

突出矿井近距离厚煤层 沿空掘巷三位一体支护研究与应用

张晓波（华晋焦煤有限责任公司，山西 吕梁 033000）

摘要：沙曲一号煤矿属煤与瓦斯突出矿井，现阶段4号煤开采深度近500m，巷道受地应力、上区段动压影响、复杂地质构造等影响，围岩节理裂隙十分发育、松散破碎、变形剧烈、破坏范围大，巷道支护难度大；4、5号煤层间距平均仅为4.5m，4号煤平均厚度4.2m，5号煤平均厚度3.6m，属于典型的厚煤层近距离煤层群；而留设大煤柱不但造成优质焦煤资源的浪费，且不利于下层煤层的矿压管理，沿空掘巷成为解决上述问题的优选方案。根据4305胶带巷断面和地质条件，开展了巷道支护参数的设计和优化工作，用动态支护设计方法，依据非对称支护原则，制定了沿空掘巷支护加固方案，通过吊顶、控帮、窄煤柱加固的三位一体支护技术，保障了工作面的安全高效回采。

关键词：近距离厚煤层；沿空掘巷；围岩特征；支护研究

0 前言

针对沙曲一号煤矿4、5号突出煤层群厚煤层开采沿空掘巷支护及围岩变形机理问题，通过煤岩物理力学实验、现场矿压监测、理论分析、数值模拟、工程类比等方法，研究沿空掘巷围岩变形破坏规律，建立沿空掘巷力学模型，推导围岩应力应变力学表达式，揭示围岩变形破坏机理，根据沿空掘巷变形破坏特征，优化设计巷道支护加固参数，开发以窄煤柱主控、关键部位耦合让压、分区分期补强的综合支护技术，提出近距离煤层群沿空掘巷变形破坏机理及围岩控制技术；研究沿空掘巷窄煤柱对巷道围岩稳定性的影响，优化确定合理的沿空掘巷窄煤柱宽度；为沿空掘巷工艺及安全生产提供科学依据和技术保障。

1 工作面概况

4305工作面开采4#煤层，北面为4306工作面采空区，西侧为原4305采空区，4#煤层向上距离2#煤层平均为20.0m，向下距离5#煤层平均为4.5m，其中2#煤平均厚度为0.8m，5#煤平均厚度为3.5m。工作面伪顶不发育，局部有厚度为0.2m的泥岩，4#煤层直接顶为灰色中细砂岩，厚度为5.0m左右，老顶为5.5m左右的粗砂岩。4#煤层直接底为2m灰色中砂岩，老底为2.5m左右的砂质泥岩，再下为5#煤层伪顶，厚度为0.6m的炭质泥岩。工作面地面标高在867~1002之间，工作面标高在557.4~604.4m之间。工作面煤层厚度范围为3.9m~4.2m，平均为4.1m，煤层倾角为3°~11°，平均为8°。

2 围岩变形特征分析

2.1 巷道应力场分布

4306工作面开采后在工作面两侧形成应力集中区，受应力集中区影响，留设合理的区段煤柱宽度对4305工作面掘进和回采阶段控制巷道变形和破坏具有非常重要的意义。基于数值计算分析煤柱宽度效应，巷道支护

采用原支护设计，随着煤柱宽度逐渐减小，煤柱应力集中程度逐渐增大，峰值系数由1.3增大至2.11，峰值区域不断靠近巷道位置，对巷道造成挤压。其中煤柱宽度5m，煤柱应力峰值距巷道左帮2m，煤柱宽度8m，应力峰值距巷道左帮5m，煤柱宽度15m，应力峰值集中在4306采空区一侧。

2.2 巷道位移场分布

随着煤柱宽度逐渐减小，竖向位移不断增大，其中顶板下沉受煤柱影响较为明显，底板变形受煤柱影响较小。随着煤柱宽度逐渐减小，水平位移呈增大趋势，其中巷道左帮靠近4306采空区，水平位移变形较大。综合分析巷道掘进阶段变量量分析，煤柱宽度对巷道变形有影响，但是总体最大变形量不超过50mm，说明掘进阶段巷道变形可控。

2.3 巷道塑性区分布

研究得出，煤柱宽度5m，巷道塑性区较大，煤柱塑形区域与4306工作面采空区贯通。煤柱宽度8m，巷道塑性区顶部位置最大值约0.2m，底部最大值约1m，两帮最大值约3m，煤柱中间仍保持弹性状态。煤柱宽度15m，巷道塑性区在巷道顶部最大值约0.2m，底部最大值约1m，两帮最大值约2m，煤柱保持稳定性。

3 近距离厚煤层沿空掘巷不对称三位一体支护方案

3.1 沿空掘巷支护加固方案

3.1.1 支护参数

根据沙曲一号煤矿以往4#煤顺槽巷道断面设计经验，4305胶带巷段设计为矩形断面，考虑沿空掘巷巷帮变形量大，设计巷道全宽4.6m，净宽4.4m；全高4.2m，净高4.1m。全断面面积19.32m²，净断面面积18.04m²。顶部选用Φ22mm×2400mm螺纹钢等强锚杆，帮部选用Φ20mm×2200mm螺纹钢等强锚杆，锚杆间排距为700×700mm。顶部选用Φ21.8mm×6200mm锚索，间排距为1600×1400mm；采空区补打Φ17.8mm×4200mm锚

索, 间排距为 $1500 \times 1400\text{mm}$; 设计锚索预紧力 120kN , 锚杆预紧力 70kN 。顶网设计采用菱形金属网, 规格为 $5 \times 1.1\text{m}$, 菱形金属网长边搭接 100mm , 每隔 200mm 用 $14\#$ 铁丝系一扣。帮网设计采用聚丙烯双抗网, 规格为 $10 \times 1\text{m}$, 双向抗拉网长、短边均搭接 100mm , 每隔 200mm 用 $14\#$ 铁丝系一扣。锚杆托盘规格为配套使用 $150 \times 150 \times 10\text{mm}$ 的铁托盘, 锚索配套使用 $300 \times 300 \times 16\text{mm}$ 的铁托盘。顶板采用“W”钢带护表, 长度 4.4m , 帮采用直径为 16mm 的钢筋梯子梁护表, 长度 3.9m 。

3.1.2 窄煤柱侧补强设计

巷道掘进后, 距离掘进头后方 $80\sim 100\text{m}$, 实施窄煤柱侧巷帮补强加固, 每排布置两根锚索, 下部锚索距离巷道底板 1000mm , 上部锚索距离巷道顶板 1.4m , 同排锚索利用废旧槽钢连接, 使锚索形成简易桁架结构, 控制煤帮效果会显著提高。设计锚索间排距为 $1500\text{mm} \times 1400\text{mm}$, 锚索直径为 17.8mm , 长度为 4200mm , 每根锚索使用 MSCK2455 树脂药卷 2 支。安装锚索是同时下注浆管, 并封孔, 待巷道进入掘进稳定期后, 对窄煤柱实施注浆加固。

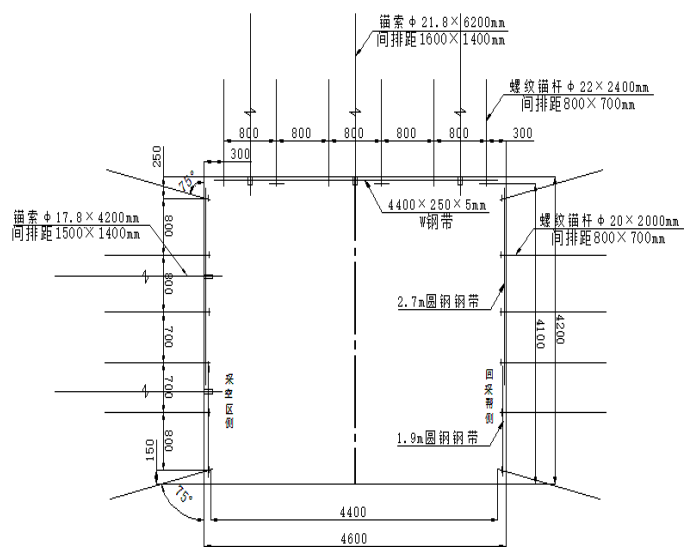


图1 巷道支护断面图

4 工作面回采过程覆岩运动及变形破坏特征

基于煤柱宽度及巷道支护数值计算以及工程实际条件分析, 巷道煤柱宽度留设 8m 能够控制巷道变形, 有利于回收煤炭资源, 通过全过程分析 4305 工作面回采阶段, 区域应力场演变, 为巷道支护以及矿山压力分析提供依据。

4.1 工作面支承压力分析

根据矿压观测, 工作面初采 30m 后, 顶板载荷作用于区段煤柱和煤壁前方, 煤柱侧应力最大值达到 17MPa , 随着工作面回采推进, 采空区上覆岩层应力传递至煤柱, 工作面煤壁后方煤柱应力持续增大, 煤柱应力集中范围也增大, 最大达到 23MPa , 煤柱承载压力较大。

从应力分布图 2 可以看出, 采空区煤柱侧应力峰值相比工作面前方应力峰值有所增大, 峰值范围在距巷道

煤壁 $4\sim 6\text{m}$, 煤柱侧应力在超前工作面 40m 受采动应力变化较小。

实体煤侧应力在采空区后方发生转移, 在超前工作面 0m 位置应力小于超前 10m 位置, 说明工作面煤壁受压破坏, 应力峰值向煤壁前方转移, 超前 20m 应力峰值有所下降, 超前 40m 应力分布和超前 30m 大体一致, 应力峰值距巷道煤壁 $3\sim 4\text{m}$ 。

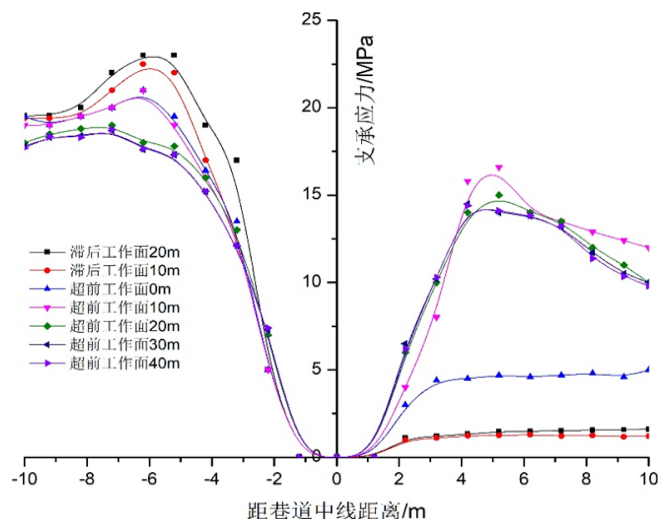


图2 回采阶段巷道周边支承压力分布

4.2 工作面最大主应力分析

根据矿压分析, 工作面回采 30m 时, 老顶发生初次断裂, 主应力离煤层底板较近, 采空区煤柱最大应力值缓慢增加, 顶板存在一定范围应力降低区。回采 70m 时, 顶板应力降低区形成稳定结构, 煤柱应力值增大。回采 100m 后, 顶板破坏趋于稳定, 应力峰值及范围有所增大。回采至 150m , 顶板应力降低区应力值有所增大, 煤柱应力峰值趋于稳定。

5 厚煤层沿空掘巷矿压显现规律及支护效果检验

5.1 4305 胶带巷掘巷期间矿压显现规律

5.1.1 锚杆锚索受力分析

巷道掘进期间, 共建立了 8 个测站, 各个测站锚杆锚索受力情况基本相似, 锚索初始安装的预紧力为 31.25kN , 在观测到 234 天时锚索受力达到 59.08kN 。整体上看锚索受力随着时间的增加逐渐增加, 帮锚索受力整体不大。

5.1.2 煤柱内应力变化规律分析

巷道掘进期间设置了 3 个煤柱应力监测测站, 综合分析得出, 5m 和 6m 测点在掘进期间压力值变化相比其他各点大, 为 0.34MPa , 该位置预测为应力集中峰值区域。 $4\sim 5\text{m}$ 区域为煤柱内的应力集中区域, 在巷道掘进期间煤体内的应力变化不大, 说明巷道掘进对煤柱的扰动不大。

5.1.3 巷道围岩变形规律分析

巷道围岩表面变形设置了 28 个测点, 距离 4305 胶带巷口 10m 开始设置测点, 每间隔 10m 设置 1 个测点。巷道掘进期间巷道围岩变形较小, 尤其是顶底板变形几

乎未发生明显变形,煤柱侧巷帮有一定的变形。统计测点建立9个测点的巷道围岩变形如下:1#煤柱帮变形量为14mm、2#煤柱帮变形量为25mm、3#煤柱帮变形量为5mm、4#煤柱帮变形量为8mm、5#煤柱帮变形量为23mm、6#煤柱帮变形量为12mm、7#煤柱帮变形量为10mm、8#煤柱帮变形量为5mm、9#煤柱帮变形量为14mm。

5.2 4305 胶带巷回采期间矿压显现规律

5.2.1 煤柱支承压力监测结果分析

通过对支承压力监测结果的分析,工作面超前影响距离30m,测点压力变化浮动较小。4305工作面胶带巷各测点位置监测变化幅度较小,总体呈下降趋势,最大应力值小于3MPa。

5.2.2 锚索应力监测结果分析

锚索应力观测时间从初采开始,未能统计有效数据,根据观测结果,根据工作面推进距离绘制锚索应力变化曲线,随着工作面推进,锚索应力呈增长趋势,个别锚索存在增长异常,测站的A1锚索,在距工作面80m时,出现应力急剧增长,由225kN增加至350kN,根据测站所得数据,锚索应力变化阶段主要在工作面回采长度在30~40m。

5.2.3 巷道断面变形监测结果分析

胶带巷巷道断面变形观测采用十字法,每隔30m布置一组测站,共布置13组测站,根据所测数据,受采动影响仅仅是距离工作面70m范围内的4个测点,巷帮最大移近量仅为3#测点的煤帮变形150mm,顶底板变形120mm,巷道受采动影响变形仍然较小。

6 沿空巷道围岩支护总体方案

6.1 掘巷期间支护参数设计

顶板锚杆参数:顶板采用超高强让均压锚杆,间排距:间排距700×700mm,锚杆长度2400mm,锚杆直径22mm。杆体材料:Q600矿用超高强螺纹钢。延伸率:理论值15%,实测值大于20%。锚杆的屈服强度大于19t,抗拉强度大于24t。锚杆的预应力6t;锚杆托盘:150×150×10mm的高强球型托盘。锚固剂:CK2335与K2380的锚固剂各一支。表面支护:金属网+W钢带。让压装置:15~17t单泡让压管。

帮部锚杆参数:采用超高强让均压锚杆,间排距:间排距700×700mm,锚杆长度2200mm,锚杆直径20mm。杆体材料:Q600矿用超高强螺纹钢。钢带托盘改为300×300×3.75mm,提高护表。表面支护:金属网+W钢带。让压装置:12~15t单泡让压管。

顶锚索参数:锚索直径:22mm,锚索长度:7000mm,间排距为1500mm×1400mm,每排布置两根锚索,锚索的安装应力15t;配件:索具、球垫圈,索头保护套;托盘:300×300×14mm高强球型托盘;锚固剂:一支CK2335,两支K2380。锚索为17~20t双泡让压管。

帮锚索:帮锚索采用“鸟窝”锚索,帮锚索规格Φ22×4300mm,帮锚索托盘采用300×300×12mm的高

强球型托盘。锚索为17~20t双泡让压管。同排锚索用槽钢连接。

6.2 回采期间加强支护参数设计

深部区域窄煤柱的破坏程度会更大,设计在工作面回采期间,超前工作面100m对窄煤柱实施注浆加固。采用中空注浆锚杆实施窄煤柱的注浆加固,注浆锚杆规格为直径25mm,长度2600mm,间排距为2000×2000mm。中空注浆锚杆采用厚壁钢管加工制作,表面采用特殊工艺加工成连续螺纹以便于与注浆材料的结合。注浆锚杆分为锚固段和紧固段,锚固段外表加工成波形螺纹。

7 结论

①沙曲一号煤矿4#煤整体节理裂隙发育,软弱易碎,单轴抗压强度为14.01MPa,属于软弱煤层,易引起煤体强度劣化,是巷道变形大、难以支护的重要原因之一;②通过分析不同煤柱宽度下的垂直应力、巷道变形量以及塑性区的分布,选用8m煤柱并采用合理支护形式的条件下可以有效控制巷道围岩变形保障安全回采;③根据采场动态支承压力形成的原因和特征,在分析一侧采空工作面垂直应力分布状态的基础上,得出支承压力峰值位置距煤壁距离和工作面侧向动态支承压力影响范围,进一步得出了4305工作面动态支承压力的分布特征;④根据4305胶带巷断面尺寸和所处地质条件,用动态支护设计方法,依据非对称支护原则,制定了沿空掘巷支护加固方案,通过吊顶、控帮、窄煤柱加固的三位一体支护策略,实现长锚索吊住顶板,减小其回转变形,锚杆增加整体性,锚索+槽钢增强煤柱整体强度和刚度的目的;⑤工作面回采阶段煤壁后方煤柱应力持续增大,煤柱应力集中范围也增大,顶板出现应力降低区,在回采100m后,顶板结构区域稳定,顶板应力值有所增大,煤柱应力峰值趋于稳定;⑥围岩控制方案有效抵御了采场矿压,保障了巷道掘进和工作面回采的安全,体现了围岩控制方案的科学性、有效性和合理性。避免了巷道多次维护投入大量人力、物力的问题,节约巷修成本约143万元。

参考文献:

- [1] 程蓬. 近距离煤层煤柱集中应力传递及巷道分区支护对策研究[J]. 煤矿开采, 2016, 21(6): 31-34.
- [2] 徐华君. 极近距离煤层开采巷道优化布置及支护技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016: 40-43.
- [3] 梁华杰, 顾天州, 赵忠义. 近距离煤层开采巷道布置合理性分析[J]. 煤矿安全, 2019, 50(07): 249-253.
- [4] 钱鸣高, 石平五, 许家林. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010: 199-200, 213, 221-222.
- [5] 神文龙, 柏建彪, 赵志勇, 等. 近距离残留承载煤柱下巷道布置三指标法[J]. 采矿与安全工程学报, 2018, 35(03): 465-471.
- [6] 康继忠. 煤柱下巷道的应力敏感性分区特征及响应机制[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016: 85-97.