

靠采空区侧综放回采巷道失稳机理及维护技术研究

王方田, 袁永, 马小涛, 吴其, 窦凤金  
中国矿业大 矿业工程学院, 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏徐州 (221008)  
E-mail: wangfangtian111@163.com

**摘 要:** 针对靠采空区侧综放工作面回采巷道变形剧烈问题, 通过对综放沿空巷道失稳机理的研究, 分析影响巷道围岩应力的主要因素; 通过 FLAC 数值模拟, 计算分析沿空巷道不同护巷方式下巷道围岩应力、塑性区分布及巷道表面位移量, 为综放沿空巷道提出合理优化的护巷方案。  
**关键词:** 煤柱; 靠采空区侧; 失稳机理; 数值模拟; 卸压巷

随着综放开采技术应用的不断深入发展, 相关的一些针对性问题也越发明。综采放顶煤与薄及中厚煤层综采相比, 具有生产系统简单、巷道掘进与维护工程量少、生产效率高等优点<sup>[1]</sup>。综放沿空巷道与实体煤巷道相比, 巷道剧烈变形在工作面前方 0~10m, 顶底板移近量增大 5~10 倍, 两帮相对移近量增大 10 倍以上<sup>[2]</sup>。由于煤体强度低, 顶煤与直接顶板间存在软弱层面, 因而巷道围岩稳定性相对降低。综放沿空掘巷围岩在基本顶岩层的作用下, 产生了严重的塑性变形和破坏, 尤其在受到工作面采动影响之后, 基本顶岩层活动更加剧烈, 巷道更难维护<sup>[3]</sup>。采用留窄煤柱与卸压技术维护巷道在工程实践上取得了一定的成功<sup>[4-7]</sup>。因此深入研究综放沿空巷道上覆岩层活动规律, 分析巷道失稳机理, 利用 FLAC 模拟不同护巷方式对回采巷道的影, 得出合理的护巷方式, 从而有效治理综放沿空巷道剧烈变形问题。

1 巷道地质及生产概况

阳泉一矿 S8102 工作面位于北丈八井南条带一采区, 东邻南条带一采区西副巷, 西邻采区边界, 南邻 S8101 工作面(已采), 北邻 S8103 工作面(未掘)。工作面长 240.5m, 推进长 1560m。煤层平均埋深为 550m, 平均厚度为 6.09m, 近水平煤层。煤层赋存稳定, 结构复杂。煤层绝对瓦斯涌出量 80 m<sup>3</sup>/min, 相对涌出量 11.5 m<sup>3</sup>/t, 煤尘

无爆炸危险性, 煤层有自然发火倾向。煤层顶底板柱状图见图 1。

标志层	层厚	柱状	岩性	岩性描述
顶板	2.31-0.90 1.63		石灰岩	深灰色石灰岩, 含有动物化石及方解石脉
	3.85-0.60 2.35		泥岩	黑色泥岩, 致密性脆
	1.74-1.05 1.44		石灰岩	深灰色石灰岩, 含黄铁矿, 有动物化石及方解石脉
	3.95-0.51 1.80		泥岩	黑色泥岩, 致密性脆
	1.83-0.22 0.90		石灰岩	深灰色石灰岩, 含有动物化石及方解石脉
15#	3.85-0.88 1.23		泥岩	黑色泥岩, 性脆, 节理发育
	5.05-6.52 6.09		煤	5#煤: 煤层结构为 0.37(0.17)5.9
底板	5.64-2.20 3.87		砂质泥岩	深灰色砂质泥岩, 含植物化石

图 1 煤层顶底板柱状图  
Fig.1 The histogram of coal seam's tip and bottom

工作面采空区侧的回风巷长度 1630m, 支护形式为全锚支护, 断面为矩形, 毛高 3.0m, 净高 2.9m, 毛宽 4.2m, 净宽 4.0m。毛断面面积 12.9m<sup>2</sup>, 净断面面积 11.6m<sup>2</sup>。巷道断面及支护见图 2。

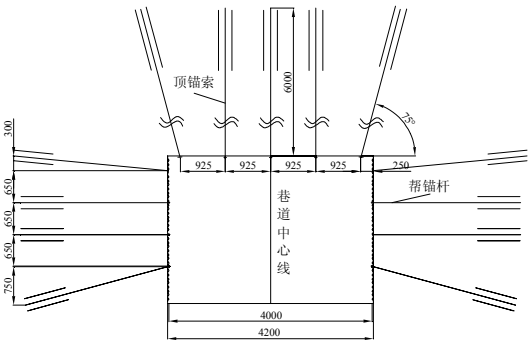


图 2 回风巷断面及支护示意图  
Fig.2 The sketch map of entry's plane and supporting

## 2 沿空巷道失稳机理分析

### 2.1 围岩性质

围岩性质对巷道稳定性有决定性影响，巷道两帮煤体稳定性与煤层及其界面力学性质关系很大。因此对阳泉一矿 15#煤的顶底板及其煤体围岩进行了力学性质测试。从力学性质测试结果及现场的煤体结构分析可知，阳泉一矿 15#煤层老顶岩性很好，其抗压强度高达 116.55MPa，直接顶强度较弱，只有 13.66MPa，底板抗压强度为 62.08MPa。15#煤的上、中、下层位岩性不同，上层强度较高，为 14.29MPa，中层强度低，只有 4.26MPa，下层强度为 9.33MPa。煤体的节理、裂隙较发育，煤体较脆，容易破碎，使得巷道的稳定性较差，巷道易变形难维护。

### 2.2 煤柱尺寸

护巷煤柱的宽度及掘巷的位置选择是决定巷道支护载荷大小的首要因素。护巷煤柱宽度对巷道稳定性的影响主要有两个方面：①影响巷道围岩应力；②影响巷道围岩完整性。由于上区段工作面推进过程中上覆岩层支承压力的变化，造成工作面两侧煤体及煤层顶板支承压力的变化，因此护巷煤柱宽度及掘巷位置决定了其巷道围岩应力分布及围岩支护成功的难易程度。采空区侧巷道布置主要有以下四种，见图 3<sup>[8]</sup>。

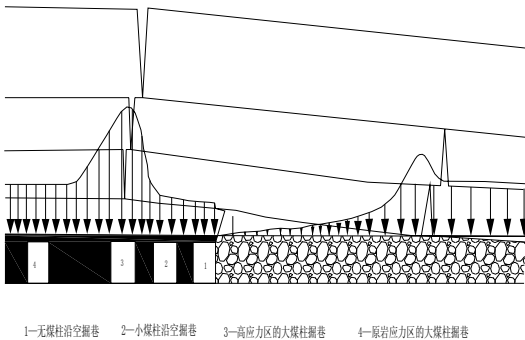


图 3 巷道掘进布置

Fig.3 The arrangement of entry

由图 3 可以看出，在位置 3 掘进巷道，正处于支承压力高峰区，巷道不易维护。阳

泉一矿 S8102 工作面采空区侧留 12m 煤柱，使得回风巷处于高峰应力区，即位置 3，巷道受力大，难维护，是其巷道失稳的主要原因。

### 2.3 支承压力

煤层开采破坏了原岩应力场的平衡状态，引起应力重新分布。相邻的采空区所形成的支承压力会在某些地点发生相互叠加，形成叠合支承压力。阳泉一矿 S8102 工作面回风巷在回采时，受到 S8101 采空区侧向支承压力与本工作面的超前支承压力的叠加影响，巷道所受压力急剧增大，使巷道严重破坏，是巷道失稳的重要原因。

## 3 巷道维护数值模拟分析

采用 FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) 数值计算软件进行模拟分析<sup>[9, 10]</sup>。根据 S8102 综放工作面的地质条件、岩层属性，对模型进行相应的岩层布置、节理块体划分及施加约束条件。建立数值分析模型见图 4。模型中煤岩石的物理力学参数见表 1。

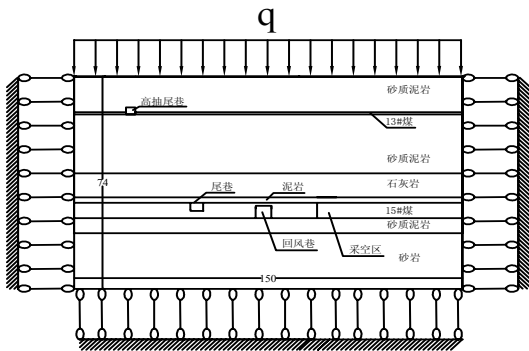


图 4 数值分析模型

Fig.4 The model of numerical analysis

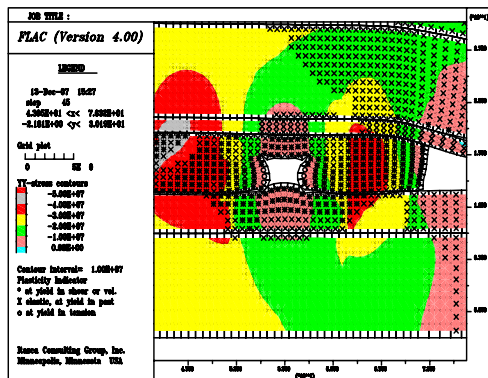
表 1 岩石的物理力学参数

Table 1 The parameter of the rock's physics and mechanics

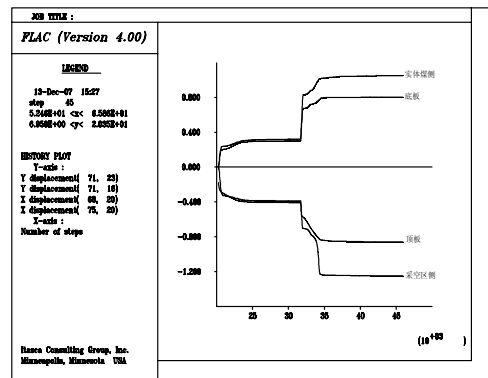
材料	密度 $d/N\cdot m^{-3}$	抗拉 强度 $t/MPa$	体积模量 $K/GPa$	粘结力 $C/MPa$	内摩擦角 $f/^\circ$	剪切模量 $G/GPa$
石灰岩	2700	2.42	15.5	8.9	36.5	9.5
黑色泥岩	2600	0.24	10.5	5.5	31	3.0
15#煤	1300	0.2	1.7	0.7	30	0.75
砂质泥岩	2500	0.77	12.0	3.1	33.4	3.5
砂岩	2600	2.1	13.0	7.5	35	8.0

此模型主要模拟综放工作面回采巷道在不同煤柱尺寸下及开卸压巷后巷道顶板下沉量、底鼓量、实体煤侧帮移近量、沿采空区侧帮移近量以及巷道围岩应力、塑性区分布

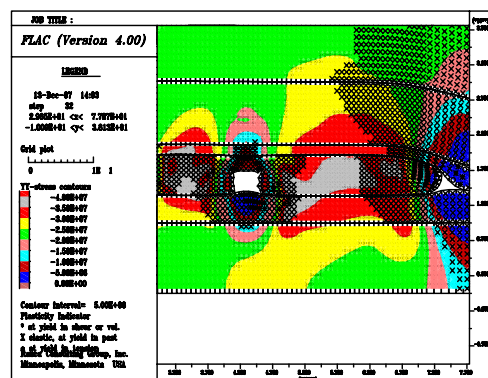
分布情况。通过 FLAC 模拟, 得到 S8102 回风巷在回采期间不同护巷方式下巷道围岩应力及塑性区分布、巷道表面位移量见图 5。巷道表面位移量数据具体见表 2。



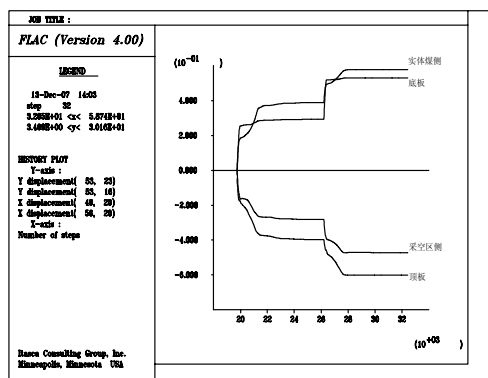
(a) 12m 煤柱巷道围岩应力及塑性区分布



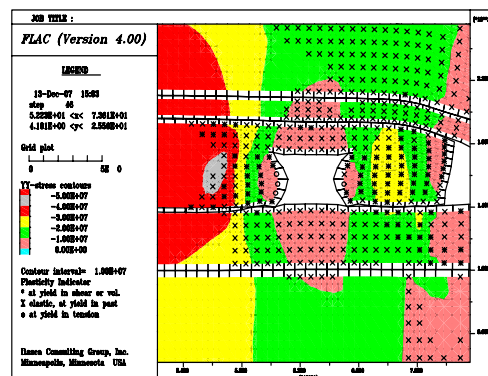
(b) 12m 煤柱巷道表面位移量



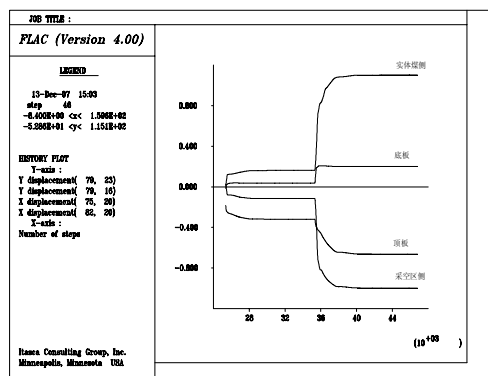
(c) 25m 煤柱巷道围岩应力及塑性区分布



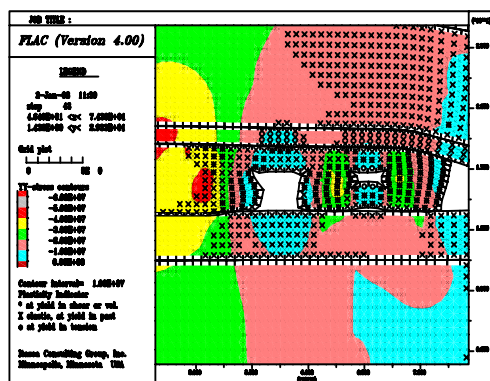
(d) 25m 煤柱巷道表面位移量



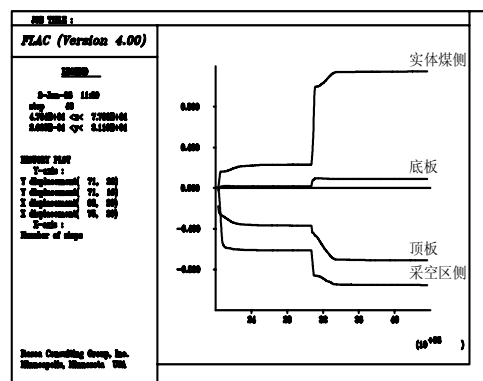
(e) 5m 煤柱巷道围岩应力及塑性区分布



(f) 5m 煤柱巷道表面位移量



(g) 12m 煤柱开卸压巷巷道围岩应力及塑性区分布



(h) 12m 煤柱开卸压巷巷道表面位移量

图 5 不同护巷方式下巷道围岩应力及塑性区分布、巷道表面位移量

Fig.4 the stress around the entry and the plastic zone distribution and the surface displacement of the entry by different support mode

表 2 巷道表面位移量

Table 2 The quantity of entry surface's displacement

护巷方式	顶板下沉量 (mm)	底鼓量 (mm)	实体煤侧帮移近量 (mm)	采空区侧帮移近量 (mm)
12m 煤柱	900	910	1210	1180
25m 煤柱	550	420	480	430
5m 煤柱	600	300	950	910
开卸压巷	580	120	960	830

由图 5 及表 2 可得出, 回风巷在 12m 煤柱下处于应力峰值区, 围岩变形最严重; 与 12m 煤柱相比, 25m 大煤柱巷道顶底板移近量减少 46.4%, 两帮移近量减少 61.9%; 5m 小煤柱顶底板移近量减少 50.3%, 两帮移近量减少 22.2%; 12m 煤柱下开卸压巷顶底板移近量减少 61.3%, 两帮移近量减少 25.1%。在 25m 左右布置巷道, 巷道较易维护, 但煤炭资源损失大, 不符合节约煤炭资源的政策; 5m 煤柱巷道维护较 12m 有所改善, 但巷道围岩塑性区发育, 且矿井瓦斯含量高, 煤层有自然发火倾向, 存在巷道漏风、采空区残煤自燃等不安全因素; 12m 煤柱下开卸压巷在采取安全措施后巷道较易维护, 是合理的护巷方式。

## 4 结论

对靠采空区侧综放回采巷道失稳机理及维护进行模拟分析, 可得出以下结论:

(1) 回采巷道的稳定性主要受围岩性质、煤柱尺寸及支承压力等因素的影响。回采巷道围岩强度低、煤体节理裂隙发育, 煤

柱留设不合理, 使巷道处于煤体上方支承压力峰值区时, 巷道表面位移量大、难维护。

(2) 25m 煤柱护巷可使巷道处于原岩应力区, 巷道易维护, 但留大煤柱造成煤炭资源的浪费。

(3) 窄煤柱护巷使巷道处于应力降低区, 巷道维护有所改善, 但存在漏风、上区段采空区残煤自燃等不安全因素。

(4) 在靠巷道采空区一侧煤柱内开卸压巷, 可转移巷道的高集中应力, 从而使巷道处于低应力区, 巷道维护状况得到很大改善。

## 参考文献

- [1] 屠世浩. 长壁综采系统分析的理论与实践[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.
  - [2] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
  - [3] 柏建彪. 沿空掘巷围岩控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
  - [4] 张琳, 屠世浩, 饶志强. 临涣矿风巷不同采动条件煤柱留设数值模拟研究[J]. 能源技术与管理, 2006, 2: 9-11.
- ZHANG Lin, TU Shi-hao, RAO Zhi-qiang. Study on numerical simulation of different mining induced

condition coal pillar in Linhuan coal mine airway[J]. Energy Technology and Management, 2006, (2): 9-11.  
[5] 杨科, 谢广祥. 窄煤柱综放巷道围岩应力场特征[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(3): 311-315.

YANG Ke, XIE Guang-xiang. Stress Field of Surrounding Rocks of Fully Mechanized Top-Coal Caving Gateway with Small Pillar[J]. Journal of Mining & Safety Engineering. 2007, 24(3): 311-315.

[6] 陈有宝, 刘红, 王金安. 采空区边缘回风巷合理位置的研究[J]. 中国矿业, 2007, (2): 63-66.

CHEN You-bao, LIU Hong, WANG Jin-an. Study on Reasonable Position of Air-Return Roadway Near the Edge of Goaf[J]. China Mining Magazine, 2007, (2): 63-66.

[7] 郑西贵, 李学华, 赵立新等. 巷外掘巷保护巷道的应力转移技术[J]. 矿山压力与顶板管理, 2005, 4: 46-50.

ZHENG Xi-gui, LI Xue-hua, ZHAO Li-xin, et al. Technology of stress transfer by digging tunnel beside the road-way[J]. Ground Pressure and Strata Control, 2005, 4: 46-50.

[8] 杜克辉. 近距离煤层下山布置与支护计算研究[D]. 徐州, 中国矿业大学能源与安全工程学院, 2007.

[9] 刘波, 韩彦辉(美国). FLAC 原理、实例与应用指南[M]. 北京, 人民交通出版社, 2005.

[10] 鲁岩, 邹喜正, 刘长友, 等. 巷旁开掘卸压巷技术研究与应用[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23 (3): 329-332.

LU Yan, ZOU Xi-zheng, LIU Chang-you. Technology of digging stress-relax entry by the roadside and its application[J]. Journal of Mining & Safety Engineering. 2006, 23 (3): 329-332.

## Study of Unsteady Mechanism and Maintenance Technology on Fully Mechanized Longwall Top-Coal Caving's Gob-Side Entry

WANG Fangtian, YUAN Yong, MA Xiaotao, WU Qi, DOU Fengjin

School of Mining Engineering, State Key Laboratory of Coal Resource and Mine Safety (CUMT), China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu (221008)

### Abstract

Be aimed at the serious deformation problems of fully mechanized longwall top-coal caving's gob-side entry, research the unsteady mechanism of the fully mechanized long-wall top caving mining gob-side entry and analysis the main factor which influence stress around the entry ; By FLAC numerical simulation, calculate and analysis the stress around the entry, the plastic zone distribution and the surface displacement of the entry by different support mode, bring forward some reasonable and optimize conclusions for support the gob-side entry.

**Keywords:** coal pillar; gob-side; unsteady mechanism; numerical simulation; stress-relax entry

**作者简介:** 王方田 (1985-), 男, 河南永城人, 在读硕士, 主要从事采矿方法、矿山压力方面的研究。