

工作面回采进入巷道保护煤柱优化分析

张伯南

冀中能源股份有限责任公司，河北 邢台 054000

[摘要]为解决东庞矿北井 9216A 试采工作面进入-55 总回风巷保护煤柱后的开采影响, 基于工作面煤层赋存条件(总厚 6.92m, 平均倾角 15°) 及“走向长壁综采放顶煤”工艺, 采用概率积分法(下沉系数 $q=0.9$, 主要影响角正切 $\text{tg}\beta=2.4$) , 模拟分析了推采超设计停采线 10m、15m、20m 三种方案对保护煤柱的变形影响。结果表明: 超停采线 15m 时, 巷道最大下沉 8mm、水平变形 2.64mm/m, 均处于安全可控范围; 超 20m 时虽无明显损坏, 但变形量显著增大(最大下沉 13mm, 拉伸变形 3.87mm/m)。采用超停采线 15m 方案, 通过采取“停止放顶煤+加强矿压监测+快速封闭采空区”措施, 可以实现工作面安全收尾, 保障-55 总回风巷的通风及通行功能。

[关键词]下组煤开采; 保护煤柱; 概率积分法; 巷道变形; 安全措施

DOI: 10.33142/ec.v8i10.18246 中图分类号: TD322 文献标识码: A

Optimization Analysis of Protecting Coal Pillars in the Roadway after Mining in the Working Face

ZHANG Bonan

Jizhong Energy Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract: In order to solve the mining impact of the 9216A trial mining face entering the -55 total return airway to protect the coal pillar in Dongpang Mine, based on the coal seam occurrence conditions of the working face (total thickness of 6.92m, average inclination angle of 15°) and the "longwall fully mechanized top coal caving" process, the probability integration method (subsidence coefficient $q=0.9$, main influence tangent $\text{tg}\beta=2.4$) was used to simulate and analyze the deformation effects of three schemes of pushing mining beyond the design stop line of 10m, 15m, and 20m on the protected coal pillar. The results show that when the mining line is exceeded by 15m, the maximum subsidence of the roadway is 8mm and the horizontal deformation is 2.64mm/m, both of which are within a safe and controllable range; When it exceeds 20m, although there is no obvious damage, the deformation significantly increases (maximum sinking of 13mm, tensile deformation of 3.87mm/m). By adopting a 15m over stop mining line plan and implementing measures such as "stopping top coal caving + strengthening mine pressure monitoring + quickly closing the goaf", the safe closure of the working face can be achieved, ensuring the ventilation and passage functions of the -55 main return airway.

Keywords: coal mining in the lower group; protecting coal pillars; probability integral method; deformation of tunnels; safety measures

1 概况

1.1 矿井概况

北井位于东庞井田北翼西部, 隶属于冀中能源股份有限公司东庞矿, 开采 9 号煤, 为东庞矿下组煤试采区。南界为东庞井田中部断裂带 F3 断层, 西界为冀煤地测字(1994)77 号批准的小煤矿下部边界, 标高为-100m, 北界为 F2 断层, 东部以 9 号煤-500m 标高为界, 面积约为 5.9km²。2007 年 12 月 28 日建成投产, 矿井设计生产能力 45 万 t/a, 2014 年核定生产能力为 90 万 t/a, 开拓方式为立井单水平下山开采, 采煤方法为走向长壁、采区前进、工作面后退式综采放顶采煤工艺。矿井水文

地质类型为极复杂型(冀中股份生字(2021)174 号文批复)。

1.2 9216A 试采工作面概况

9216A 试采工作面在回采过程中, 受 9212 工作面采动影响, 工作面周期来压强烈, 工作面煤壁片帮、顶板破碎, 轨道巷帮鼓、顶底板变形严重。9216A 试采工作面推采至距设计停采线 11m 位置时准备铺网挂绳, 此时工作面周期来压, 工作面压力大, 煤壁片帮严重, 两巷超前支护承压变形大, 无法满足挂绳标准, 因此, 必须继续向前推采进入东庞矿-55 总回风巷保护煤柱, 至合适位置完成工作面收尾工作。

2 9216A 试采工作面开采技术条件

2.1 煤层赋存条件

9216A 试采工作面煤层结构复杂，沉积稳定，一般含多层夹矸。92 煤厚度为 3.1~3.25m，平均为 3.22m，92 煤一般含一层 0.7m 左右的碳质泥岩夹矸，92 煤与 93 煤夹矸为碳质泥岩，厚度在 0.7m 左右，93 煤厚度为 2.9~3.1m，平均为 3m，93 煤一般含一层厚度为 0.2m 左右的碳质泥岩夹矸。工作面煤层倾向变化不大，煤层倾角变化为 11~18°，平均倾角为 15°。

表 1 工作面煤层顶底板情况

顶底板名称	岩石名称	厚度 (m)	岩性特征
直接顶	细砂岩	1.25	浅灰色，细粒砂状结构，分选中等，次圆状，硅质胶结
直接底	碳质泥岩	1.9	灰黑色、结构致密均匀，水平层理含黄铁矿斑点
老底	铝土泥岩	8.2	浅灰色，厚层状，铝泥质结构，断面发育植物叶片与化石碎片

2.2 地质构造

工作面上部 2 号煤已回采，回采过程中未发现隐伏地质构造。工作面掘进及回采过程中未发现 1.0m 以上断层和陷落柱等地质构造，区域构造稳定。

2.3 水文地质条件

9216A 试采工作面四周相邻多个巷道，相邻工作面及巷道施工的物、钻探已将工作面全覆盖，巷道地质及水文地质条件清楚，回采过程中主要的充水水源为顶板大青灰岩水，灾害水源为底板奥灰水、断裂构造水。

(1) 9216A 工作面掘进前在地面进行了地面电法和三维地震勘探，查明了富水异常区及构造分布，为防治水工作提供了依据。东庞矿于 2006 年、2007 年和 2011 年委托煤炭科学研究院西安院对北井北翼下组煤进行了地面电法和三维地震勘探，并提交了《北翼下组煤南区电法勘探成果报告》、《北翼下组煤三维地震勘探成果报告》和《东庞矿 9210、2616 区地面电磁法勘探成果报告》。根据报告成果，在 9216A 工作面范围及附近未发现地面物探异常区。

(2) 9216A 工作面上部相邻已回采的 9212 工作面，轨道巷为沿空掘巷，9212 工作面侧向物钻探已覆盖 9216A 工作面轨道巷。9216A 工作面皮带巷为原 9200 采区二期补轨道巷，无需开展超前物钻探工作。仅按设计对工作面及外侧 60m 范围进行均匀布孔注浆加固。

2.4 工作面周边开采情况

9216A 工作面浅部为 9212 工作面采空区，开采时间 2019—2020 年，受 9212 工作面采动影响，9216A 工作面回采过程中煤层顶板压力大，煤壁片帮，轨道巷有一定程

度的变形。

9216A 工作面上部为东庞矿 2 号煤 2202、2204 工作面采空区，开采时间 1984—1986 年。采空区无积水，两煤层间距 180m，位于 9 号煤裂隙带以上，对工作面无影响。

2.5 采煤工艺

2.5.1 工艺顺序

安全确认→采煤机端头斜切进刀→割煤→移架→推前溜→放顶煤→拉后溜。

2.5.2 落煤方式

采用 MG200/468-WD 型采煤机双向穿梭采煤，即往返一次割煤两刀，循环进度 0.5m，滚筒自旋使其截齿将煤破碎。尾梁和插板配合放煤。正常割煤时，采煤机前滚筒割顶煤、后滚筒割底煤。支架工在采煤机过后及时打出护帮板。

2.5.3 装煤方式

采煤机滚筒螺旋叶片配合 SGZ630/264 刮板输送机铲煤板装煤。放顶煤直接落入后部输送机。

2.5.4 运煤方式

工作面采用前后两部 SGZ630/264 刮板输送机运煤。皮带巷采用 1 部 SZZ800/200 型转载机、1 台 PCM160 型破碎机和 1 部 DSP1080/1000 可伸缩皮带运煤。

2.5.5 支护方式

采用邻架操作，及时支护顶板。正常移架滞后采煤机后滚筒 5 架。移架步距 500mm。顶板破碎或片帮严重时要紧跟采煤机前滚筒移架，或超前移架，禁止相邻两台支架同时移架。移架后，支架应成一条直线。

2.5.6 推前溜

在采煤机返刀扫底拉架后推前溜，推溜从工作面一端向另一端顺序移动或由中部向两头分推，推前溜滞后采煤机后滚筒 12~15m，溜子弯曲段长度不得小于 15m，防止出现急弯，禁止停机推溜，严禁由两头向中间推溜，溜子整体移到位后，要成一条直线。

2.5.7 放煤

放煤方法采用一刀一放单轮间隔一架放煤方式。采煤机扫底煤、推前部溜子的同时，后部溜子开始放煤，放煤、隅角放顶与采煤机的安全距离不小于 21m（14 架）。先顺序放 1#、3# 等单号放煤口，放完全部或部分单号支架后，再顺序打开 2#、4# 等双号支架放煤口。全工作面放煤口最多为两个。

2.5.8 拉后溜

放煤后，按放煤顺序进行拉后溜，拉后溜与放煤支架的距离不小于 8 架。拉后溜时，要先检查支架尾梁插板是否落在后溜上，发现问题处理好后方可拉移。后溜整体移到位后，要成一条直线。严禁从两头向中间拉移。严禁停机拉溜。

2.5.9 清理

工作面前溜推过之后,要将支架底座后部至前溜之间及电缆槽内的浮煤清理干净,后溜前方堆煤不能影响放煤视线。

2.5.10 采放比

工作面设计平均采高为 2.4m, 煤层厚度 6.93m。

采放比为: 2.4 : (6.92-2.4) = 1 : 1.88;

2.5.11 放煤步距的确定

循环放煤步距由割煤步距、采高、煤层厚度、架型共同确定: 据回采工作面经验确定, 循环放煤步距为 0.5m。

2.6 工作面顶板控制

9216A 试采工作面下端头支架使用 ZT44000/18/34 型支护, 上端头使用 ZF4000-16/26 型支架配合单体梁支护, 工作面中部采用 ZFG4400/20/32H 型支架综采放顶煤支架支护顶板。工作面采用全部垮落法管理顶板, 最大控顶距 4330mm, 最小控顶距 3830mm, 移架步距 0.5m, 端面距 ≥ 340mm。

轨道巷、皮带巷均自煤壁向外分别支设两道不少于 20m 的超前支护, 使用单体配金属铰接梁进行支护, 一梁两柱支护形式, 初撑力不低于 90kN, 单体顶端距两巷上下帮 0.3~0.8m。

3 -55 总回风巷情况

3.1 巷道布置及用途

-55 总回风巷现为 2200 采区 2 号煤采掘工程回风专用巷道, 巷道内无电气设备, 除特定人员进入巷道巡视检查外一般无其他人员进入该巷道。

3.2 原保护煤柱设计情况

依照《东庞矿北井(东庞矿下组煤开采技术改造)初步设计说明书》和《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》要求, 东庞矿对-55 总回风巷留设保护煤柱。将保护煤柱线投影至北井井采掘工程平面图上后, 可量得顺 9216A 轨道巷方向保护煤柱距离为 123m, 顺 9216A 皮带巷方向保护煤柱距离为 75.8m。

3.3 开采保护要求

-55 总回风巷现为 2200 采区 2 号煤采掘工程回风专用巷道, 巷道内无电气设备, 很少有人员进入该巷道。

9216A 试采工作面推采进入巷道保护煤柱内后, 将会对巷道造成一定程度的影响。开采-55 总回风巷保护煤柱时, 应保证巷道变形程度在可控范围内, 保证正常通风和人员通过。

4 开采影响分析

为避开 9216A 试采工作面周期来压阶段, 满足挂绳标准, 北井计划继续向前推采, 推采过程中不再放顶煤, 工作面平均采高 2.4m, 至合适位置完成工作面收尾工作。

根据东庞矿观测站成果总结和已有的观测数据, 确定 9216A 工作面常规开采岩层移动预计参数如下:

下沉系数: $q=0.9$ 。

主要影响角正切: $\text{tg}\beta=2.4$ 。

主要影响传播角: $\theta=90^\circ-0.6\alpha$ (α 为煤层倾角)。

水平移动系数: $b=0.35$ 。

拐点偏移距: $s=0$ 。

将预计参数、开采范围输入计算机, 采用“概率积分法”进行计算处理, 预计时考虑了 9 号煤 9212 已采工作面的叠加变形影响。9216A 试采工作面开采对-55 总回风巷的影响结果及分析, 详见表 2~表 5。

(1) 当 9216A 试采工作面采至设计停采线位置时, 不会对-55 总回风巷造成影响, 如表 2。

(2) 方案一: 当 9216A 试采工作面超过停采线 10m, 即开采“-55 总回风巷保护煤柱”面积 352m^2 时, 预计不会对-55 总回风巷造成影响, 如表 3。

(3) 方案二: 当 9216A 工作面超过停采线 15m, 即开采“-55 总回风巷保护煤柱”面积 726m^2 时, 预计不会对-55 总回风巷造成影响, 如表 4。

(4) 方案三: 当 9216A 工作面超过停采线 20m, 即开采“-55 总回风巷保护煤柱”面积 1150m^2 时, 预计-55 总回风巷受影响长度: 40m (7 号~11 号预计点); 最大下沉: 13mm (9 号预计点); 沿巷道轴向: 最大水平移动 7mm, 最大压缩变形 0.43mm/m ; 垂直巷道轴向: 向采空区方向最大水平移动 34mm, 最大拉伸变形 3.87mm/m 。开采不会对锚网喷支护的-55 总回风巷造成明显损坏, 巷道顶底板稳定性、断面形状和通风能力基本不会受到影响, 如表 5。

表 2 9216A 工作面开采至设计停采线位置

离散点 编号	下沉	倾斜变形		水平移动		水平变形		水平变形(最值)	
		沿巷道轴向方 向	垂直巷道轴向 方向	沿巷道轴向方 向	垂直巷道轴向 方向	沿巷道轴向方 向	垂直巷道轴向 方向	最大拉伸变形	最大压缩变形
N ₂	w (mm)	I _x (mm/m)	I _y (mm/m)	U _x (mm)	U _y (mm)	E _x (mm/m)	E _y (mm/m)	E _{max} (mm/m)	E _{min} (mm/m)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0.04	0.11	1	2	0.03	0.31	0.36	-0.02
5	1	0.05	0.17	1	4	0.01	0.50	0.54	-0.04
6	2	0.04	0.23	1	5	-0.03	0.67	0.70	-0.05
7	2	0.02	0.28	1	6	-0.05	0.79	0.80	-0.06
8	2	-0.01	0.28	0	6	-0.06	0.81	0.81	-0.06
9	2	-0.04	0.24	-1	5	-0.04	0.71	0.72	-0.05
10	1	-0.05	0.18	-1	4	-0.01	0.53	0.56	-0.04
11	1	-0.04	0.12	-1	2	0.02	0.35	0.38	-0.02
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 3 9216A 工作面超过停采线 10m

离散点 编号	下 沉	倾斜变形		水平移动		水平变形		水平变形 (最值)	
		沿巷道轴向方 向	垂直巷道轴向 方向	沿巷道轴向方 向	垂直巷道轴向 方向	沿巷道轴向方 向	垂直巷道轴向 方向	最大拉伸变形	最大压缩变形
N ₂	w (mm)	I _x (mm/m)	I _y (mm/m)	U _x (mm)	U _y (mm)	E _x (mm/m)	E _y (mm/m)	E _{max} (mm/m)	E _{min} (mm/m)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0.05	0.09	1	2	0.07	0.25	0.34	-0.02
4	1	0.09	0.19	2	4	0.08	0.50	0.62	-0.04
5	2	0.12	0.33	3	7	0.06	0.87	1.00	-0.07
6	4	0.12	0.49	3	10	-0.02	1.28	1.38	-0.11
7	5	0.08	0.63	2	13	-0.11	1.65	1.69	-0.15
8	5	0.01	0.7	1	15	-0.17	1.84	1.84	-0.17
9	5	-0.07	0.66	-1	14	-0.15	1.74	1.75	-0.16
10	4	-0.12	0.53	-2	11	-0.07	1.40	1.45	-0.13
11	3	-0.12	0.37	-2	8	0.01	0.98	1.07	-0.09
12	2	-0.10	0.21	-2	4	0.06	0.57	0.68	-0.05
13	1	-0.06	0.11	-1	2	0.06	0.29	0.38	-0.02
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 4 9216A 工作面超过停采线 15m

离散点 编号	下 沉	倾斜变形		水平移动		水平变形		水平变形 (最值)	
		沿巷道轴向方 向	垂直巷道轴向 方向	沿巷道轴向 方向	垂直巷道轴 向方向	沿巷道轴向方 向	垂直巷道轴向 方向	最大拉伸变形	最大压缩变形
N _o	w (mm)	I _x (mm/m)	I _y (mm/m)	U _x (mm)	U _y (mm)	E _x (mm/m)	E _y (mm/m)	E _{max} (mm/m)	E _{min} (mm/m)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0.07	0.11	1	2	0.10	0.29	0.41	-0.02
4	2	0.12	0.23	3	5	0.13	0.59	0.77	-0.05
5	3	0.17	0.42	4	9	0.12	1.07	1.28	-0.09
6	5	0.20	0.66	5	14	0.02	1.67	1.85	-0.16
7	7	0.16	0.90	4	19	-0.12	2.25	2.35	-0.22
8	8	0.06	1.06	2	22	-0.25	2.64	2.66	-0.27
9	8	-0.07	1.06	0	22	-0.26	2.64	2.64	-0.27
10	7	-0.17	0.90	-3	19	-0.16	2.24	2.31	-0.22
11	5	-0.20	0.66	-3	14	-0.02	1.66	1.80	-0.16
12	3	-0.17	0.41	-3	8	0.08	1.04	1.21	-0.09
13	2	-0.12	0.22	-2	4	0.11	0.56	0.71	-0.05
14	1	-0.06	0.10	-1	2	0.08	0.26	0.36	-0.02
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 5 9216A 工作面超过停采线 20m

离散点编 号	下 沉	倾斜变形		水平移动		水平变形		水平变形 (最值)	
		沿巷道轴向方 向	垂直巷道轴向 方向	沿巷道轴向 方向	垂直巷道轴 向方向	沿巷道轴向方 向	垂直巷道轴向 方向	最大拉伸变形	最大压缩变形
N _o	w (mm)	I _x (mm/m)	I _y (mm/m)	U _x (mm)	U _y (mm)	E _x (mm/m)	E _y (mm/m)	E _{max} (mm/m)	E _{min} (mm/m)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0.08	0.13	2	3	0.13	0.32	0.47	-0.02
4	2	0.16	0.28	3	6	0.19	0.69	0.93	-0.05
5	4	0.25	0.53	6	11	0.20	1.29	1.61	-0.12
6	7	0.30	0.87	7	18	0.10	2.10	2.41	-0.21
7	10	0.29	1.25	7	26	-0.11	2.98	3.18	-0.31
8	12	0.16	1.55	5	32	-0.34	3.68	3.74	-0.40
9	13	-0.04	1.64	1	34	-0.43	3.87	3.87	-0.43
10	12	-0.22	1.46	-3	30	-0.32	3.47	3.53	-0.38
11	9	-0.31	1.13	-5	23	-0.11	2.71	2.89	-0.28
12	6	-0.29	0.74	-5	15	0.08	1.79	2.05	-0.18
13	3	-0.22	0.42	-4	9	0.16	1.03	1.28	-0.09
14	1	-0.12	0.20	-2	4	0.15	0.50	0.69	-0.04
15	1	-0.06	0.08	-1	2	0.09	0.20	0.31	-0.02
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5 采动影响评价及预计开采情况

采动影响分析主要是 9216A 试采工作面进入保护煤柱开采后,对-55 总回风巷影响情况进行分析。总体来看,当 9216A 试采工作面停采线外推 10、15m, 预计-55 总回风巷不受开采影响;当 9216A 试采工作面停采线外推 20m, 开采不会对-55 总回风巷造成造成明显损坏, 巷道顶底板稳定性、断面形状和通风能力基本不会受到影响。

综上,最终确定选用方案二, 9216A 试采工作面预计停采线外推 15m, 预计不会对-55 总回风巷造成影响, 巷道断面形状、密闭性和通风能力不会受到损坏, 保障 9216A 试采工作面进入-55 总回风巷保护煤柱安全开采。

6 安全开采措施

①9216A 试采工作面从现位置开始至回采结束, 推采时不再放顶煤, 减小顶板下沉量。

②东庞井安排专人定期对-55 总回风巷区域巷道进行矿压监测, 特别是巷道变形情况的观察, 如有巷道变形、

喷体开裂要及时进行维护。保证-55 总回风巷巷道变形程度在可控范围内, 确保正常通风和人员通过。

③9216A 试采工作面回采结束后, 加快拆除速度, 及时进行封闭, 减小顶板下沉量。最大程度降低-55 总回风巷道变形量。

[参考文献]

[1]何国清,杨伦,凌赓娣,等.矿山开采沉陷学[M].徐州:中国矿业大学出版社,1991.

[2]刘宝琛,廖国华.煤矿地表移动的基本规律[M].北京:中国工业出版社,1965.

[3]国家安全生产监管总局,国家煤矿安监局,国家能源局,等.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[M].北京:煤炭工业出版社,2017.

作者简介: 张伯南 (1987.5—), 男, 河北人, 现就职河北省冀中能源股份有限公司, 从事煤矿地测专业相关工作。