

玉溪矿 1301 辅运顺槽支护设计研究

李 强

(山西兰花科创玉溪煤矿有限责任公司)

摘 要:以玉溪矿 1301 工作面辅运顺槽支护设计为工程背景,通过岩石力学实验、围岩钻孔窥视建立基础资料,进而根据围岩稳定性分类确定巷道支护方案,同时由数值模拟进行支护效果验证分析。现场工业性试验结果表明,该支护方案可有效控制巷道围岩变形,支护效果良好。

关键词:岩石力学实验;钻孔窥视;稳定性分类;数值模拟

1 工程背景

兰花科创玉溪煤矿设计生产能力为 240 万吨/年,井下共布置 2 个盘区,1301 工作面为一盘区首采工作面,位于玉溪井田南部,东西走向,大采高综采工艺回采 3#煤层。3#煤层位于山西组下部,缓倾斜煤层,倾角小于 8° ;埋深大约在 500m ~ 600m 范围,厚度在 5.12 ~ 7.20m 范围,平均 5.85m,纯煤厚度 4.62m ~ 7.00m,平均 5.71m,结构简单,全区稳定可采。直接顶为均厚 2.4m 的泥岩,老顶为均厚 5.3m 的中粒砂岩,直接底为均厚 1.5m 的泥岩,老底为均厚

8.3m 的砂质泥岩。工作面布置 5 条巷道,分别为辅运顺槽、胶带顺槽、回风顺槽 1、回风顺槽 2 和回风顺槽 3,本次研究对象为 1301 辅运顺槽,工作面采掘工程平面图如图 1 所示。

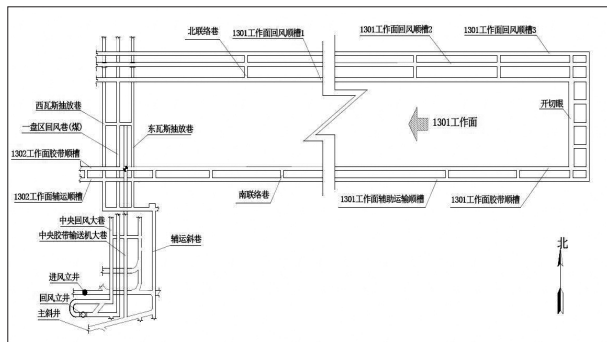


图 1 1301 工作面采掘工程平面图

2 巷道围岩物理力学参数测试

通过煤岩体物理力学参数测试,可定量评价煤岩体质量及对岩石进行分类,同时作为工程设计的重要基础资料^[1-3],基于此在辅运顺槽取3#煤层顶底板岩层岩芯共计50m,在实验室内进行煤岩力学性质试验,以获取玉溪煤矿3#煤层及顶板(约15m范围)、底板(约8m范围)岩石的单轴抗拉强度、单轴抗压强度、弹性模量、内摩擦角、内聚力、坚固性系数和容重等物理力学参数,进行围岩地质力学评估和巷道围岩稳定性分类,为1301工作面巷道支护设计提供详实的地质力学资料和基础数据。同时采用武汉长盛煤安科技有限公司开发研制的CXK12型矿用电子钻孔窥视仪,在玉溪煤矿1301工作面辅助运输顺槽第十二联络巷和1302工作面北底抽巷第十钻场分别对3#煤层顶底板岩层结构进行钻孔窥视,以了解3#煤层顶底板岩层中节理、层理、裂隙等结构面的分布特征与状况^[4-6]。3#煤层顶底板综合柱状图、窥视柱状图及各岩层物理力学性质参数如表1所示。

表1 3#煤层顶底板综合柱状图、窥视柱状图及各岩层物理力学性质参数

地层综合柱状图	窥视柱状图	实际柱状图	岩性	层厚/m	岩性描述	容重 (γ , g/cm ³)	抗拉强度 σ_t /MPa	抗压强度 σ_c /MPa	内摩擦角 ϕ /°	凝聚力 C/MPa	弹性模量 E/MPa	坚固性系数	岩层 倾向
3#煤层顶板	[柱状图]	[柱状图]	泥岩	7.6	深灰色,具水平层理,含微细高岭土	30290	15.463	72.563	53.1	5.58	5338		高脆岩层性
			泥岩	6.4	灰黑色,均匀层理,含丰富的植物化石	29730	4.41		64.7	22.72			
3#煤层底板	[柱状图]	[柱状图]	中砂岩	0.2	黑色,碎块状,不稳定								
			泥岩	7.4	深灰色,中部夹砂岩具交错、层状层理	30780	7.234	61.174	51	10.66	4444		高脆岩层性
3#煤层底板	[柱状图]	[柱状图]	中砂岩	5.3	深灰色,中-厚层状,具波状、水平层理	31630	14.065	107.82	35.3	12.97	7293		高脆岩层性
			泥岩	2.4	灰黑色,具波状层理	31190	8.372	93.965	46.4	1.385	6412		中等脆岩层性
3#煤层底板	[柱状图]	[柱状图]	中砂岩	3.85	黑色,中厚层状,具交错层理,具波状、水平层理	16480	0.729	8.695	45.1	0.38	1519	1.02	高脆岩层性
			泥岩	1.5	灰黑色,中厚层状	29630	4.347	81.306	43.6	0.99	2374		高脆岩层性
3#煤层底板	[柱状图]	[柱状图]	砂质泥岩	8.3	灰黑色,具均匀层理,波状层理,透镜状层理,含植物化石碎片	30650	10.573	60.967	33.7	7.96	2934		高脆岩层性
			砂岩	1.9	深灰色,薄层状	31110	9.734	31.252	53.1	5.58	2241		高脆岩层性
3#煤层底板	[柱状图]	[柱状图]	砂岩	1.2	深灰色,中厚层状	39020	2.204	38.332	64.7	22.72	4338		高脆岩层性

3 巷道围岩稳定性分类指标及结果

根据在玉溪煤矿3#煤层1301工作面辅助运输

巷道内钻孔所取岩芯岩性分析和矿井地质资料,得出与玉溪煤矿3#煤层回采巷道围岩稳定性分类有关的7个参数及其变化范围,详见表2。

表2 巷道围岩稳定性分类基本参数

序号	分类参数	单位	参数值
1	顶板岩石单轴抗压强度	MPa	82.76(顶板为煤、泥岩、砂岩及砂质泥岩)
2	底板岩石单轴抗压强度	MPa	63.23(底板为泥岩+砂质泥岩)
3	煤层单轴抗压强度	MPa	8.70
4	巷道埋深	m	500m左右
5	护巷煤柱宽度	m	20—30
6	采动影响系数		初采工作面
7	围岩完整性指数		12~15

根据围岩稳定性分类方案,当巷道埋深为500m左右时,玉溪煤矿1301工作面辅运顺槽巷道围岩属于IV类不稳定围岩。根据煤巷锚杆支护技术规范推荐的IV类巷道锚杆基本支护形式为:锚杆+W钢带+网,或增加锚索桁架+网,或增加锚索。推荐的顶板主要支护参数为:锚杆采用全长锚固,杆体直径18~22mm,杆体长度1.8~2.4m,间排距0.6~1.0m。上述结论将作为本次研究与设计的基本依据。

4 辅运顺槽支护方案

4.1 支护方案设计

辅运顺槽沿3#煤层底板掘进,采用矩形断面,掘进断面尺寸:宽×高=5000mm×3800mm,采用锚杆+锚索+金属网+钢筋梯子梁联合支护。

(1)顶板支护

1301工作面辅助运输顺槽顶板采用Φ22mm高强度左旋无纵筋螺纹钢锚杆,材质为专用锚杆HRB335钢材,长度2400mm,杆尾螺纹M24,型号为Φ22-M24-2400。锚杆锚固方式:树脂加长锚固,采用两支锚固剂,一支规格为K2335,另一支规格为

Z2360, 钻孔直径 30mm, 锚固长度 1208mm。钢筋梯子梁规格: 宽度 80mm, 长度 4800, 由 $\Phi 14$ 圆钢焊制。锚杆托盘规格: 高强度拱形托盘, 规格为 $150 \times 150 \times 10$ mm, 配合高强度球形垫圈和塑料减摩垫片。锚杆角度: 靠近巷道帮的顶锚杆安设角度与垂线向外成 20° , 其余与顶板垂直。网片规格: 用 10# 铁丝编织的网孔尺寸为 50×50 mm 的菱形金属网, 网片宽 1000mm, 网片的具体尺寸可根据巷道尺寸裁剪, 铺网时将网铺平拉紧, 网与网采用搭接方式, 搭接长度 100mm, 联网间距不大于 100mm, 三花布置, 联网使用 14# 铅丝双股扎紧, 匝数不少于 3 匝。每排 6 根, 排距 900mm, 间距 900mm, 靠近帮的一根顶锚杆距巷帮 250mm。

采用 $\Phi 21.8$ mm 高强度低松弛预应力钢绞线锚索, 长度为 7300mm。锚固方式: 树脂加长锚固, 采用三支锚固剂, 一支规格为 K2335, 两支规格为 Z2360, 钻孔直径 30mm, 锚固长度 1971mm。锚索隔排布置, 间距 2400mm, 排距 1800mm, 每排两根。锚索托盘规格: 高强度拱形可调心大托盘, 规格为 $300 \times 300 \times 16$ mm。

(2) 巷帮支护

巷帮采用杆体为 $\Phi 22$ mm 高强度左旋无纵筋螺纹钢锚杆, 材质为专用锚杆 HRB335 钢材, 长度 2400mm, 杆尾螺纹 M24, 型号为 $\Phi 22 - M24 - 2400$ 。锚固方式: 树脂加长锚固, 采用两支锚固剂, 规格为 Z2360 和 K2335 各一支, 钻孔直径 30mm, 锚固长度 1208mm。钢筋托梁规格: 采用 $\Phi 14$ 钢筋焊接而成的钢筋梯子梁, 竖排钢筋梯子梁长 2400mm, 宽 80mm; 横排钢筋梯子梁长 2200mm, 宽 80mm, 在安装锚杆的位置焊上两段纵筋, 焊缝饱满无虚焊。锚杆托盘规格: 高强度拱形托盘, 规格为 $150 \times 150 \times 10$ mm, 配合高强度球形垫圈和塑料减摩垫片。网片规格: 用 10# 铁丝编织的网孔尺寸为 50×50 mm 的菱形金属网, 网片宽 1000mm, 网片的具体尺寸可根据巷道尺

寸裁剪, 铺网时将网铺平拉紧, 网与网采用搭接方式, 搭接长度 100mm, 联网间距不大于 100mm, 三花布置, 联网使用 14# 铅丝双股扎紧, 匝数不少于 3 匝。每帮每排 4 根, 排距 900mm, 间距 1000mm。起锚高度 500mm, 靠近顶板的一根帮锚杆距顶板 300mm。锚杆角度: 靠近顶板的一根锚杆与水平线呈 20° , 其余与巷帮垂直。支护布置图如图 2 所示。

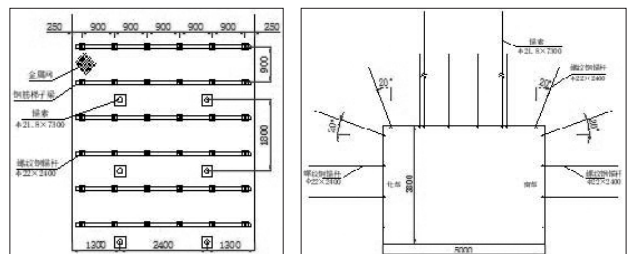


图 2 1301 辅运顺槽支护断面图

4.2 数值模拟计算

以 1301 工作面工程地质情况建立数值计算模型, 1301 辅运顺槽和胶带顺槽均沿 3# 煤层底板布置, 断面尺寸 (宽 \times 高) 分别为 $5\text{m} \times 3.8\text{m}$ 、 $5.7\text{m} \times 3.8\text{m}$, 两巷间煤柱宽度为 20m, 模型尺寸 (长 \times 宽 \times 高) 为 $180\text{m} \times 100\text{m} \times 44.1\text{m}$, 数值计算模型如图 3 所示; 限制模型左右及前后位移边界位移, 底部为固定边界, 该计算模型共划分为 175392 个节点, 161700 个单元, 在模型上部施加 15MPa 载荷以模拟上覆岩层的重量, 数值模拟采用 Mohr-Coulomb 屈服准则, 各岩层物理力学参数见表 1。

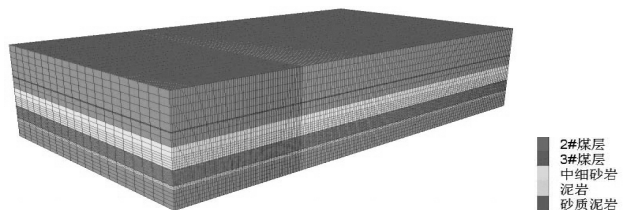


图 3 数值计算模型图

数值计算过程: 数值模型建立后, 计算至原岩应力平衡 \rightarrow 开挖 1301 辅运顺槽并计算到平衡 \rightarrow 开挖 1301 胶带顺槽并计算到平衡 \rightarrow 开挖 1301 工作面并计算到平衡, 每一步开挖, 输出 1301 辅助运输顺槽

围岩应力、位移和塑性区分布图,并进行相应分析。

1301 辅运顺槽开挖后围岩塑性区分布如图 4 所示,巷道开挖后两帮塑性区范围为距巷帮 1~2m 范围,顶底板塑性区范围为距顶底板 0.5~1m 范围,均处于锚杆有效锚固范围。

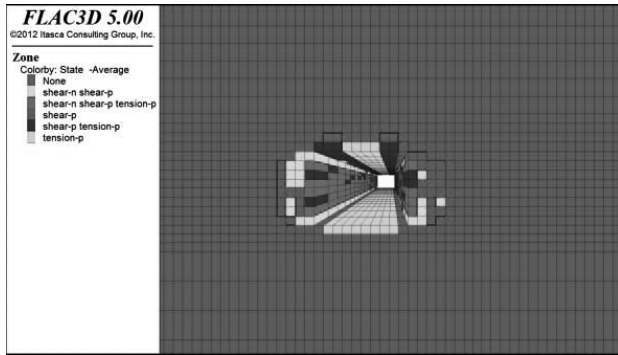


图 4 1301 辅运顺槽开挖后围岩塑性区分布

1301 辅运顺槽开挖后围岩垂直应力分布如图 5 所示,巷道开挖后,围岩表面为应力降低区域,高应力向两帮深处转移,垂直应力峰值距离巷帮 3m 左右,为 20.8MPa,围岩应力得到增强,有利于控制巷道围岩的变形。

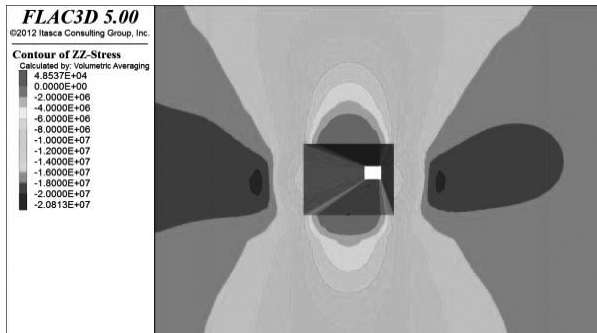


图 5 1301 辅运顺槽开挖后围岩垂直应力分布

5 矿压观测

1301 辅运顺槽施工后对巷道围岩变形进行 30 天的矿压观测,绘制如图 6 所示巷道围岩变形曲线。巷道在开掘 1~10 天内变形较大,此后变形较缓,20 天左右达到收敛,实测围岩顶板最终下沉量为 141mm,顶底板最终移近量为 190mm,顶板下沉占顶

底围岩变形量的 75%,两帮最终移近量为 136mm。

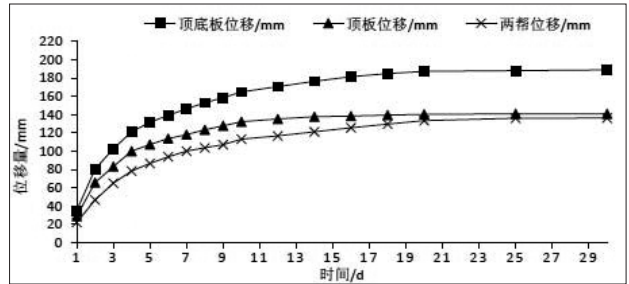


图 6 巷道围岩变形曲线

6 结论

(1)以 1301 辅运顺槽为背景,通过岩石力学实验确定其煤岩体物理力学参数,通过钻孔窥视,了解 3#煤层顶底板岩层中节理、层理、裂隙等结构面的分布特征与状况,为支护设计建立了重要基础资料。

(2)通过围岩稳定性分类知 1301 工作面辅运顺槽巷道围岩属于 IV 类不稳定围岩,参考煤巷锚杆支护技术规范提出巷道合理支护方案,并通过 FLAC3D 数值模拟进行塑性区及围岩应力分析,矿压观测结果表明,该支护方案可有效控制巷道围岩变形,支护效果良好。

参考文献:

- [1]康红普.我国煤矿巷道锚杆支护技术发展 60 年及展望[J].中国矿业大学学报,2016,45(06):1071-1081.
- [2]王茂源.煤巷锚杆支护设计混合智能系统研究[D].中国矿业大学(北京),2016.
- [3]张益东.锚固复合承载体承载特性研究及在巷道锚杆支护设计中的应用[D].中国矿业大学,2013.
- [4]康红普.我国煤矿巷道锚杆支护技术发展 60 年及展望[J].中国矿业大学学报,2016,45(06):1071-1081.
- [5]王茂源.煤巷锚杆支护设计混合智能系统研究[D].中国矿业大学(北京),2016.
- [6]张益东.锚固复合承载体承载特性研究及在巷道锚杆支护设计中的应用[D].中国矿业大学,2013.