变形量大或者片帮等问题。具体施工方法为:

(1)对回风巷煤柱帮区进行刷扩,深度为1 m,刷扩后在巷帮上悬挂柔模,长度为4.0 m、高度为3.5 m、宽度为1.0 m;在扩帮区口布置1排工字钢,

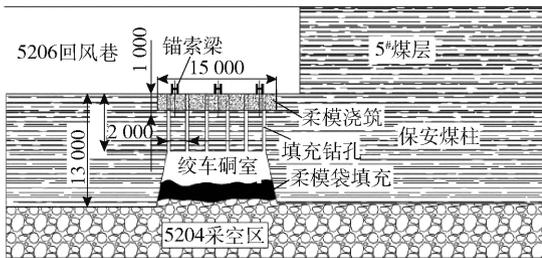
工字钢可限制柔模出变形,混凝土浇筑完成后回撤该排工字钢。

(2)柔模内浇筑混凝土,具体水灰比为0.5:1,混凝土中水泥、砂子、石子配比为1:2:2,混凝土浇筑后及时进行养护。

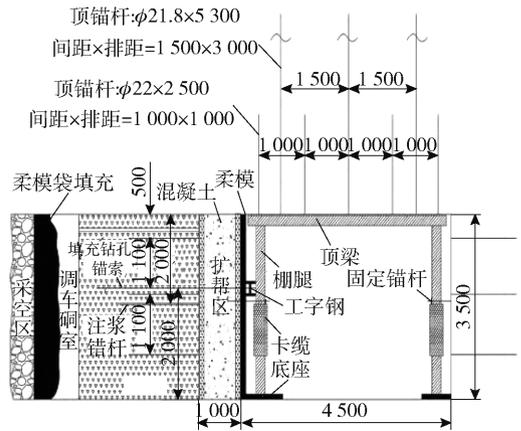
(3)在浇筑高度为2.0 m时,布置一排 $\phi 18.6 \text{ mm} \times 4\ 800 \text{ mm}$ 钢绞线锚索+1个长0.6 m工字钢梁,锚索间距2.0 m,通过锚索给柔模混凝土施加一定的水平作用力,提高柔模混凝土稳定性。

5) 架设钢棚

在5206回风巷柔模混凝土浇筑段内,按照1.0 m棚距布置钢架棚,架棚由顶梁、棚腿、卡缆及底座等构成。邻近钢架棚间用连接杆固定,同时采用锚杆将棚腿固定到巷帮上,避免架棚出现倾倒或者失稳等情况。具体5206回风巷邻近采空区硐室影响区围岩支护设计如图5所示。



(a) 平面图



(b) 剖面图

图5 硐室影响区围岩支护示意图

5 工程应用效果分析

5.1 瓦斯治理效果

在5206回风巷布置钻孔对绞车硐室及5204采空区瓦斯进行抽放后,采空区内瓦斯浓度由8.3%降至0.19%,有效降低了邻近采空区瓦斯涌出风险,具体采空区瓦斯浓度监测结果如图6所示。同时在5206回风巷掘进及后续注浆充填期间,回风巷巷帮3个瓦斯抽放孔始终采用低负压抽采,同时由于回风巷采用局部通风机压风供风,巷道内风压相对于采空区高,因此可显著减少邻近采空区向回风巷瓦斯涌出量。

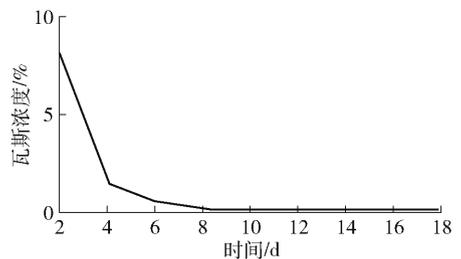


图6 采空区瓦斯浓度监测结果

5.2 围岩控制效果

截止到2024年8月5206回风巷已掘进通过邻近5204硐室影响区。在掘进完成后在755 m位置

布置测点,使用 YH-300 型顶板离层仪监测顶板离层情况,同时通过十字布点法监测顶底板及巷帮变形。

整个监测持续 30 d,其中顶板离层量控制在 12 mm 以内,顶板整体较为稳定;煤柱帮(柔模混凝土墙体)变形量始终为 0、顶板、底板及回采巷变形量分别为 52 mm、13 mm、39 mm,围岩变形量整体较小;同时现场观测发现,顶板及巷帮保持稳定,支护用锚杆、锚索等未出现失效情况;现场实测瓦斯浓度也控制在 0.12% 以内,较其他其余未有明显变化。

现场实践表明,现场采用的围岩支护技术方案效果显著,可有效控制煤柱变形、封孔漏风裂隙,可满足为 5206 回风巷安全掘进需要。

6 结论

(1)5206 回风巷采用窄煤柱护巷,在巷道掘进至 750~762 m 范围内进入到 5204 工作面调度绞车硐室影响区,导致煤柱宽度缩小至 8 m,回风巷出现围岩变形严重、瓦斯浓度偏高等问题,给巷道安全掘进及正常使用带来显著影响。为此,结合 5206 回风巷现场情况,提出综合采用煤柱注浆、硐室柔模袋充填、煤柱帮浇筑柔模混凝土墙体、巷道内架设钢棚等方式支护围岩。

(2)现场应用后,5206 回风巷硐室影响区内围岩稳定性得以显著提升,顶底板、两帮变形量最大分别为 65 mm、39 mm,围岩变形量较小,同时硐室影响区范围内瓦斯浓度与其他区域瓦斯浓度保持一致,未有明显变化。现场采用的围岩控制技术方案效果较好,不仅可维护围岩稳定,而且可封堵窄煤柱内部

漏风裂隙,可为 5206 回风巷安全高效掘进创造良好条件。

[参考文献]

- [1] 张小飞,苏琪. 窄煤柱大断面沿空巷道底鼓控制技术研究[J]. 能源与节能, 2025(2): 194-196+300.
- [2] 刁英平,于洋. 高应力区小煤柱顺槽巷道破碎围岩支护技术[J]. 江西煤炭科技, 2025(1): 8-11.
- [3] 嵇晋因. 密集巷道群围岩变形特征及修复加固技术研究[J]. 能源技术与管理, 2024, 49(5): 80-83+116.
- [4] 王跃楠. 巷道近距离过邻近采空区硐室支护技术优化[J]. 能源技术与管理, 2024, 49(5): 94-96.
- [5] 巩中楼,史峰,王兔学,等. 特厚冲击地压煤层巷道交岔点支护技术研究与实践[J]. 煤炭科技, 2024, 45(5): 181-185.
- [6] 王思雨. 深埋大断面巷硐群围岩控制技术实践[J]. 陕西煤炭, 2024, 43(10): 54-59.
- [7] 申泽晖,蒋王军. 窄煤柱沿空巷道注浆加固技术研究[J]. 煤炭科技, 2024, 45(4): 213-218.
- [8] 刘发旗. 煤矿深部采空区大断面硐室围岩控制技术研究[J]. 山西煤炭, 2024, 44(2): 18-23.
- [9] 赵建兵,张豹,郭庆,等. 孤岛工作面窄煤柱掘巷过临空硐室治理技术[J]. 陕西煤炭, 2023, 42(2): 68-71+81.
- [10] 孟德龙. 小煤柱沿空掘巷过邻空硐室段巷道综合治理技术[J]. 煤炭科技, 2023, 44(2): 145-150.
- [11] 付中华,吴宇,张彦,等. 窄煤柱沿空掘巷采空区水仓充填设计及围岩控制技术研究[J]. 煤炭工程, 2022, 54(10): 1-7.
- [12] 何少帅. 多重应力下小煤柱巷道矿压分析及治理研究[J]. 山西煤炭, 2022, 42(4): 10-15.