

Application of Small Pillar Along Goaf Driving Technology in Large and Deep Coal Seam in Shilawusu Coal Mine

Xianhang Cai Hongbo Xue Fuzhen Li

Yanzhou Coal Industry Ordos Energy Chemical Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017101, China

Abstract

In the past process of coal mining, wide coal columns were used along the mining area to isolate the mining area, but it causes impact ground pressure accidents and resource waste. Using theoretical calculation and numerical simulation analysis, the wide coal column is adjusted to a small coal column, and the reasonable width of the small coal column along the empty excavation lane is 4~6 m. During the application practice of the auxiliary transport groove (south section) on 221, the stability of the roadway is effectively controlled, and the coal recovery rate is improved and the safe production is ensured.

Keywords

large buried deep coal seam; small coal column; along the air excavation lane technology

大埋深厚煤层小煤柱沿空掘巷技术在石拉乌素煤矿的应用

蔡先杭 薛红波 李福振

兖州煤业鄂尔多斯能化有限公司, 中国·内蒙古·鄂尔多斯 017101

摘要

以往煤炭开采过程中,多采用采空区边沿留设宽煤柱来隔离采空区,但会造成冲击地压事故和资源浪费等问题。石拉乌素煤矿运用理论计算及数值模拟分析,将宽煤柱调整为小煤柱,并得出了沿空掘巷小煤柱的合理宽度为4~6m。在221_上01工作面辅运顺槽(南段)应用实践期间,巷道围岩稳定性得到有效控制,同时提高了煤炭的回采率,保证了安全生产。

关键词

大埋深厚煤层;小煤柱;沿空掘巷技术

1 引言

石拉乌素井田位于中国内蒙古自治区东胜煤田呼吉尔特矿区,地处鄂尔多斯市境内,行政区划属鄂尔多斯市伊金霍洛旗札萨克镇管辖。石拉乌素井田基本上为一梯形,南北宽约7.35km,东西均约9.40km,面积约70.644km²。井田基本构造形态总体为一向西北倾斜的单斜构造,岩层倾角小于2°,局部有起伏,褶皱、断层发育程度低。

2 巷道基本地质概况

2.1 相对位置及邻近采区开采情况

221_上01工作面所在水平为+650m水平,地面标高+1373.3~+1405.31,平均1390.7m,工作面标高+683.5~+691.0m,平均687.3m。地面位置位于矿井中部,吉祥福慧寺东侧,大96油气井南侧,查吉线公路从工作面经过。井下位于222采区中西部,其西南侧的2-2_上17工作面已回采完毕,东侧的2-2_上01胶运顺槽正在掘进,南侧为2-2_上01横贯及2-2_中辅运大巷1、东翼2-2_中胶带大巷、东翼2-2_上回

风大巷。

2.2 煤层赋存及顶、底板情况

221_上01工作面设计走向长度2475m,其中沿空段设计长度987.6m,倾向长度300m,开采2-2_上煤层,煤层厚度4.66~5.6m,平均4.99m,煤层倾角0°~4°,煤层产状整体变化不大。煤层结构复杂,煤层上部含1~3层泥岩夹矸,巷道北部一层,向南逐渐变多,夹矸厚度不均,巷道北部较厚,南部相对较薄。煤层普氏系数(f)一般在1.79左右,为软~中等硬度煤层。煤层底板为砂质泥岩;老顶为灰白色中细砂岩,泥质胶结,层理较发育,煤层顶底板赋存条件见表1。邻近已回采结束的221_上17工作面采用全部垮落法管理顶板^[1]。

表1 煤层赋存条件

顶底板名称	岩石名称	平均厚度(m)	岩性及物理性质
老顶	中细砂岩	13.78	灰白色,半坚硬,泥质填隙成分以石英为主,长石次之,平行层理。 f: 3~4

【作者简介】蔡先杭(1979-),男,中国山东济宁人,本科,从事煤炭开采研究。

续表

顶底板名称	岩石名称	平均厚度 m	岩性及物理性质
直接底	砂质泥岩	2.67	浅灰色，含砂较均匀，含植物化石碎片，局部含一层细砂岩夹层。 f: 2~3
老底	中细砂岩	17.54	灰白色，具厚层状，半坚硬含薄层泥质砂岩，见有云母，均匀层理。 f: 3~4

3 合理煤柱宽度综合分析确定

3.1 煤柱宽度理论计算

综合考虑资源节约、巷道围护等因素，根据巷道极限平衡理论计算公式计算得出最小煤柱宽度，计算过程如下：

$$x_0 = \frac{mA}{2 \tan \varphi_0} \ln \frac{K \rho g H + \frac{C}{\tan \varphi_0}}{\frac{P}{A} + \frac{C}{\tan \varphi_0}}$$

其中， x_0 为上区段回采形成的塑性区宽度，m； m 为巷道高度，5.2； A 为测压系数，取 1.5； C 为煤体的粘聚力，取 3MPa； φ_0 为煤体的内摩擦角，取 30°； K 为应力集中系数，取 3.5； H 为巷道埋深，取 700m； ρ 为上覆岩层平均重度，取 2.4t/m³； P 为巷帮煤体的支护阻力，取 0.1MPa。通过以上理论计算，留设小煤柱宽度应不大于 12.88m，才能避开支撑压力峰值点，使煤柱处于应力降低区。

3.2 数值模拟的建立及模拟方案

根据综合柱状图得到煤层参数如下：共取 5 个层位，自下而上分别是中粒砂岩、砂质泥岩、2-2_上煤、中粒砂岩、砂质泥岩，它们厚度则分别取为 18m、3m、5m、14m、10m。岩层本构模型选用摩尔库伦模型，根据矿围岩赋存条件和现场提供的资料，数值模型中各岩层、煤层及节理力学参数确定见表 2。

表 2 主要岩层力学参数表

岩层名称	体积模量 /GPa	剪切模量 /GPa	密度 kg·m ⁻³	内摩擦角 /°	粘聚力 /MPa	抗拉强度 /MPa
中粒砂岩	18.9	14.3	2598	40	5.3	4.8
砂质泥岩	3.59	2.92	2400	38	4.8	3.9
2-2 _上 煤	1.82	0.89	1291	40	2.3	1.2
中粒砂岩	18.9	14.3	2598	40	5.3	4.8
砂质泥岩	3.59	2.92	2400	38	4.8	3.9

最终确定建立模型大小为 50m×60m×50m，并在模型左、右及底边界固定位移，在模型上方边界施加垂直应力 17.1MPa，X 方向施加应力 24.4MPa，Y 方向施加应力 9.3MPa。

本数值模拟方案通过模拟不同煤柱宽度对于沿空掘巷的影响，包括掘进期和回采期，从巷道总体变形及小煤柱内应力分布进行分析，进而确定最佳煤柱宽度。确定最佳煤柱

宽度后，在此基础上确定合理的支护方案，从掘巷期和回采期两个时期，针对巷道变形进行分析。

3.3 小煤柱宽度的确定

3.3.1 掘巷期间

上一工作面采动稳定后，根据煤柱宽度不同进行沿空掘巷。掘巷期间巷道变形量随着煤柱宽度的增加，巷道总体变形量呈先减小后增大的态势。煤柱宽度为 4、5、6m 时，巷道总体变形量较小，煤柱宽度为 3、7m 时，巷道总体变形量较大。

结合图 1 煤柱内部应力曲线可以看出，煤柱内垂直应力大小随着煤柱宽度的变化而变化，曲线呈马鞍状分布。两边垂直应力均小于原岩应力，靠近采空区侧应力基本为零，表明窄煤柱破坏首先从两边剥落开始。煤柱宽度由 3m 增大到 7m 时，峰值逐渐增高，煤柱宽 3m 时峰值最小，为 16.4MPa，7m 时峰值最大，为 36.5MPa；煤柱宽 6m 时，应力峰值急剧增大。应力峰值的位置不在煤柱中心，而是在中心偏向采空区一侧。这是因为沿空掘巷期间的应力扰动，造成巷道边缘煤体由弹性转化为塑性，承载能力降低，煤柱弹性区偏向采空区侧，导致应力峰值偏向采空区侧。

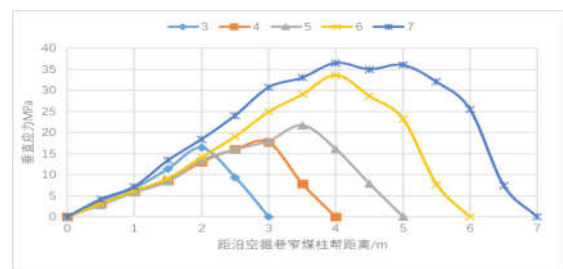


图 1 掘进期不同煤柱宽度时煤柱内部垂直应力分布

当煤柱宽度较小时，如 3m 宽度煤柱，受上区段回采及掘巷扰动后煤柱发生严重破碎，故煤柱中的垂直应力较小，其承受上覆载荷的能力也较弱；煤柱宽度 6~7m 时，煤柱上载荷明显增加，煤柱自稳能力增加，其承载能力也增强，但随着煤柱的进一步增加，煤柱承载的压力也显著增加，高应力作用极易诱发煤柱产生变形破坏，不利于留巷围岩的有效控制和长期稳定^[2]。

3.3.2 回采期间

由图 2、图 3 可见，不同宽度护巷煤柱回采期间围岩变形总体分为三个阶段：第 1 阶段为超前工作面 30m，第 2 阶段超前工作面 20~30m，第 3 阶段为工作面前方 20m 范围内。第 1 个阶段内，小煤柱宽度为 3m、7m 时，巷道变形量最大，顶底板变形量分别为 537mm、389mm，两帮变形量为 427mm、743mm；5m 煤柱巷道变形量最小，顶底板变形量为 131mm，两帮变形量为 129mm。第 2 个阶段内，沿空掘巷受超前采动影响加剧，巷道变形量明显增加，变形增量也显著增大。前两个阶段内，4m、5m、6m 煤柱宽度下巷道变形量相近，3m、7m 煤柱宽度下巷道变形较剧烈。第 3 个

阶段即工作面前方 20m 范围内,巷道围岩变形量急剧增加,小煤柱由于受到超前采动压力影响,围岩急剧破碎,向巷道内鼓出,并导致实体煤帮应力分布进一步恶化,实体帮随之发生大变形。

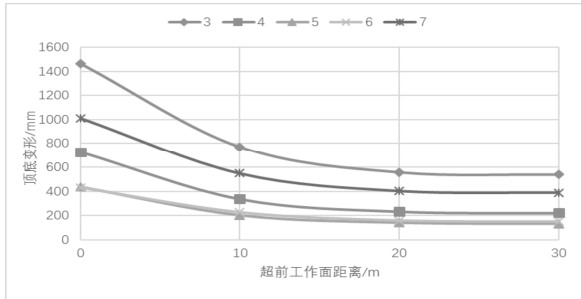


图 2 受超前采动影响沿空掘巷顶底板变形量

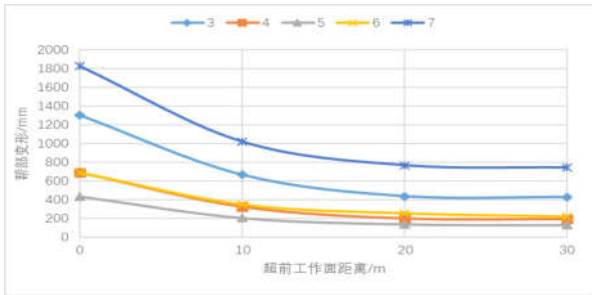


图 3 受超前采动影响沿空掘巷两帮变形量

不同宽度煤柱沿空掘巷回采时,超前工作面 20m 范围内距工作面相同距离处掘巷两帮变形量的大小关系为:煤柱宽 7m 时,帮部变形量最大,为 1826mm;煤柱宽 5m 时两帮变形量最小,为 436mm。顶板变形量的大小关系为:煤柱宽 3m 时,顶底变形量最大,为 1462mm;煤柱宽 5m、6m 时顶底变形量最小,分别为 436mm、432mm。

由图 4 可知,回采期间,不同煤柱宽度下的应力峰值明显增加,且峰值距离沿空留巷煤柱帮距离增大。这是因为本工作面回采期间,超前支撑压力的剧烈影响,靠近采空区侧煤柱被压实,煤柱内部靠近巷道侧塑性破坏程度及宽度加大,承载能力降低,应力峰值进一步向上工作面采空区靠近^[3]。

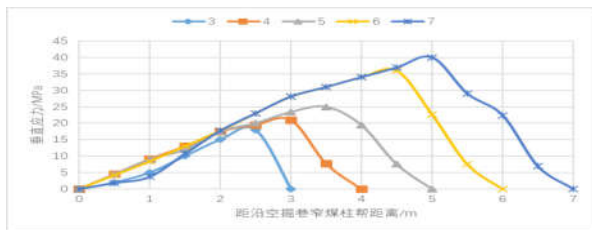


图 4 回采期不同煤柱宽度时煤柱内部垂直应力分布

选取合理小煤柱宽度,主要考察的是煤柱本身完整性、自稳与承载能力、巷道维护的难易程度。除考虑巷道围岩的

变形外,还应该保证小煤柱的完整性及自稳,同时要有良好的承载能力。从巷道围岩变形的角度来考虑,无论是掘进阶段还是回采阶段,煤柱宽度 4~6m 时巷道变形量较小;从小煤柱的完整性及自稳来考虑,煤柱宽度不大于 4m 时,煤柱受上区段回采及掘巷扰动影响严重破碎;从小煤柱的承载能力来考虑,煤柱宽度 5~7m 范围内其承载能力显著提升。结合以上分析,最终确定小煤柱宽度为 5~6m。

通过 FLAC3D 对石拉乌素 221_上01 辅运顺槽南段沿空掘巷进行了模拟,分析了沿空掘巷后和回采时煤柱和巷道的应力分布和位移变化,通过对模拟所得数据进行处理,最终确定小煤柱宽度为 5~6m。

4 工程实践

4.1 根据现场地质条件,确定支护方案如下

顶板采用 $\phi 22\text{mm} \times 3000\text{mm}$, 屈服强度 500Mpa 的高强度螺纹钢配合高凸桁架钢带支护,间排距 $800\text{mm} \times 800\text{mm}$; 采用 2 支 CK2335 和 1 支 K2360 树脂锚固剂锚固;护表采用 $\phi 6.5\text{mm}$ 钢筋焊接网,网孔规格 $100 \times 100\text{mm}$, 联网间距不大于 150mm。锚索为 $\phi 21.8\text{mm} \times 6500\text{mm}$ 钢绞线,间排距 $1200 \times 1600\text{mm}$, 使用 1 支 CK2360 和 2 支 K2360 锚固剂锚固,呈“3-3-3”布局,预紧力 200KN。

帮部锚杆为 $\phi 20\text{mm} \times 2200\text{mm}$ 全螺纹钢锚杆,使用 CK2360 和 K2360 锚固剂各 1 支,间排距 $800\text{mm} \times 800\text{mm}$, 两帮护表均铺设 10# 金属网和钢筋梯子梁。

二次补强支护,沿空侧锚索采用 $\phi 21.8\text{mm} \times 3500\text{mm}$ 钢绞线,配合“W”型钢带使用,钢带横向使用,上、下相邻锚索间距 1600mm,上部锚索距离顶板 1100mm,上、下排锚索间隔 1500mm。回采侧锚索采用 $\phi 21.8\text{mm} \times 3500\text{mm}$ 钢绞线配合“W”型钢带支护,钢带竖直安装在帮部相邻锚杆之间,锚索间排距 $1500 \times 1600\text{mm}$ 。支护断面图见图 5。

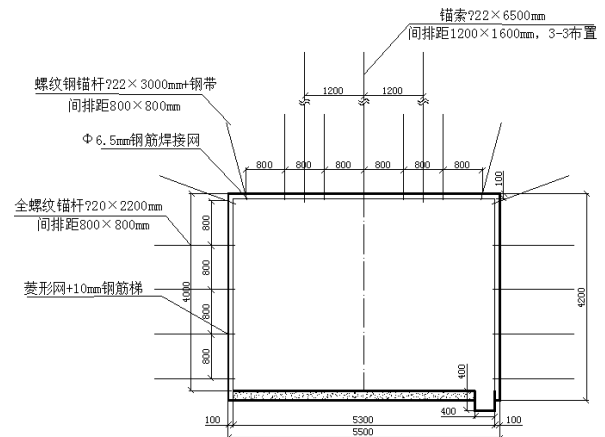


图 5 巷道支护断面图

4.2 矿压观测结果分析

巷道表面位移监测如下:

本次共设置6个测站,测站1位于巷道里程914m处,测站2位于巷道里程922m处,测站3位于巷道里程930m处,测站4位于巷道里程938m处,测站5位于巷道里程946m处,测站6位于巷道里程951.6m处。

靠近工作面约45m范围内巷道两帮变形速度较大,45m以后逐渐稳定在3mm/d以下。整个过程中,小煤柱变形速度一般小于实体煤帮:小煤柱最终变形量为32mm,实体煤帮47mm,两帮79mm,小煤柱变形量占两帮变形量的40%。

巷道内顶板下沉量明其稳定周期较长,滞后工作面80m后顶板下沉量才有明显趋稳,底鼓速度较为不明显。顶板最大下沉速度6mm/d,顶底板移近最大速度8mm/d。

由此分析可以得出:①顶底变形持续周期大于两帮,两帮变形速度明显放缓,顶底板变形速度依然相对较大;②顶板下沉量大于底板变形,顶板下沉量占顶底移近总量的77.8%;③两帮变形以实体煤帮变形为主,小煤柱变形较小,小煤柱帮部占两帮总移近量的40%。

5 结语

大埋深厚煤层小煤柱沿空掘进在石拉乌素煤矿的实践应用期间共计掘进960m,日进尺8~10m,从掘进期间系统矿压观测数据来看巷道整体支护效果较好,同时使得矿井安全生产条件大为改善,设备运行、巷道维护条件改善,使得巷道使用条件持续改善,保证了矿井接续正常,对矿井实现持续稳产、高产、安全生产意义重大。同时为蒙陕矿区大埋深厚煤层留小煤柱沿空掘巷的推广应用起到了有力的示范作用。

参考文献

- [1] 李树仁.简述中厚煤层留窄煤柱沿空掘巷支护技术[J].当代化工研究,2021(20):83-84.
- [2] 孙满义.8106风巷沿空掘巷煤柱宽度设计及围岩控制技术研究[J].山东煤炭科技,2021,39(10):4-6+9.
- [3] 苏国峰.煤矿窄煤柱沿空掘巷巷道围岩控制技术研究[J].山西化工,2021,41(5):150-152+167.

(上接第45页)

由WO₃掺杂Pt作为催化剂时,仿真厚度为110nm时催化薄膜反应越灵敏。

5 结语

通过对光纤硫化氢传感器表面等离子共振激发原理研究以及表面成膜和传感机理的仿真分析得到如下结论:表面等离子体只需要有p偏振光所引起的,传感器的金属薄膜选择30nm下的Ag薄膜材质时最灵敏,传感器四层薄膜中的催化层选择膜厚为110nm的Pt/WO₃的复合型敏感薄膜时具有更加灵敏的效果。

参考文献

- [1] 赵华新,蒋永翔,罗天穹,等.基于表面等离子体共振原理的空芯光纤传感器[J].光学学报,2012,32(6):232-237.
- [2] 陈慧,姚建铨,陈曦.光纤气体传感器及其组网技术综述[J].传感器与微系统,2013,32(9):9-12.
- [3] 王娜娜.光纤气体传感器的研究[D].无锡:江南大学,2012.
- [4] 唐东林,王莹,郭峰,等.光谱吸收硫化氢气体浓度传感器[J].传感器技术学报,2010,23(4):458-460.
- [5] 魏少红,张岩,牛新书.WO₃纳米材料的H₂S气敏特性[J].化学研究与应用,2004(3):377-378+380.